

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN KAKU MENGUNAKAN METODE MDP 2024 DAN AASHTO 1993 PADA JALAN TOL RUAS SERBELAWAN – PEMATANG SIANTAR (STUDI KASUS)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Program  
Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**DIVIA ADELLINA**

**2407210171P**



# **UMSU**

**Unggul | Cerdas | Terpercaya**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
T.A 2025/2026**

## **LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Divia Adellina  
NPM : 2407210171P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN  
KAKU MENGGUNAKAN METODE MDP 2024 DAN  
AASHTO 1993 PADA JALAN TOL RUAS SERBELAWAN  
– PEMATANG SIANTAR (STUDI KASUS)  
Bidang Ilmu : Transportasi

**DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPALA  
PANITIA UJIAN SKRIPSI**

Medan, 18 Agustus 2026

Dosen Pembimbing



Andri, S.T., M.T.

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Divia Adellina  
NPM : 2407210171P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN  
KAKU MENGGUNAKAN METODE MDP 2024 DAN  
AASHTO 1993 PADA JALAN TOL RUAS SERBELAWAN  
– PEMATANG SIANTAR (STUDI KASUS)  
Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Andri, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing I



Irma Dewi, S.T., M.Si.

Dosen Pembimbing II



Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

Kepala Program Studi



Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Divia Adellina  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 01 Januari 2004  
NPM : 2407210171P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“ANALISIS PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN KAKU MENGGUNAKAN METODE MDP 2024 DAN AASHTO 1993 PADA JALAN TOL RUAS SERBELAWAN – PEMATANG SIANTAR (STUDI KASUS)”

Bukan merupakan plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran penuh dan tidak dalam tekanan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Agustus 2026

Saya yang menyatakan,

 **Divia Adellina**

## ABSTRAK

### **ANALISIS PERBANDINGAN TEBAL PERKERASAN KAKU MENGUNAKAN METODE MDP 2024 DAN AASHTO 1993 PADA JALAN TOL RUAS SERBELAWAN – PEMATANG SIANTAR (STUDI KASUS)**

Divia Adellina  
24070210171P  
Andri, S.T., M.T.

Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat ruas Serbelawan – Pematang Siantar merupakan jalan tol dengan volume lalu lintas kendaraan berat yang tinggi sehingga memerlukan perencanaan perkerasan kaku yang mampu menjamin kinerja struktur selama umur rencana. Di Indonesia, perencanaan perkerasan jalan umumnya menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 dan metode AASHTO 1993 (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), yang memiliki perbedaan pendekatan, parameter desain, dan prosedur perhitungan sehingga menghasilkan tebal perkerasan yang berbeda meskipun menggunakan data perencanaan yang sama. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tebal perkerasan kaku menggunakan kedua metode tersebut pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar (STA 49+265 s/d STA 52+450). Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa Data Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR) dan data CBR tanah dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode MDP 2024 menghasilkan tebal pelat beton sebesar 34 cm dengan nilai *fatigue* 0,00% dan erosi 91,25%, sedangkan metode AASHTO menghasilkan tebal pelat 33,5 cm. Perbedaan ketebalan sebesar 0,5 cm (1,5%) menunjukkan bahwa adanya perbedaan pendekatan desain terutama oleh penggunaan faktor keamanan beban dan analisis erosi pada metode MDP 2024, serta penggunaan koefisien drainase dan transfer beban pada metode AASHTO 1993. Umur rencana 40 tahun turut memengaruhi hasil desain melalui peningkatan akumulasi beban lalu lintas akibat faktor pertumbuhan kumulatif. Meskipun demikian, kedua metode telah memenuhi persyaratan desain perkerasan kaku. Berdasarkan hasil penelitian, metode MDP 2024 dinilai lebih sesuai untuk diterapkan pada perencanaan perkerasan kaku di Indonesia karena telah disesuaikan dengan karakteristik lalu lintas, material, dan kondisi lingkungan Indonesia.

Kata Kunci: MDP 2024, AASHTO 1993, Perkerasan Kaku, Tebal Perkerasan

## **ABSTRACT**

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF RIGID PAVEMENT THICKNESS USING THE MDP 2024 AND AASHTO 1993 METHODS ON THE SERBELAWAN–PEMATANG SIANTAR SECTION OF THE TEBING TINGGI–PARAPAT TOLL ROAD (CASE STUDY)**

Divia Adellina  
24070210171P  
Andri, S.T., M.T.

*The Tebing Tinggi–Parapat Toll Road, particularly the Serbelawan–Pematang Siantar section, carries a high volume of heavy vehicle traffic, making a reliable rigid pavement design essential to ensure satisfactory structural performance throughout its design life. In Indonesia, rigid pavement design is commonly carried out using the 2024 Pavement Design Manual (MDP 2024) and the AASHTO 1993 (American Association of State Highway and Transportation Officials) method. These methods differ in design approaches, input parameters, and calculation procedures, which may result in different pavement thicknesses even when the same design data are used. Therefore, this study aims to compare the rigid pavement thickness designed using the MDP 2024 and AASHTO 1993 methods for the Serbelawan–Pematang Siantar Toll Road section (STA 49+265 to STA 52+450). The analysis was based on secondary data, including Average Daily Traffic (ADT) and subgrade California Bearing Ratio (CBR) data. The results indicate that the MDP 2024 method produced a concrete slab thickness of 34 cm, with predicted fatigue and erosion values of 0.00% and 91.25%, respectively, whereas the AASHTO 1993 method resulted in a slab thickness of 33.5 cm. The 5 mm (1.5%) difference in slab thickness is primarily attributed to differences in the design methodologies, particularly the application of load safety factors and erosion analysis in MDP 2024, as well as the use of drainage and load transfer coefficients in AASHTO 1993. In addition, the 40-year design life contributes to higher cumulative traffic loading through the cumulative traffic growth factor, thereby influencing the required pavement thickness. Nevertheless, both design methods satisfy the structural design requirements for rigid pavement. Based on the findings, MDP 2024 is considered more suitable for rigid pavement design in Indonesia because it has been specifically developed to reflect the country's traffic characteristics, material properties, and environmental conditions.*

*Keywords: Rigid Pavement; MDP 2024; AASHTO 1993; Pavement Thickness; Toll Road*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang diberi judul “Analisis Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode MDP 2024 dan AASHTO 1993 Pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar (Studi Kasus)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Pada penyelesaian tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Andri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Irma Dewi, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membantu dan memberikan saran demi kelancaran proses penulisan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dan memberikan saran demi kelancaran proses penulisan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kedua orang tua penulis, untuk semua dukungan serta kasih sayang dan

semangat penuh cinta yang tidak pernah ternilai harganya.

10. Kepada kakak saya tercinta, Dinda Aprillia, terima kasih atas segala dukungan dan doa yang selalu diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

11. Teman mahasiswa/i Ekstensi Teknik Sipil dan seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu serta telah menjadi penyemangat untuk penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

12. Kepada orang terkasih saya, Ikhwansyah Prasetyo Saraan, terima kasih karena selalu hadir dengan doa, semangat dan dukungan di setiap proses perjalanan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan berupa saran dan kritik yang membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, serta berharap agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Medan, 18 Agustus 2026



Divia Adellina

(2407210171P)

## DAFTAR ISI

|                                                              |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING                                | i      |
| LEMBAR PENGESAHAN                                            | ii     |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR                        | iii    |
| ABSTRAK                                                      | iv     |
| <i>ABSTRACT</i>                                              | v      |
| KATA PENGANTAR                                               | vi     |
| DAFTAR ISI                                                   | viii   |
| DAFTAR TABEL                                                 | xi     |
| DAFTAR GAMBAR                                                | xiv    |
| SIMBOL DAN SINGKATAN                                         | xv     |
| <br>BAB 1 PENDAHULUAN                                        | <br>16 |
| 1.1. Latar Belakang                                          | 16     |
| 1.2. Rumusan Masalah                                         | 18     |
| 1.3. Ruang Lingkup                                           | 18     |
| 1.4. Tujuan Penelitian                                       | 19     |
| 1.5. Manfaat Penelitian                                      | 19     |
| 1.6. Sistematika Penulisan                                   | 20     |
| <br>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA                                   | <br>21 |
| 2.1. Landasan Teori                                          | 21     |
| 2.1.1. Perkerasan Jalan                                      | 21     |
| 2.1.2. Klasifikasi Jalan                                     | 21     |
| 2.1.3. Struktur Perkerasan Kaku                              | 27     |
| 2.1.4. Jenis Perkerasan Kaku atau Beton Semen                | 30     |
| 2.1.5. Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode MDP 2024     | 34     |
| 2.1.6. Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993 | 57     |
| 2.2. Penelitian Terdahulu                                    | 70     |
| <br>BAB 3 METODE PENELITIAN                                  | <br>73 |
| 3.1. Tahapan Penelitian                                      | 73     |
| 3.2. Lokasi Penelitian                                       | 74     |
| 3.3. Jadwal Penelitian                                       | 74     |
| 3.4. Data Umum Proyek                                        | 75     |

|                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5. Data Teknis                                                                                            | 76         |
| 3.6. Sumber Data Penelitian                                                                                 | 76         |
| 3.7. Teknik Pengumpulan Data                                                                                | 76         |
| 3.8. Teknik Pengolahan Data                                                                                 | 77         |
| <b>BAB 4 PEMBAHASAN</b>                                                                                     | <b>78</b>  |
| 4.1. Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku dengan MDP 2024                                                      | 78         |
| 4.1.1. Umur Rencana                                                                                         | 78         |
| 4.1.2. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas dan Nilai Faktor Pengali<br>Pertumbuhan Lalu Lintas Kumlatif (R) | 79         |
| 4.1.3. Faktor Distribusi Lajur (DL) dan Faktor Distribusi Arah (DD)                                         | 80         |
| 4.1.4. Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)                                                         | 80         |
| 4.1.5. Lapis Fondasi Bawah                                                                                  | 86         |
| 4.1.6. Penentuan Nilai CBR ( <i>California Bearing Ratio</i> )                                              | 87         |
| 4.1.7. Reliabilitas                                                                                         | 90         |
| 4.1.8. Tebal Beton Minimum                                                                                  | 91         |
| 4.1.9. Repetisi Beban yang Diizinkan dengan Beban Faktual                                                   | 91         |
| 4.1.10. Faktor <i>Fatigue</i> dan Erosi                                                                     | 95         |
| 4.1.11. Desain <i>Dowel</i> dan <i>Tie Bar</i>                                                              | 115        |
| 4.2. Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993                                            | 116        |
| 4.2.1. Umur Rencana                                                                                         | 116        |
| 4.2.2. Faktor Distribusi Arah ( $D_D$ ) dan Faktor Distribusi Lajur ( $D_L$ )                               | 116        |
| 4.2.3. Pertumbuhan Lalu Lintas                                                                              | 116        |
| 4.2.4. Menghitung Beban Lalu Lintas (ESAL)                                                                  | 117        |
| 4.2.5. <i>Reliability</i>                                                                                   | 120        |
| 4.2.6. <i>Serviceability</i>                                                                                | 120        |
| 4.2.7. Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)                                                                       | 121        |
| 4.2.8. Flexural Strength ( $Sc'$ )                                                                          | 123        |
| 4.2.9. Modulus Elastisitas Beton ( $E_c$ )                                                                  | 123        |
| 4.2.10. Load Transfer (J)                                                                                   | 123        |
| 4.2.11. <i>Drainage Coefficient</i> (Cd)                                                                    | 124        |
| 4.2.13. Penentuan Tebal Pelat (D)                                                                           | 125        |
| 4.2.14. Desain <i>Dowel</i> dan <i>Tie Bar</i>                                                              | 129        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>                                                                           | <b>131</b> |
| 5.1. Kesimpulan                                                                                             | 131        |

|                |     |
|----------------|-----|
| 5.2. Saran     | 132 |
| DAFTAR PUSTAKA | 133 |
| LAMPIRAN       | 135 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1: Kelas jalan sesuai penggunaannya (PDGJ, 2021)                      | 25 |
| Tabel 2.2: Umur rencana perkerasan jalan baru (UR) (MDP, 2024)                | 35 |
| Tabel 2.3: Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan (MDP, 2024)            | 36 |
| Tabel 2.4: Faktor laju pertumbuhan lalu lintas, $i$ (%) (MDP, 2024)           | 37 |
| Tabel 2.5: Faktor distribusi lajur ( $D_L$ ) (MDP, 2024)                      | 38 |
| Tabel 2. 6: Distribusi beban JSKN (beban faktual) Aceh - Sumatera Utara       | 39 |
| Tabel 2. 7 Lanjutan                                                           | 40 |
| Tabel 2.8: Lanjutan                                                           | 41 |
| Tabel 2.9: Distribusi beban JSKN (beban normal) Aceh - Sumatera               | 41 |
| Tabel 2.10: <i>Lanjutan</i>                                                   | 42 |
| Tabel 2.11: Konfigurasi Sumbu Kelas Kendaraan (MDP, 2024)                     | 42 |
| Tabel 2.12: Lanjutan                                                          | 43 |
| Tabel 2.13: Desain fondasi jalan minimum (MDP, 2024)                          | 45 |
| Tabel 2.14: Lanjutan                                                          | 46 |
| Tabel 2.15: Tebal Fondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton Semen          | 47 |
| Tabel 2.16: Desain perkerasan kaku untuk lalu lintas berat (MDP, 2024)        | 50 |
| Tabel 2.17: Ketebalan Beton Minimum (MDP, 2024)                               | 51 |
| Tabel 2.18: Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen ( $S_e$ ) (MDP, 2024) | 53 |
| Tabel 2.19: Koefisien untuk prediksi faktor erosi ( $F_3$ ) untuk beton JPCP  | 54 |
| Tabel 2.20: Diameter dowel (MDP, 2024)                                        | 56 |
| Tabel 2.21: VDF Kaku (MDP, 2024)                                              | 58 |
| Tabel 2.22: Faktor Distribusi ( $D_L$ ) (AASHTO, 1993)                        | 59 |
| Tabel 2.23: Tingkat reliabilitas (AASHTO, 1993)                               | 60 |
| Tabel 2.24: Reliabilitas ( $R$ ) dan Standar Deviasi Normal ( $Z_R$ )         | 60 |
| Tabel 2.25: Lanjutan                                                          | 61 |
| Tabel 2.26: Deviasi Standar Keseluruhan (AASHTO, 1993)                        | 61 |
| Tabel 2.27: Loss of Support (AASHTO, 1993)                                    | 63 |
| Tabel 2.28: Kualitas drainase (AASHTO, 1993)                                  | 65 |
| Tabel 2.29: Koefisien Aliran ( $C$ ) (AASHTO 1993)                            | 66 |
| Tabel 2.30: Koefisien Drainase ( $C_d$ ) (AASHTO, 1993)                       | 67 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.31: Koefisien Tranfer Beban (J) (AASHTO, 1993)                    | 67 |
| Tabel 2.32: Desain dowel (Modul RDE-11, 2005)                             | 69 |
| Tabel 2.33: Desain tie bars (Perkerasan jalan beton semen portland, 2016) | 69 |
| Tabel 2.34: Penelitian terdahulu                                          | 70 |
| Tabel 2.35: Lanjutan                                                      | 71 |
| Tabel 2.36: Lanjutan                                                      | 72 |
| Tabel 3.1: Jadwal penelitian                                              | 55 |
| Tabel 4.1: Umur rencana (MDP, 2024)                                       | 78 |
| Tabel 4.2: Angka pertumbuhan lalu lintas (MDP,2024)                       | 79 |
| Tabel 4.3: Data LHR pada Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar 2019      | 81 |
| Tabel 4.4: Lanjutan                                                       | 82 |
| Tabel 4.5: Data LHR 2025 (hasil perhitungan)                              | 82 |
| Tabel 4.6: Lanjutan                                                       | 83 |
| Tabel 4.7: Konfigurasi sumbu kendaraan (MDP, 2024)                        | 83 |
| Tabel 4.8: Lanjutan                                                       | 84 |
| Tabel 4.9: Nilai JSKN (hasil perhitungan)                                 | 85 |
| Tabel 4.10: JSKN dan lapis fondasi (MDP 2024)                             | 87 |
| Tabel 4.8: Nilai CBR (California Bearing Ratio) (hasil perhitungan)       | 87 |
| Tabel 4.12: Nilai CBR karakteristik (hasil perhitungan)                   | 88 |
| Tabel 4.13: CBR ekuivalen (hasil perhitungan)                             | 89 |
| Tabel 4.14: Repetisi beban yang diizinkan - STRT (hasil perhitungan)      | 91 |
| Tabel 4.15: Repetisi beban yang diizinkan – STdRT (hasil perhitungan)     | 92 |
| Tabel 4.16: Repetisi beban yang diizinkan – STRG (hasil perhitungan)      | 92 |
| Tabel 4.17: Lanjutan                                                      | 93 |
| Tabel 4.18: Repetisi beban yang diizinkan – STdRG (hasil perhitungan)     | 93 |
| Tabel 4.19: Lanjutan                                                      | 94 |
| Tabel 4.20: Repetisi beban yang diizinkan – STrRG (hasil perhitungan)     | 94 |
| Tabel 4.21: Lanjutan                                                      | 95 |
| Tabel 4.22: Repetisi beban yang diizinkan – SQdRG (hasil perhitungan)     | 95 |
| Tabel 4.23: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT             | 97 |
| Tabel 4.24: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRT            | 98 |
| Tabel 4.25: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG             | 99 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 4.26: Lanjutan                                           | 100 |
| Tabel 4.27: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG | 101 |
| Tabel 4.28: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG | 102 |
| Tabel 4.29: <i>Lanjutan</i>                                    | 103 |
| Tabel 4.30: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG | 104 |
| Tabel 4.31: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT  | 105 |
| Tabel 4.32: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRT | 106 |
| Tabel 4.33: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG  | 106 |
| Tabel 4.34: Lanjutan                                           | 107 |
| Tabel 4.35: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG | 107 |
| Tabel 4.36: Lanjutan                                           | 108 |
| Tabel 4.37: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG | 108 |
| Tabel 4.38: Lanjutan                                           | 109 |
| Tabel 4.39: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG | 109 |
| Tabel 4.40: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT  | 110 |
| Tabel 4.41: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRT | 111 |
| Tabel 4.42: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG  | 112 |
| Tabel 4.43: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG | 112 |
| Tabel 4.44: Lanjutan                                           | 113 |
| Tabel 4.45: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG | 113 |
| Tabel 4.46: <i>Lanjutan</i>                                    | 114 |
| Tabel 4.47: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG | 114 |
| Tabel 4.48: Angka pertumbuhan lalu lintas (AASHTO 1993)        | 116 |
| Tabel 4.49: VDF kaku faktual (MDP 2024)                        | 118 |
| Tabel 4.50: Perhitungan ESAL dengan umur rencana 40 tahun      | 118 |
| Tabel 4.51: Perhitungan ESAL dengan umur rencana 30 tahun      | 119 |
| Tabel 4.52: Perhitungan ESAL dengan umur rencana 20 tahun      | 119 |
| Tabel 4.53: <i>Lanjutan</i>                                    | 120 |
| Tabel 4.54: Load tranfer (AASHTO 1993)                         | 123 |
| Tabel 4.55: Parameter perencanaan (hasil perhitungan)          | 126 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1: Bagian - bagian jalan (PDGJ, 2021)                        | 27 |
| Gambar 2.2: Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen (Pd T-14-2003:07) | 31 |
| Gambar 2.3: Tipe 1 Perkerasan Kaku pada Tanah Asli (MDP, 2024)        | 32 |
| Gambar 2.4: Tipe 2 Perkerasan Kaku pada Timbunan (MDP, 2024)          | 33 |
| Gambar 2.5: Tipe 3 Perkerasan Kaku pada Galian (MDP, 2024)            | 33 |
| Gambar 2.6: CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Fondasi Bawah           | 48 |
| Gambar 2.7: Tipikal Sambungan Memanjang (MDP, 2024)                   | 56 |
| Gambar 2.8: Grafik Koreksi Effective Modulus od Subgrade Reaction     | 63 |
| Gambar 2.9: Pendekatan nilai modulus tanah dasar (k) (Modul RDE-11)   | 64 |
| Gambar 3.1: Tahapan Penelitian                                        | 73 |
| Gambar 3.2: Lokasi penelitian                                         | 74 |

## SIMBOL DAN SINGKATAN

|             |                                                                                              |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| JSKN        | = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana                                     |
| $JSKN_{JK}$ | = Faktor ekuivalen beban tiap jenis kendarann                                                |
| AASHTO      | = <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>                  |
| CBR         | = <i>California Bearing Ratio</i>                                                            |
| BK          | = Beton Kuras                                                                                |
| D           | = Tebal pelat beton                                                                          |
| JPCP        | = <i>Jointed Plain Concrete Pavements</i> , Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan |
| STRG        | = Sumbu tunggal roda ganda                                                                   |
| STRT        | = Sumbu tunggal roda tunggal                                                                 |
| STdRG       | = Sumbu tandem roda ganda                                                                    |
| STdRT       | = Sumbu tandem roda tunggal                                                                  |
| STrRG       | = Sumbu tridem roda ganda                                                                    |
| SQdRG       | = Sumbu empat roda ganda                                                                     |
| LHR         | = Lalu lintas harian rata – rata                                                             |
| psi         | = <i>Present serviceability index</i>                                                        |
| pci         | = <i>Pavement condition index</i>                                                            |
| k           | = Modulus reaksi tanah dasar                                                                 |
| R           | = Reliability                                                                                |
| $Z_R$       | = <i>Standard normal deviate</i>                                                             |
| ESAL        | = <i>Equivalent standard axle load</i>                                                       |
| CESA        | = <i>Cumulative Equivalent Standard Axles</i>                                                |
| VDF         | = <i>Vehicle Damage Factor</i>                                                               |
| $F_3$       | = Faktor erosi                                                                               |
| $S_e$       | = Tegangan ekuivalen beton                                                                   |

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Peningkatan mobilitas penduduk dan distribusi barang menyebabkan kebutuhan terhadap infrastruktur transportasi yang andal semakin meningkat. Apabila tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jaringan jalan, kondisi tersebut menyebabkan kemacetan lalu lintas. Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah bersama dengan pemangku kepentingan menjadikan peningkatan dan pengembangan prasarana transportasi sebagai langkah strategis untuk mempermudah mobilitas dan memperlancar sistem transportasi. Salah satu upaya yang dilakukan terhadap kondisi tersebut ialah pembangunan jalan tol, yang dibangun dengan tujuan mempercepat waktu tempuh perjalanan sekaligus memperkuat konektivitas antarwilayah terutama pada daerah dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi.

Untuk mendukung prasarana transportasi yang diperlukan di Sumatera Utara maka pemerintah menugaskan PT Hutama Karya (Persero) untuk melaksanakan pembangunan dan pengembangan Jalan Tol Trans – Sumatera. Jalan Tol ini dibangun dengan tujuan untuk menghubungkan Lampung - Banda Aceh melalui 24 ruas tol dengan panjang total sekitar 2.704 km. Bagian dari Jalan Tol Trans - Sumatra tersebut adalah jalan tol ruas Serbelawan - Pematang Siantar yang memiliki peran penting dalam mendukung aksesibilitas dan konektivitas antarwilayah. Keberadaan tol tersebut diharapkan mampu meningkatkan kelancaran arus lalu lintas, mempersingkat waktu tempuh antarwilayah, memperlancar distribusi logistik, serta mendukung pertumbuhan ekonomi terutama untuk masyarakat pada wilayah Pematang Siantar dan sekitarnya. Beberapa permasalahan transportasi yang umumnya dijumpai di Kota Pematang Siantar adalah kemacetan yang disebabkan oleh penumpukan kendaraan dan tidak adanya jalur alternatif. Kondisi jalan tersebut dapat dikatakan belum mampu untuk dilalui

oleh masyarakat sehingga ditakutkan akan menyebabkan kecelakaan lalu lintas. Hal ini juga mengakibatkan masyarakat harus menempuh waktu yang lama dalam menjalankan mobilitasnya. Untuk memperlancar mobilitas di Kota Pematang Siantar maka dilakukan pembangunan jalan tol sebagai solusi untuk mengurangi kemacetan yang sering terjadi serta memperlancar mobilitas masyarakat, yaitu Jalan Tol Trans Sumatera. Dengan karakteristik lalu lintas yang berat dan umur rencana yang panjang, jalan tol ini direncanakan menggunakan perkerasan kaku yang umumnya memiliki daya tahan tinggi dan biaya pemeliharaan yang relatif rendah. Oleh karena itu, kualitas perkerasan dan proses perencanaan ketebalan perkerasan menjadi tahapan yang sangat penting dalam mewujudkan desain yang sesuai guna menjamin keamanan, kenyamanan, dan keberlanjutan fungsi operasional jalan tol (Rizal et al., 2024)

Dalam perencanaan perkerasan kaku, terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dengan pendekatan dan parameter desain yang berbeda. Di Indonesia, metode yang umum digunakan dalam perencanaan perkerasan, yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 yang merupakan pedoman terbaru yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR atau revisi dari MDP 2017 dan AASHTO 1993 (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Dalam praktiknya, setiap metode tersebut terdapat perbedaan pendekatan, parameter desain, serta prosedur perhitungan yang memungkinkan diperolehnya hasil desain tebal perkerasan yang berbeda, meskipun menggunakan data perencanaan yang sama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Wibawa et al., 2025), mendesain perkerasan kaku dengan menggunakan AASHTO 1993 dan MDP 2024 menghasilkan ketebalan pelat beton yang berbeda dengan menunjukkan bahwa MDP 2024 cenderung menghasilkan tebal pelat yang lebih besar dibandingkan AASHTO 1993 karena dipengaruhi faktor keamanan beban dan analisis beban berulang yang lebih aktual. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis komparatif untuk mengetahui karakteristik hasil perencanaan yang dihasilkan oleh kedua metode.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai “Analisis Perbandingan Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode MDP 2024 dan AASHTO 1993 pada Jalan

Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar (Studi Kasus)” diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perbedaan hasil perencanaan kedua metode tersebut dan parameter yang mempengaruhi perbedaan hasil kedua metode, sehingga dapat menjadi referensi dalam pemilihan metode desain perkerasan kaku yang sesuai dengan ketentuan perencanaan yang berlaku.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan tebal perkerasan kaku pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar berdasarkan metode MDP 2024?;
2. Bagaimana hasil perhitungan tebal perkerasan kaku pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar berdasarkan metode AASHTO 1993?;
3. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan tebal perkerasan kaku yang diperoleh berdasarkan metode MDP 2024 dan AASHTO 1993?;
4. Parameter – parameter desain apa saja yang mempengaruhi perbedaan hasil tebal perkerasan kaku antara metode MDP 2024 dan AASHTO 1993?.

## **1.3. Ruang Lingkup**

Berdasarkan permasalahan yang telah dicantumkan, maka ruang lingkup pada penelitian ini diantaranya:

1. Penelitian dilakukan pada ruas Jalan Tol Serbelawan – Pematang Siantar (STA 49+265 s/d STA 52+450);
2. Data perencanaan berdasarkan data sekunder dari instansi terkait, meliputi data lalu lintas harian rata-rata (LHR), data tanah dasar (CBR), serta data lainnya sebagai pendukung untuk laporan ini;
3. Analisis perencanaan tebal perkerasan kaku menggunakan metode MDP 2024 dan AASHTO 1993.

4. Penelitian difokuskan pada perbandingan hasil perencanaan tebal perkerasan kaku serta parameter – parameter yang memengaruhi perbedaan hasil perencanaan antara kedua metode dan tidak membahas manajemen proyek, *time schedule*, pengujian lab material, anggaran biaya dan hal-hal lain yang tidak berhubungan dengan yang telah dituliskan di atas.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Untuk menentukan ketebalan perkerasan kaku yang dibutuhkan pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar berdasarkan metode MDP 2024;
2. Untuk menentukan ketebalan tebal perkerasan kaku yang dibutuhkan pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar berdasarkan metode AASHTO 1993;
3. Membandingkan hasil perhitungan tebal perkerasan kaku yang diperoleh menggunakan metode MDP 2024 dan AASHTO 1993;
4. Untuk menganalisis parameter – parameter desain yang mempengaruhi tebal perkerasan kaku antara metode MDP 2024 dan AASHTO 1993.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang perhitungan tebal *rigid pavement* dengan menggunakan metode MDP 2024 dan AASHTO 1993;
2. Memberikan gambaran mengenai perbedaan tebal perkerasan berdasarkan metode MDP 2024 dan AASHTO 1993;
3. Memberikan referensi dalam pemilihan metode perencanaan perkerasan kaku sesuai dengan tujuan desain.
4. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa yang mengambil topik yang sama dengan laporan ini.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Adapun susunan penulisan laporan Tugas Akhir ini terdiri dari:

**BAB 1 PENDAHULUAN**, bagian ini menjelaskan informasi dari Proposal Tugas Akhir yang berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan laporan akhir; manfaat laporan akhir; dan sistematika penulisan.

**BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**, bagian ini berisi tentang landasan teori yang menyangkut dengan permasalahan yang dibahas dalam penelitian.

**BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**, bagian ini berisi mengenai tahapan pekerjaan dimulai dari persiapan, indentifikasi, tahapan perhitungan, pengumpulan data hingga proses pengolahan data.

**BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**, bagian ini berisi tentang hasil analisa perhitungan dari data yang sudah diperoleh sesuai dengan masalah yang dibahas.

**BAB 5 PENUTUP**, bagian ini berisi kesimpulan dan dan saran berdasarkan data yang telah dianalisa dari penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**, Daftar pustaka berisikan semua sumber kepustakaan yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir, baik berupa buku, jurnal, majalah, maupun sumber-sumber kepustakaan lain.

**LAMPIRAN**, Lampiran memuat tabel, gambar, manual penggunaan alat, dan hal-hal lain yang perlu dilampirkan untuk memperjelas uraian dalam laporan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Landasan Teori**

##### **2.1.1. Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan merupakan struktur berlapis yang dibangun di atas tanah dasar yang berfungsi untuk menyalurkan beban kendaraan yang melintasi struktur tersebut ke tanah dasar melalui lapisan pondasi dan lapisan permukaan. Menurut (Ardiansyah & Sudibyo, 2020), kinerja perkerasan secara struktural dan fungsional harus tetap dijaga agar umur layanannya tetap sesuai dengan perencanaan, serta perkerasan dapat terus menahan beban lalu lintas yang bekerja serta tingkat pelayanan jalan tentunya didasarkan pada kenyamanan pengguna. Perkerasan dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*);
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*);
3. Perkerasan komposit (*composite pavement*);

Berdasarkan material/bahan pengikat yang digunakan pada setiap perkerasan, perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, perkerasan kaku menggunakan semen *portland* sebagai bahan pengikatnya dengan permukaan lapisan berupa beton, dan perkerasan komposit merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

##### **2.1.2. Klasifikasi Jalan**

Berdasarkan (Peraturan Pemerintah, 2006) No. 34 tentang jalan dan (Undang - Undang, 2009) No. 22 tentang lalu lintas dan angkutan jalan, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh bagian jalan beserta bangunan penghubung

dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, baik yang berada di permukaan tanah, di atas, atau di bawah permukaan dan air, tidak termasuk jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel. Jalan dapat diklasifikasikan menurut peruntukan, sistem jaringan jalan, fungsi, status, dan spesifikasi penyediaan prasarana jalan serta kelas jalan.

#### 1. Berdasarkan peruntukan jalan

Berdasarkan peruntukan jalan, jalan dikelompokkan sebagai berikut:

##### a. Jalan umum

Jalan umum ialah jalan yang difungsikan untuk lalu lintas umum termasuk jalan bebas hambatan dan jalan tol serta jalan yang dikelola oleh pemerintah.

##### b. Jalan khusus

Jalan khusus merupakan jalan yang hanya diperuntukan bagi kepentingan masyarakat atau instansi tertentu serta pengoperasiannya dilakukan oleh instansi pemerintah/pemerintah bersama swasta, perorangan, atau kelompok masyarakat tertentu.

#### 2. Berdasarkan sistem jaringan jalan

Jalan dikelompokkan sebagai berikut:

##### a. Sistem jaringan jalan primer

Sistem jaringan jalan yang memiliki fungsi untuk melayani distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan berbagai pusat kegiatan nasional, wilayah, lokal, hingga lingkungan.

##### b. Sistem jaringan jalan sekunder

Sistem jaringan jalan yang berperan dalam melayani distribusi barang dan jasa bagi masyarakat di kawasan perkotaan.

#### 3. Berdasarkan fungsi

Berdasarkan fungsi, jalan diklasifikasikan menjadi:

##### a. Jalan arteri

Jalan arteri berfungsi untuk melayani angkutan umum dengan karakteristik perjalanan jarak jauh, kecepatan rata – rata tinggi serta akses yang masuk dibatasi secara efisien. Untuk Jalan arteri primer, lalu lintas jarak jauh harus bebas dari

gangguan lalu lintas lokal dan kegiatan di sekitarnya dengan kecepatan rencana paling rendah 60 km/jam dan lebar jalan paling sedikit 11 m. Sedangkan jalan arteri sekunder merupakan jalan utama di dalam kota yang biasanya berada di pusat kegiatan, seperti kawasan perkantoran dan perdagangan dengan kecepatan rencana min. 30 km/jam dan lebar minimum 11 m.

b. Jalan kolektor

Jalan kolektor adalah jalan umum yang diperuntukkan untuk melayani angkutan pengumpul/pembagi yang ditandai dengan perjalanan jarak sedang, kecepatan rata – rata, dan jumlah jalan masuk dibatasi. Untuk jalan kolektor primer, berfungsi untuk menghubungkan antara pusat kegiatan nasional dengan kegiatan regional dengan kecepatan minimum rencana 40 km/jam dan lebar badan jalan minimum 9 m. Sedangkan jalan kolektor sekunder merupakan jalan memiliki peranan untuk melayani jasa distribusi dalam kota dengan kecepatan minimum 20 km/jam dan lebar badan jalan paling sedikit 9 m.

c. Jalan lokal

Jalan lokal merupakan jalan yang melayani angkutan setempat perjalanan dengan karakteristik perjalanan jarak dekat, kecepatan rata – rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi. Untuk jalan lokal primer, jalan digunakan untuk menghubungkan pusat kegiatan nasional, wilayah, lokal dengan pusat kegiatan lingkungan yang memiliki kecepatan rencana min. 20 km/jam dengan lebar badan jalan minimum 7,5 m. Sedangkan jalan lokal sekunder merupakan jalan yang menghubungkan kawasan – kawasan sekunder dengan perumahan yang memiliki kecepatan rencana min. 10 km/jam dengan lebar badan jalan minimum 7,5 m.

d. Jalan lingkungan

Jalan yang memiliki fungsi untuk melayani angkutan lingkungan yang tentunya dengan perjalanan jarak cepat dan kecepatan rata – rata rendah. Untuk jalan lingkungan primer, jalan berfungsi sebagai penghubung antarpusat kegiatan di kawasan perdesaan yang mana kecepatan rencana minimum 15 km/jam dengan lebar badan jalan paling sedikit 6,5 m. Sedangkan jalan lingkungan sekunder berfungsi sebagai penghubung antarpensil di kawasan perkotaan dengan kecepatan rencana min. 10 km/jam dengan lebar badan jalan minimum 6,5 m.

#### 4. Berdasarkan status

Jalan umum berdasarkan statusnya, diklasifikasikan sebagai berikut:

##### a. Jalan nasional

Jalan nasional meliputi jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota antar provinsi, jalan strategis nasional, dan jalan tol.

##### b. Jalan provinsi

Jalan provinsi meliputi jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten/kota, antar ibu kota kabupaten/kota, serta jalan strategis provinsi.

##### c. Jalan kabupaten

Jalan kabupaten meliputi jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang tidak termasuk jalan nasional maupun jalan provinsi. Jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang berfungsi menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan pusat desa, antar ibu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan kegiatan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, dan jalan umum dengan sistem jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.

##### d. Jalan kota

Jalan kota merupakan jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, antarpusat pelayanan dalam kota, antar persil, antarpusat permukiman yang berada di dalam kota, dan jalan poros desa dalam wilayah kota.

##### e. Jalan desa

Jalan desa meliputi jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antarpermukiman di dalam desa serta jalan lingkungan di dalam desa.

#### 5. Berdasarkan kelas

Menurut (Bina Marga, 2021) tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan No. 13/P/BM/2021, kelas jalan terdiri dari kelas I, kelas II, kelas III dan kelas khusus. Adapun klasifikasi kelas jalan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kelas jalan sesuai penggunaannya (PDGJ, 2021)

| Kelas  | Fungsi Jalan                           | Dimensi Kendaraan (m) |             |            | Muatan Sumbu Terberat (MST) Maks. |
|--------|----------------------------------------|-----------------------|-------------|------------|-----------------------------------|
|        |                                        | Panjang               | Lebar       | Tinggi     | Ton                               |
| I      | Arteri, Kolektor                       | $\leq 18$             | $\leq 2,55$ | $\leq 4,2$ | 10                                |
| II     | Arteri, Kolektor, Lokal dan Lingkungan | $\leq 12$             | $\leq 2,55$ | $\leq 4,2$ | 8                                 |
| III    |                                        | $\leq 9$              | $\leq 2,2$  | $\leq 3,5$ | 8                                 |
| Khusus | Arteri                                 | $> 18$                | $\leq 2,55$ | $\leq 4,2$ | $> 10$                            |

Berdasarkan (Bina Marga, 2021) Pedoman Desain Geometrik Jalan 2021 , tipe jalan dibagi menjadi:

1. 1/1, tipe jalan satu lajur satu arah;
2. 1/2, tipe jalan satu lajur dua arah;
3. 2/1, tipe jalan dua lajur satu arah;
4. 2/2-TT, tipe jalan 2 lajur 2 arah tak terbagi;
5. 4/2-TT, tipe jalan 4 lajur 2 arah tak terbagi;
6. 4/2-T, tipe jalan 4 lajur 2 arah terbagi;
7. 6/2-T, tipe jalan 6 lajur 2 arah terbagi;
8. 8/2-T, tipe jalan 8 lajur 2 arah terbagi.

Berdasarkan Peraturan pemerintah No. 34 tahun 2006 tentang jalan, adapun bagian-bagian jalan, yaitu:

1. Ruang Manfaat Jalan (Rumaja)

Ruang manfaat jalan adalah ruang sepanjang jalan yang berfungsi untuk konstruksi jalan dan terdiri atas median, perkerasan jalan, bahu jalan, trotoar, saluran tepi jalan, gorong – gorong, perlengkapan jalan, dan bangunan pelengkap lainnya. Adapun ukuran tinggi dan kedalam yang di dimiliki Rumaja sebagai berikut:

- a. Lebar ruang bebas diukur di antara dua garis vertikal pada batas terluas ambang pengaman atas bebas terluar Rumaja.

- b. Tinggi minimal 5,1 m di atas permukaan jalur lalu lintas.
- c. Kedalaman minimal 1,5 m di bawah permukaan jalur lalu lintas terendah.

## 2. Ruang Milik Jalan (Rumija)

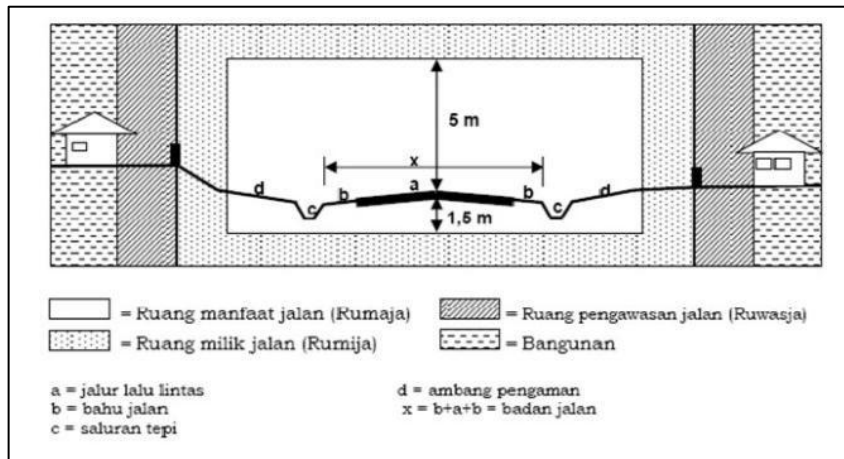
Ruang milik jalan terdiri dari ruang manfaat jalan dan area tertentu di luar ruang manfaat jalan. Rumija berfungsi untuk pelebaran jalan, penambahan jalur lalu lintas, dan kebutuhan ruangan untuk pengaman jalan. Ruang milik jalan memiliki lebar sebagai berikut:

- a. Ruang bebas hambatan 30 meter;
- b. Jalan raya 25 meter;
- c. Jalan sedang 15 meter;
- d. Jalan kecil 11 meter.

## 3. Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja)

Ruang pengawasan jalan adalah area tertentu yang berada di luar ruang milik jalan yang penggunaannya berada dalam pengawasan penyelenggara jalan agar tidak mengganggu fungsi dari konstruksi bangunan jalan, jarak pandangan pengemudi apabila ruang milik jalan tidak cukup luas, serta tidak mengganggu fungsi jalan. Adapun Lebar Ruwasja ditentukan dari tepi badan jalan paling sedikit, sebagai berikut:

- a. Jalan arteri 15 m.
- b. Jalan kolektor primer 10 m.
- c. Jalan lokal primer 7.
- d. Jalan lingkungan primer 5 m.
- e. Jalan arteri sekunder 15 m.
- f. Jalan kolektor sekunder 5 m.
- g. Jalan lokal sekunder 3 m.
- h. Jalan lingkungan sekunder 2 m, dan
- i. Jembatan 100 m ke arah hilir dan hulu.



Gambar 2.1: Bagian - bagian jalan (PDGJ, 2021)

### 2.1.3. Struktur Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku merupakan jenis perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga modulus elastisitasnya tinggi (Almufid et al., 2020). Perkerasan jalan beton atau perkerasan kaku (*rigid pavement*) memiliki struktur yang tersusun atas pelat beton yang dapat bersifat menerus atau tidak menerus, dengan atau tanpa tulangan, yang diletakkan di atas lapisan fondasi bawah atau tanah dasar (*subgrade*). Pada perkerasan kaku, pelat beton menjadi elemen utama yang berfungsi menahan beban lalu lintas dan memberikan kekuatan struktural pada perkerasan (Anggie, 2022)

Adapun kelebihan perkerasan kaku antara lain adalah:

1. Pekerjaan *QA/QC* akan lebih mudah termasuk juga proses konstruksi.
2. Biaya pemeliharaan cenderung lebih rendah apabila mutu pelaksanaan baik.
3. Pekerjaan pembuatan campuran material relatif sederhana.

Disamping kelebihan yang ada, perkerasan beton semen jugak memiliki kekurangan, yaitu:

1. Biaya konstruksi relatif lebih tinggi pada jalan dengan volume lalu lintas rendah.
2. Memiliki potensi retak jika dibangun pada tanah dasar yang lemah (lunak), daya dukung rendah, atau mutu pelaksanaan konstruksi yang kurang baik.
3. Dibanding perkerasan lain, tingkat kenyamanannya umumnya lebih rendah.

Pada umumnya, perkerasan yang digunakan untuk jalan dengan lalu lintas dan repetisi beban yang tinggi dianjurkan menggunakan perkerasan kaku (Kosim et al., 2022). Lalu lintas berat dapat dikatakan jika  $> 10$  juta ESA4 dan pelaksanaan perkerasan kaku harus pada tanah dasar homogen dan bukan pada tanah lunak (bermasalah). Sedangkan biaya untuk perkerasan kaku akan lebih mahal dibandingkan perkerasan lentur jika digunakan pada lalu lintas rendah, khususnya pada wilayah dengan gangguan lalu lintas yang relatif kecil pada saat proses konstruksi seperti wilayah pedesaan. Perkerasan kaku menunjukkan umur layanan efektif yang lebih panjang, yaitu sekitar 37,5 tahun dibandingkan perkerasan lentur yang hanya 26 tahun dengan umur rencana 40 tahun (Quezon et al., 2016). Pada perkerasan kaku, struktur yang membentuk perkerasan ini tersusun atas 3 lapisan yang berada di atas tanah dasar, meliputi lapisan fondasi agregat kelas A, lapis fondasi bawah, dan pelat beton semen yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan atau beban dari kendaraan ke lapisan di bawahnya hingga ke tanah dasar (Carlina et al., 2024).

#### **2.1.3.1. Tanah Dasar**

Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) tanah dasar merupakan parameter yang krusial dalam merancang perkerasan jalan. Untuk memperoleh nilai CBR tanah dasar, perlu dilakukan pengujian *Dynamic Cone Penetration* (DCP) dan mampu memberikan data kekuatan tanah hingga kedalaman  $\pm 70$  cm (Clinton et al., 2020). Dalam perencanaan perkerasan, ruas jalan dibagi menjadi beberapa segmen sesuai dengan kesamaan kondisi tanah dasar yang diasumsikan homogen dan tidak menunjukkan variasi yang besar. Penetapan segmen seragam yang pendek tidak dianjurkan, terutama saat didapati nilai CBR yang tidak seragam, sehingga biaya dan manfaat dalam penentuan panjang segmen perlu dipertimbangkan. Menurut (Firgiansyah et al., 2022), pada kesimpulannya menyatakan bahwa dalam metode AASHTO 1993, nilai CBR digunakan sebagai dasar untuk menentukan modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ), yang selanjutnya mempengaruhi ketebalan pelat beton. Nilai CBR yang rendah akan menghasilkan nilai  $k$  yang kecil sehingga

ketebalan lapisan beton yang dibutuhkan menjadi lebih besar. Jika tanah dasar setempat memiliki daya dukung rendah, maka tanah tersebut diberi perlakuan khusus dengan cara penggantian material agar lebih baik.

Pada umumnya, tanah dasar pada perkerasan kaku hanya dipengaruhi tegangan akibat beban lalu lintas dalam jumlah relatif kecil, tetapi ketahanan dan kekuatan perkerasan kaku sangat bergantung kepada nilai daya dukung dan keseragaman tanah dasar. Menurut (Noka et al., 2025), nilai CBR tanah dasar terbukti mempengaruhi modulus efektif lapisan dasar, peningkatan nilai CBR menyebabkan berkurangnya ketebalan pelat beton, dan kondisi mutu beton yang tinggi, faktor CBR memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap ketebalan pelat beton dibandingkan kualitas beton sesuai dengan metode AASHTO 1993.

#### **2.1.3.2. Lapisan Fondasi Bawah**

Pada perkerasan kaku, lapis fondasi bawah memiliki fungsi sebagai penambah daya dukung tanah dasar, menyediakan lantai kerja yang stabil dan mendapatkan permukaan dengan daya dukung yang seragam. Pada umumnya fungsi lapis fondasi bawah (*sub-base*) untuk struktur perkerasan kaku tidak terlalu memiliki peran terhadap struktural perkerasan tersebut, dengan kata lain keberadaannya tidak untuk menyumbangkan nilai struktur terhadap tebal pelat beton. Adapun fungsi lain dari lapisan pondasi bawah, sebagai berikut:

1. Mengurangi lendutan pada sambungan – sambungan sehingga menjaga penyaluran beban melalui sambungan muai dalam waktu lama;
2. Mengendalikan kembang dan susut tanah dasar;
3. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan retakan dan tepi – tepi pelat;
4. Memberikan dukungan yang totalitas dan seragam pada pelat.

Permukaan *sub – base* yang tidak rata, akan menyebabkan ketidak-rataan pelat beton yang dapat memicu timbulnya keretakan pelat. Sehingga material pada lapisan fondasi bawah dapat berupa:

1. Bahan dengan pengikat (BP)

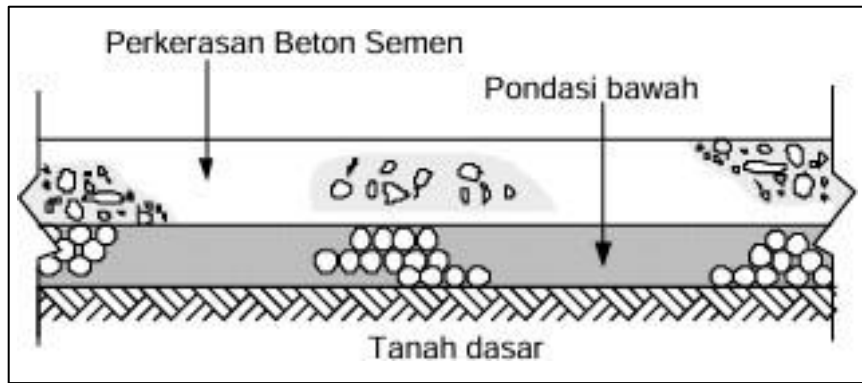
- a. Stabilisasi semen (*Cement Treated Base, CTB*);
  - b. Beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*);
  - c. Campuran beraspal.
2. Beton kurus (*BK/Lean Mix Concrete*)

#### **2.1.3.3. Pelat Beton**

Pelat beton terbuat dari beton semen yang mempunyai mutu tinggi, yang dicor setempat di atas pondasi bawah. Pelat beton dapat mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah dasar dengan area yang cukup luas dibandingkan dengan perkerasan lentur. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan kaku diperoleh dari pelat beton sendiri.

#### **2.1.4. Jenis Perkerasan Kaku atau Beton Semen**

Perkerasan kaku adalah struktur tersusun atas atas pelat beton semen yang bersambung dengan atau tanpa tulangan, menerus dengan tulangan, yang terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, baik dengan maupun tanpa lapisan permukaan beraspal. Perkerasan kaku (*rigid pavement*) merupakan pilihan yang sesuai untuk pembangunan infrastruktur yang mengutamakan umur layan yang panjang serta biaya pemeliharaan yang relatif rendah, sehingga menjadikan perkerasan kaku sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dan ekonomis (Wisastra et al., n.d.). Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen (Pd T-14-2003:07)

Berdasarkan (Bina Marga, 2003) perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 4 jenis, sebagai berikut:

1. Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan (*Jointed Plain Concrete Pavement – JPCP*)

Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (JPCP) adalah jenis perkerasan kaku yang hanya menggunakan pelat beton tanpa tulangan memanjang. Sambungan pelat dibuat dengan jarak tertentu untuk menghindari retak akibat penyusutan dan perubahan suhu. Pada perkerasan ini, pelat beton menjadi pemikul utama beban lalu lintas, sedangkan pendistribusian beban antar pelat biasanya dibantu dengan batang *dowel* pada sambungan melintang. Sedangkan *tie bar* dipasang pada sambungan memanjang untuk menahan gaya tarik dan menjaga posisi pelat beton tetap stabil. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan ini dapat dikatakan tipe perkerasan beton semen yang paling ekonomis baik pada tahap pembangunan hingga pemeliharaan jangka panjang (Chua & Nepal, 2025).

2. Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan (*Jointed Reinforcement Concrete Pavement – JRCP*)

JRCP merupakan perkerasan yang menggunakan tulangan baja sebagai pengendali lebar retak pelat beton. Jarak antar sambungan pada perkerasan ini dibuat lebih panjang dibandingkan JPCP. Tulangan yang digunakan berfungsi untuk meminimalisir dan mengontrol retak yang mungkin terjadi, sehingga fungsi utamanya bukan sebagai penahan beban utama. Umumnya, JRCP digunakan pada

lalu lintas berat dan kondisi tanah dasar (*subgrade*) yang perlu diberi perlakuan tambahan agar lebih baik.

### 3. Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement – CRCP*)

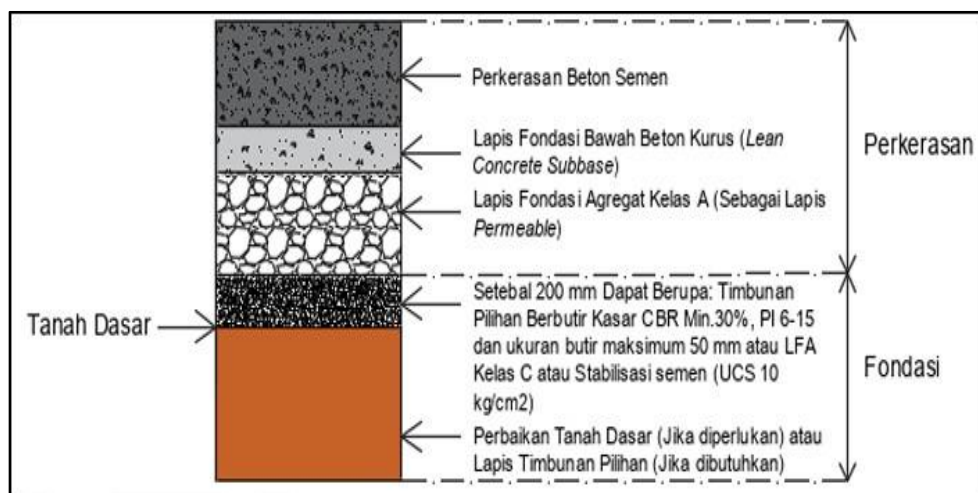
Menurut (Mcdonald & Faci, n.d.) CRCP merupakan perkerasan beton yang menggunakan tulangan dalam jumlah yang cukup sehingga dapat memastikan agar retakan yang terjadi pada perkerasan tetap terkendali, sehingga lebar retakan tidak terlalu lebar serta perkerasan ini sesuai jika digunakan untuk beban lalu lintas yang berat.

### 4. Perkerasan Beton Semen Pra – Tegang (*Prestressed Concrete Pavement – PCP*)

PCP merupakan perkerasan yang menggunakan gaya prategang untuk memberikan tekanan awal pada pelat beton sehingga mampu mengurangi tegangan tarik akibat beban lalu lintas dan perubahan temperatur. Oleh karena itu, terdapat kemungkinan tebal pelat yang digunakan akan lebih tipis dibandingkan dengan perkerasan beton konvensional. Disamping kinerja struktural yang baik dan umur layanan yang panjang, penerapan jenis perkerasan ini masih terbatas karena membutuhkan teknologi konstruksi yang tinggi serta biaya yang relatif mahal.

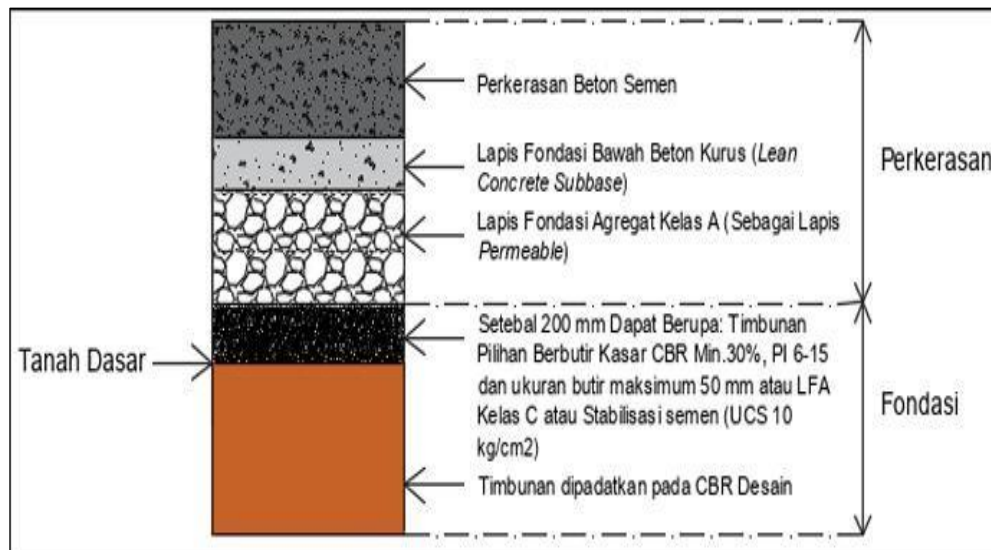
Adapun tipe – tipe perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:

#### a. Tipe 1 perkerasan kaku pada permukaan tanah asli (*At Grade*)



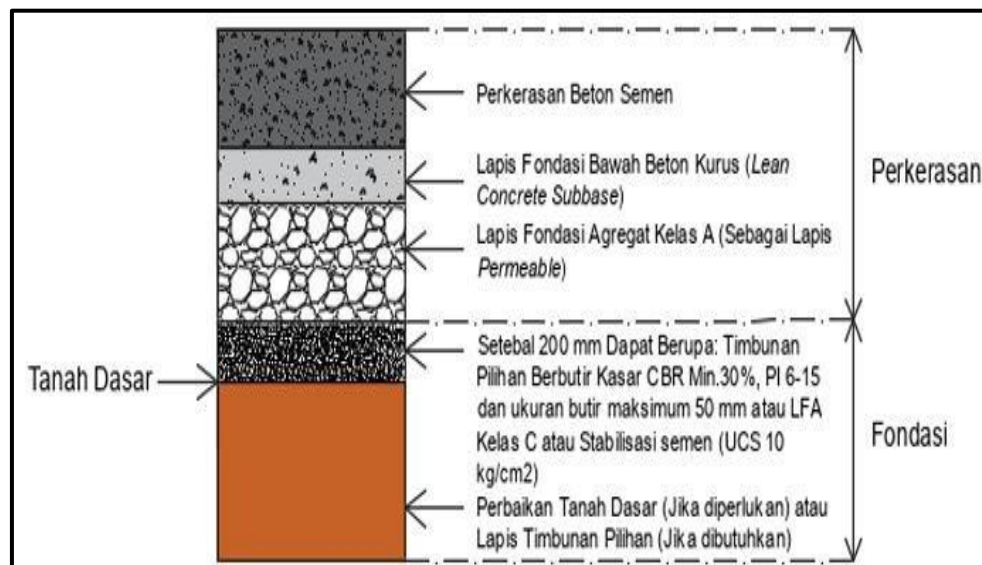
Gambar 2.3: Tipe 1 Perkerasan Kaku pada Tanah Asli (MDP, 2024)

b. Tipe 2 perkerasan kaku pada timbunan



Gambar 2.4: Tipe 2 Perkerasan Kaku pada Timbunan (MDP, 2024)

c. Tipe 3 perkerasan kaku pada galian



Gambar 2.5: Tipe 3 Perkerasan Kaku pada Galian (MDP, 2024)

### **2.1.5. Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Metode MDP 2024**

Metode Manual Desain Perkerasan Jalan No. 03/M/BM/2024 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga untuk menggantikan edisi tahun 2017 yang digunakan sebagai pedoman pada perancangan/perencanaan perkerasan jalan, sekaligus mengatur prosedur perancangan struktur perkerasan baru maupun rehabilitasi, baik untuk perkerasan lentur maupun kaku, agar mampu memenuhi umur layan yang telah direncanakan. Pada MDP 2024 nilai reliabilitas yang digunakan, baik untuk perencanaan perkerasan baru maupun rehabilitasi, ditetapkan sebesar 90%. Berdasarkan pedoman (Bina Marga, 2024), parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung tebal lapis perkerasan kaku dengan metode manual desain perkerasan jalan Bina Marga 2024, yaitu:

1. Umur rencana;
2. Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga
3. Faktor pertumbuhan lalu lintas ( $i$ );
4. Faktor distribusi lajur ( $D_L$ );
5. Volume Lalu Lintas, Perhitungan JSKN rencana;
6. CBR Desain tanah dasar;
7. Lapis fondasi bawah;
8. Penentuan mutu beton;
9. Perencanaan penentuan tebal plat;
10. Tegangan ekuivalen ( $S_e$ ) dan faktor erosi;
11. Menentukan sambungan.

#### **2.1.5.1. Umur Rencana**

Umur rencana (UR) perkerasan jalan ditentukan berdasarkan pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas dan nilai ekonomi jalan. Penentuan umur rencana perkerasan jalan baru dapat dilihat pada Tabel 2.2.

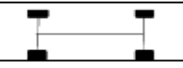
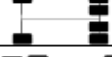
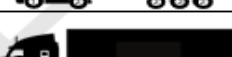
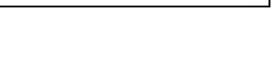
Tabel 2.2: Umur rencana perkerasan jalan baru (UR) (MDP, 2024)

| Jenis Perkerasan    | Elemen Perkerasan                                                                                                                                                    | Umur Rencana (Tahun) |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Perkerasan Lentur   | Lapisan aspal dan lapisan berbutir                                                                                                                                   | 20                   |
|                     | Lapis Fondasi Jalan                                                                                                                                                  |                      |
| Perkerasan Lentur   | Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan sering pelapisan ulang ( <i>overlay</i> ) seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan dan terowongan | 40                   |
|                     | <i>Cement Treated Base</i> (CBT)                                                                                                                                     |                      |
| Perkerasan Kaku     | Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen dan fondasi jalan                                                                                         |                      |
| Jalan Tanpa Penutup | Semua elemen (termasuk fondasi jalan)                                                                                                                                | 10                   |

#### 2.1.5.2. Sebaran Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Sistem klasifikasi kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.3 beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang memiliki beban gandar yang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasan. Terdapat 8 klasifikasi kendaraan mulai dari Gol. 1, Gol. 2, Gol. 3, Gol. 4, Gol. 5A, Gol. 5B, Gol. 6A, Gol. 6B, Gol. 7A1, Gol. 7A2, Gol. 7A3, Gol. 7B1, Gol. 7B2, Gol. 7B3, Gol. 7C1, Gol. 7C2A, Gol. 7C2B, Gol. 7C3, Gol. 7C4, dan Gol. 8.

Tabel 2.3: Klasifikasi dan Konfigurasi Sumbu Kendaraan (MDP, 2024)

| Klasifikasi Kendaraan | Uraian                                            | Konfigurasi Sumbu | Kelompok sumbu | Skema Konfigurasi                                                                    |                                                                                       |
|-----------------------|---------------------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                     | Sepeda motor dan kendaraan roda-3                 |                   |                |     |                                                                                       |
| 2                     | Kendaraan ringan - sedan, jeep, dan station wagon | 1.1               | 2              |     |    |
| 3                     | Kendaraan ringan - angkutan umum sedang           | 1.1               | 2              |     |    |
| 4                     | Kendaraan ringan - pick up, micro truck           | 1.1               | 2              |     |    |
| 5A                    | Bus kecil                                         | 1.1               | 2              |    |    |
| 5B                    | Bus besar                                         | 1.2               | 2              |    |    |
| 6A                    | Truk 2 sumbu-truk ringan                          | 1.1               | 2              |     |    |
| 6B                    | Truk 2 sumbu-truk sedang                          | 1.2               | 2              |     |    |
| 7A1                   | Truk 3 sumbu-berat                                | 11.2              | 2              |    |    |
| 7A2                   | Truk 3 sumbu-berat                                | 1.22              | 2              |   |   |
| 7A3                   | Truk 4 sumbu-berat                                | 11.22             | 2              |  |  |
| 7B1                   | Truk 4 sumbu-berat                                | 1.2+2.2           | 4              |  |  |
| 7B2                   | Truk 5 sumbu-berat                                | 11.2+2.2          | 4              |  |  |
| 7B3                   | Truk 5 sumbu-berat                                | 1.22+2.2          | 4              |  |  |
| 7C1                   | Truk 4 sumbu-berat                                | 1.2-22            | 3              |  |  |
| 7C2A                  | Truk 5 sumbu-berat                                | 1.22-22           | 3              |  |  |
| 7C2B                  | Truk 5 sumbu-berat                                | 1.2-222           | 3              |  |  |
| 7C3                   | Truk 6 sumbu-berat                                | 1.22-222          | 3              |  |  |
| 7C4                   | Truk 7 sumbu-berat                                | 1.22-2222         | 3              |  |  |
| 8                     | Kendaraan tak bermotor                            |                   |                |   |                                                                                       |

### 2.1.5.3. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas harus berpedoman pada data – data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia maka dapat menggunakan Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Faktor laju pertumbuhan lalu lintas, i (%) (MDP, 2024)

| Jenis Jalan          | Jawa | Sumatera | Kalimantan | Rata-rata Indonesia |
|----------------------|------|----------|------------|---------------------|
| Arteri dan Perkotaan | 4,80 | 4,83     | 5,14       | 4,75                |
| Kolektoral Rural     | 3,5  | 3,50     | 3,50       | 3,50                |
| Jalan Desa           | 1,00 | 1,00     | 1,00       | 1,00                |

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*) dengan Pers. 2.1 di bawah ini.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i} \quad (2.1)$$

Keterangan:

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i : Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR : Umur rencana (tahun)

Jika diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan sepanjang total umur rencana (UR), maka faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat diketahui dengan menggunakan Pers. 2.2 di bawah ini.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i} + (1 + 0,01i_1)^{(UR_1-1)}(1 + 0,01i_2) \left\{ \frac{(1+0,01i_2)^{(UR-UR_1)}-1}{0,01i_2} \right\} \quad (2.2)$$

Keterangan:

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i<sub>1</sub> : Laju pertumbuhan lalu lintas periode 1 (%)

i<sub>2</sub> : Laju pertumbuhan lalu lintas periode 2 (%)

UR : Total umur rencana (tahun)

UR<sub>1</sub> : Umur rencana periode 1 (tahun)

#### 2.1.5.4. Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi dari arah tertentu. Faktor distribusi lajur harus berdasarkan data-data hasil survai lalu lintas setempat atau jika tidak tersedia dapat menggunakan Tabel 2.5.

Tabel 2.5: Faktor distribusi lajur ( $D_L$ ) (MDP, 2024)

| Jumlah Lajur Setiap Arah | $D_L$ (%) |
|--------------------------|-----------|
| 1                        | 100       |
| 2                        | 80        |
| 3                        | 60        |
| 4                        | 50        |

#### 2.1.5.5. Lalu Lintas

Satuan beban lalu lintas yang digunakan pada desain perkerasan kaku ialah Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) dan bukan nilai ESA (*Equivalent Standard Axle*). Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban setiap kelompok sumbu dapat menggunakan data hasil survei jembatan timbang atau mengacu pada distribusi beban JSKN per provinsi untuk dapat digunakan dalam perencanaan perkerasan kaku. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu.

Data distribusi beban JSKN untuk kondisi beban berlebih maupun beban normal (terkendali) per provinsi telah dikembangkan dari studi penimbangan beban gandar kendaraan di beberapa provinsi pada periode 5 tahun (2015 – 2019). Kendaraan

yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen (kaku) adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 6 jenis kelompok sumbu sebagai berikut:

1. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT);
2. Sumbu tunggal roda ganda (STRG);
3. Sumbu tandem roda tunggal (STdRT);
4. Sumbu tandem roda ganda (STdRG);
5. Sumbu tridem roda ganda (STrRG);
6. Sumbu empat roda ganda (SQdRG).

Adapun tabel distribusi beban Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga untuk Jalan Lalu Lintas Berat (untuk desain perkerasan kaku) JSKN Aceh – Sumatera Utara dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6: Distribusi beban JSKN (beban faktual) Aceh - Sumatera Utara (MDP, 2024)

| Beban<br>Kelompok<br>Sumbu (kN) | STRT (%) | STRG (%) | STdRT (%) | STdRG (%) | STrRG (%) | SQdRG (%) |
|---------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10                              | 0,04     | 0,15     | 4,84      | 0,00      | 0,76      | 0,00      |
| 20                              | 16,52    | 0,05     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 30                              | 22,12    | 11,87    | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 40                              | 11,83    | 16,30    | 1,61      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 50                              | 18,18    | 13,62    | 4,84      | 0,04      | 0,00      | 0,00      |
| 60                              | 13,47    | 12,45    | 3,23      | 0,30      | 0,00      | 0,00      |
| 70                              | 15,03    | 8,85     | 0,00      | 0,91      | 0,00      | 0,00      |
| 80                              | 2,04     | 6,11     | 3,23      | 2,23      | 0,00      | 0,00      |
| 90                              | 0,59     | 4,62     | 8,06      | 2,70      | 0,00      | 0,00      |
| 100                             | 0,19     | 3,93     | 16,13     | 3,23      | 0,76      | 0,00      |
| 110                             | 0,00     | 3,98     | 11,29     | 3,31      | 1,53      | 0,00      |
| 120                             | 0,00     | 3,73     | 3,23      | 2,84      | 0,00      | 0,00      |
| 130                             | 0,00     | 2,84     | 11,29     | 3,82      | 0,00      | 0,00      |

Tabel 2. 7 *Lanjutan*

| Beban<br>Kelompok<br>Sumbu (kN) | STRT<br>(%) | STRG<br>(%) | STdRT<br>(%) | STdRG<br>(%) | STrRG<br>(%) | SQdRG<br>(%) |
|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 140                             | 0,00        | 0,56        | 1,61         | 3,56         | 0,00         | 0,00         |
| 150                             | 0,00        | 2,21        | 9,68         | 4,22         | 3,82         | 0,00         |
| 160                             | 0,00        | 0,08        | 4,84         | 4,14         | 1,53         | 0,00         |
| 170                             | 0,00        | 0,08        | 11,29        | 4,47         | 1,53         | 0,00         |
| 180                             | 0,00        | 0,05        | 0,00         | 4,67         | 1,53         | 0,00         |
| 190                             | 0,00        | 0,02        | 3,23         | 4,51         | 2,29         | 0,00         |
| 200                             | 0,00        | 0,02        | 1,61         | 5,05         | 5,34         | 0,00         |
| 210                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 5,06         | 3,05         | 0,00         |
| 220                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 5,14         | 3,05         | 0,00         |
| 230                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 6,87         | 4,58         | 0,00         |
| 240                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 4,21         | 5,34         | 0,00         |
| 250                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 3,54         | 3,82         | 0,00         |
| 260                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 3,27         | 6,11         | 0,00         |
| 270                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 3,03         | 6,11         | 0,00         |
| 280                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 2,50         | 1,53         | 0,00         |
| 290                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 2,10         | 8,40         | 0,00         |
| 300                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 2,11         | 3,05         | 0,00         |
| 310                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 12,39        | 3,82         | 0,00         |
| 320                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,17         | 2,29         | 0,00         |
| 330                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,02         | 6,11         | 0,00         |
| 340                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,02         | 4,58         | 0,00         |
| 350                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,02         | 1,53         | 0,00         |
| 360                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,01         | 0,00         | 0,00         |
| 370                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 3,82         | 0,00         |
| 380                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| 390                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 2,29         | 0,00         |
| 400                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 3,82         | 0,00         |
| 410                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,02         | 1,53         | 0,00         |
| 420                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,76         | 0,00         |
| 430                             | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,76         | 0,00         |

Tabel 2.8: *Lanjutan*

| Beban<br>Kelompok<br>Sumbu (kN) | STRT (%) | STRG (%) | STdRT (%) | STdRG (%) | STrRG (%) | SQdRG (%) |
|---------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 440                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 450                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 1,53      | 0,00      |
| 460                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,76      | 0,00      |
| 470                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 480                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 490                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 500                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,76      | 0,00      |
| 510                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 520                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 530                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 540                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 550                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,76      | 0,00      |
| 560                             | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,76      | 0,00      |
| JUMLAH                          | 100,00   | 100,00   | 100,00    | 100,00    | 100,00    | 0,00      |

Tabel 2.9: Distribusi beban JSKN (beban normal) Aceh - Sumatera (MDP, 2024)

| Beban<br>Kelompok<br>Sumbu<br>(kN) | STRT (%) | STRG (%) | STdRT (%) | STdRG (%) | STrRG (%) | SQdRG (%) |
|------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 10                                 | 0,04     | 0,15     | 4,84      | 0,00      | 0,76      | 0,00      |
| 20                                 | 16,52    | 0,05     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 30                                 | 22,12    | 11,87    | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 40                                 | 11,83    | 16,30    | 1,61      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 50                                 | 18,18    | 13,62    | 4,84      | 0,04      | 0,00      | 0,00      |
| 60                                 | 13,47    | 12,45    | 3,23      | 0,30      | 0,00      | 0,00      |
| 70                                 | 15,03    | 8,85     | 0,00      | 0,91      | 0,00      | 0,00      |

Tabel 2.10: *Lanjutan*

| Beban<br>Kelompok<br>Sumbu<br>(kN) | STRT (%) | STRG (%) | STdRT (%) | STdRG (%) | STrRG (%) | SAQdRG (%) |
|------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 80                                 | 2,82     | 32,02    | 3,23      | 2,23      | 0,00      | 0,00       |
| 90                                 | 0,00     | 0,71     | 82,26     | 2,70      | 0,00      | 0,00       |
| 100                                | 0,00     | 3,99     | 0,00      | 3,23      | 0,76      | 0,00       |
| 110                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 3,31      | 1,53      | 0,00       |
| 120                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 2,84      | 0,00      | 0,00       |
| 130                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 3,32      | 0,00      | 0,00       |
| 140                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 3,56      | 0,00      | 0,00       |
| 150                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 4,22      | 3,82      | 0,00       |
| 160                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 4,14      | 1,53      | 0,00       |
| 170                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 4,47      | 1,53      | 0,00       |
| 180                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 64,71     | 1,53      | 0,00       |
| 190                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 2,29      | 0,00       |
| 200                                | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 86,26     | 0,00       |
| JUMLAH                             | 100,00   | 100,00   | 100,00    | 100,00    | 100,00    | 0,00       |

Konfigurasi sumbu setiap kelas kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11: Konfigurasi Sumbu Kelas Kendaraan (MDP, 2024)

| Kelas<br>Kendaraan | JSKN | STRT | STRG | STdRT | STdRG | STrRG | SQdRG |
|--------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 5B                 | 2    | 2    | 2    | -     | -     | -     |       |
| 6A                 | 2    | 2    | -    | -     | -     | -     | -     |
| 6B                 | 2    | 1    | 1    | -     | -     | -     | -     |
| 7A1                | 2    | -    | 1    | 1     | -     | -     | -     |
| 7A2                | 2    | 1    | -    | -     | 1     | -     | -     |

Tabel 2.12: *Lanjutan*

| Kelas Kendaraan | JSKN | STRT | STRG | STdRT | STdRG | STrRG | SQdRG |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 7A3             | 2    | -    | -    | 1     | 1     | -     | -     |
| 7B1             | 4    | 1    | 3    | -     | -     | -     | -     |
| 7B2             | 4    | -    | 3    | 1     | -     | -     | -     |
| 7B3             | 4    | 1    | 2    | -     | 1     | -     | -     |
| 7C1             | 3    | 1    | 1    | -     | 1     | -     | -     |
| 7C2A            | 3    | 1    | -    | -     | 2     | -     | -     |
| 7C2B            | 3    | 1    | 1    | -     | -     | 1     | -     |
| 7C3             | 3    | 1    | -    | -     | 1     | 1     | -     |
| 7C4             | 3    | 1    | -    | -     | 1     | -     | -     |

Dalam perencanaan perkerasan jalan, Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR) yang digunakan sebagai dasar analisis adalah LHR pada tahun awal pengoperasian jalan. Apabila terdapat selisih waktu anatar waktu survei lalu lintas dan tahun pembukaan jalan, maka nilai LHR perlu diproyeksikan terlebih dahulu dengan memperhitungkan laju pertumbuhan lalu lintas tahunan. Nilai LHR hasil proyeksi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung beban lalu lintas. Proyeksi LHR dihitung menggunakan Pers. 2.3 di bawah ini.

$$LHR_n = LHR_o (1+i)^n \quad (2.3)$$

Keterangan:

$LHR_n$  : LHR pada tahun awal operasi

$LHR_o$  : LHR awal umur rencana

$n$  : Selisih tahun antara survei dan awal operasi jalan

$i$  : Laju pertumbuhan lalu lintas (%)

Semua roda yang dimaksud adalah roda ban konvensional. Pembebanan kumulatif pada perkerasan jalan dalam periode waktu tertentu pada dasarnya adalah perhitungan setiap kelompok gandar yang melewati atau melintasi perkerasan jalan

selama periode waktu tersebut, bersamaan dengan jenis dan beban. Untuk menghitung jumlah rata-rata harian kendaraan berat pada jalur perencanaan secara kumulatif dengan menggunakan Pers. 2.4.

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2.4)$$

Keterangan:

$LHR_{JK}$  : Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)

$JSKN_{JK}$  : Sumbu Total Kendaraan Niaga tiap jenis kendaraan niaga (Tabel 2.11)

$DD$  : Faktor distribusi arah

$DL$  : Faktor distribusi lajur (Tabel 2.5).

$JSKN$  : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana

$R$  : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

#### 2.1.5.6. CBR Desain Tanah Dasar

Penentuan daya dukung tanah dasar untuk perkerasan beton semen didasarkan pada nilai CBR yang diperoleh dengan pengujian in situ atau laboratorium sesuai dengan SNI yang berlaku (Shinta et al., 2017). Dalam perencanaan perkerasan beton semen, apabila nilai CBR tanah dasar  $< 2\%$  maka diperlukan evaluasi terkait kekuatan tanah karena kondisi tersebut dapat mempengaruhi penambahan tebal perkerasan atau perbaikan kondisi tanah dasar dengan melakukan pemasangan lapis pondasi bawah beton kurus setebal 15 cm (Pasaribu & Simanullang, 2021).

Tanah dasar merupakan fondasi perkerasan jalan yang terdiri atas material timbunan yang dipadatkan pada kedalaman tertentu. Tingkat kekakuan perkerasan mempengaruhi besarnya tekanan beban kendaraan yang disalurkan ke tanah dasar, sehingga kedalaman tanah dasar yang berperan ditentukan oleh beban dan tipe perkerasan. Aspek yang penting untuk diperhatikan adalah evaluasi tanah dasar dengan membedakan antara kondisi tanah dengan daya dukung rendah yang bersifat setempat dan kondisi tanah dasar yang mewakili karakteristik umum suatu ruas. Kondisi tanah dasar lokal dengan daya dukung rendah harus dilakukan

perbaikan melalui penggantian material atau penanganan khusus.

Penentuan nilai CBR karakteristik dapat dilakukan dengan pendekatan persentil dengan memanfaatkan sebaran data nilai CBR pada segmen seragam yang diasumsikan berdistribusi normal. Nilai CBR rencana ditetapkan berdasarkan persentil ke – 10. Nilai ini menunjukkan bahwa sekitar 10% dari data CBR pada segmen yang dianalisis memiliki nilai yang lebih kecil atau sama dengan nilai CBR persentil tersebut, sementara sekitar 90% data lainnya mempunyai nilai yang sama atau lebih besar. Pendekatan ini digunakan untuk mewakili kondisi tanah dasar yang paling lemah namun masih representatif terhadap segmen yang ditinjau. Adapun tahapan perhitungan nilai CBR persentil ke -10, sebagai berikut:

1. Data hasil pengujian CBR diurutkan mulai dari nilai terkecil hingga terbesar.
2. Jumlah keseluruhan data CBR ditentukan dan dinyatakan sebagai (n).
3. Nilai indeks persentil dihitung dengan mengalikan 10% terhadap jumlah data (n).
4. Apabila nilai indeks yang diperoleh adalah bilangan pecahan, maka dilakukan pembulatan ke nilai terdekat sebelum menentukan posisi data. Jika nilai indeks berupa bilangan bulat, maka langkah selanjutnya dapat dilanjutkan.
5. Nilai CBR persentil ke-10 ditentukan dari data yang berada pada urutan sesuai dengan indeks hasil perhitungan, dihitung dari nilai CBR terkecil.
6. Nilai CBR persentil ke – 10 adalah nilai rata – rata dari dua nilai CBR yaitu CBR pada urutan tersebut dan urutan selanjutnya.

Adapun ketentuan desain fondasi jalan minimum ditunjukkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13: Desain fondasi jalan minimum (MDP, 2024)

| CBR Tanah Dasar (%) | Kelas Kekuatan Tanah Dasar | Uraian Truktur Fondasi | Perkerasan Lentur                                                             |     | Perkerasan Kaku |
|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------|
|                     |                            |                        | Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5) |     |                 |
|                     |                            |                        | <10                                                                           | >10 |                 |
|                     |                            |                        | Tebal minimum perbaikan tanah dasar (mm)                                      |     |                 |
| ≥ 6                 | SG6                        | Perbaikan tanah        | Tidak diperlukan perbaikan                                                    |     |                 |

Tabel 2.14: *Lanjutan*

| CBR Tanah Dasar (%)                                                                              | Kelas Kekuatan Tanah Dasar | Uraian Truktur Fondasi                       | Perkerasan Lentur                                                                                                                                                                                                                                                          |     | Perkerasan Kaku |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------|
|                                                                                                  |                            |                                              | Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan umur rencana 40 tahun (juta ESA5)                                                                                                                                                                                              |     |                 |
|                                                                                                  |                            |                                              | <10                                                                                                                                                                                                                                                                        | >10 |                 |
|                                                                                                  |                            |                                              | Tebal minimum perbaikan tanah dasar (mm)                                                                                                                                                                                                                                   |     |                 |
| 5                                                                                                | SG5                        | dengan material timbunan pilihan (CBR ≥ 10%) | 200                                                                                                                                                                                                                                                                        | 200 | 200             |
| 4                                                                                                | SG4                        |                                              | 200                                                                                                                                                                                                                                                                        | 200 | 200             |
| 3                                                                                                | SG3                        |                                              | 300                                                                                                                                                                                                                                                                        | 400 | 400             |
| 2,5                                                                                              | SG2.5                      |                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                            | 600 | 500             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Kekuatan tanah dasar &lt; 2,5 % atau tanah lunak</li></ul> |                            |                                              | Untuk tebal tanah lunak >1 m harus ditangani dengan penanganan geoteknik, sedangkan untuk ketebalan ≤1 m dapat diganti tanah timbunan dengan tebal minimum yang sama dengan ketentuan dan berlaku untuk tanah SG2,5                                                        |     |                 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Tanah ekspansif</li></ul>                                  |                            |                                              | Penanganan sesuai dengan kajian geoteknik terhadap besaran potensi pemuaian dengan ketebalan penutup tidak kurang dari 600 mm berupa material dengan potensi pemuaian tidak lebih besar dari 1,5%. Di atas lapis penutup tersebut harus ditambahkan lapis perbaikan SG2,5. |     |                 |

#### 2.1.5.7. Lapis Fondasi Bawah

Lapis fondasi bawah perlu diperlebar sampai 400 m di luar tepi perkerasan beton semen. Pemasangan lapis fondasi dengan lebar tepi luar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah lunak dan tanah ekspansif. Kesesuaian mutu untuk beton kurus harus berpedoman pada SNI 5388:2015 dan AASHTO M-155 serta SNI 1743:2008. Jika diperoleh konstruksi hasil perencanaan rentan terhadap terjadinya erosi maka dianjurkan tebal lapis fondasi beton kurus dengan minimum 150 mm. Perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji dianjurkan untuk dirancang menggunakan campuran beton kurus sebagai lapis fondasi bawah.

Tabel 2.15: Tebal Fondasi Bawah Minimum untuk Perkerasan Beton Semen (MDPJ, 2024)

| Lalu Lintas Desain (JSKN)                     | Jenis Lapis Fondasi      |
|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Sampai dengan $10^6$                          | BP 125 mm                |
| $10^6$ sampai dengan $5 \times 10^6$          | BK 100 mm atau BP 150 mm |
| $5 \times 10^6$ sampau dengan $1 \times 10^6$ | BK 125 mm                |
| Lebih dari $1 \times 10^7$                    | BK 150 mm                |

Lapis fondasi bawah terdiri dari:

1. Lapis Fondasi Bawah Dengan Bahan Pengikat (*Bound Sub-Base*)

Lapis fondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari:

- Stabilasi material berbutir (*Cement Treated Based, CTB*) harus mempunyai kuat tekan sebesar 3,5 – 4,5 MPa. Stabilitas material berbutir dengan kadar bahan pengikat sesuai rancangan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Bahan pengikat dapat berupa semen, kapur, abu terbang (*fly ash*) atau slag yang dihaluskan;
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*);
- Campuran beton kurus giling padat (*lean rolled concrete*) yang mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 Mpa (55 kg/cm<sup>2</sup>).

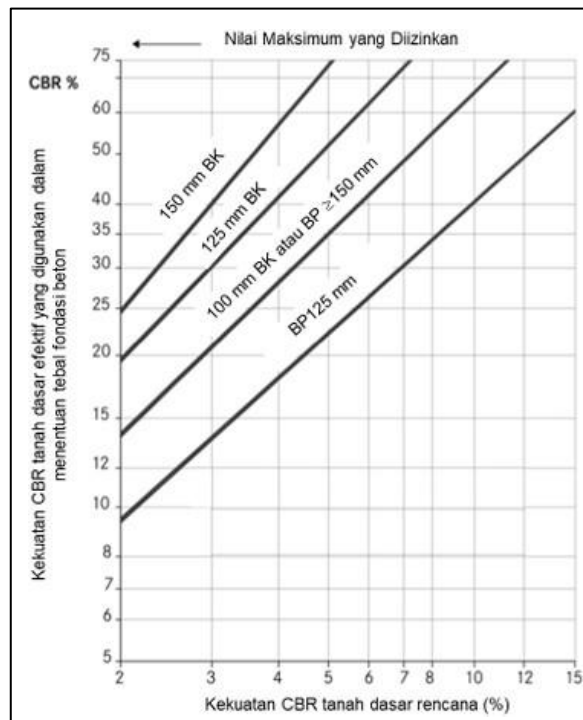
2. Lapis Fondasi Bawah dengan Campuran Beton Kurus (*Lean – Mix Concrete*)

Campuran Beton Kurus (BK) harus mecapai kuat tekan beton katateristik pada umur 28 hari pada rentang 8 – 11 MPa.

3. Lapis pemecah Ikatan Fondasi Bawah dan Pelat

Lapisan ini beranggapan bahwa tidak ada ikatan antara pelat beton dengan lapisan fondasi bawah di bawahnya. Lapis pemisah (*bound breaker*) dapat berupa lapisan membran kedap air dengan ketebalan 125 mikron atau bahan lain untuk jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya. Hal ini dilakukan untuk *sub-base* tipe bound granular (CTSB), namun untuk tipe unbound seperti sirtu, tidak terlalu diperlukan bound breaker, karena tidak terjadi lekatan antara *sub-base* dan pelat. Kecuali ada kekhawatiran dewatering campuran beton dari pelat masuk kecelah-celah sirtu. Disamping itu permukaan sub-base tidak boleh digaruk (*groove* maupun

*brush*). Berbeda dengan permukaan pelat yang selalu harus digaruk untuk mendapatkan gesekan permukaan yang cukup besar (*grooving*, berupa alur memanjang atau melintang). Adapun CBR tanah dasar efektif dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Fondasi Bawah (MDP, 2024)

Untuk fondasi perkerasan kaku yang memiliki beberapa lapis atau tanah dasar asli terdiri dari beberapa lapis dengan nilai kekuatan tertinggi terletak pada lapis paling atas maka perlu mencari nilai CBR ekuivalen dengan Pers. 2.5. Perhitungan CBR ekuivalen dilakukan untuk total kedalaman 1 meter di bawah perkerasan.

$$\text{CBR ekuivalen} = \left( \frac{\sum h_i \text{CBR}_i^{0.33}}{\sum h_i} \right)^3 \quad (2.5)$$

Keterangan:

$h_i$  = tebal lapis

$i$  dan  $\sum h_i$  = 1 m

#### 2.1.5.8. Beton Semen

Mutu beton dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari besarnya minimal 4,5 Mpa. Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 Mpa (2,5 kg/cm<sup>2</sup>) terdekat. Adapun rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai kuat tarik lentur beton sebagai berikut:

$$f_{cf} = K(fc')^{0,50} \text{ dalam Mpa} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$f_c'$  : Kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{cf}$  : Kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm<sup>2</sup>)

K : Konstanta 0,75 (agregat pecah)

#### 2.1.5.9. Bahu Beton

Bahu beton yang dimaksud adalah bahu yang dikunci serta dikaitkan dengan lajur lalu lintas dengan lebar minimum 1,50 m atau bahu yang menyatu dengan lajur lalu lintas sebesar 0,60 m yang juga dapat mencakup saluran dan kereb (*creb and gutter*).

#### 2.1.5.10. Persyaratan Mutu Material Selain Mutu Beton

Persyaratan mutu material selain mutu beton dapat dilihat pada Tabel 2.16 dan ketebalan beton minimum berdasarkan jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.16: Desain perkerasan kaku untuk lalu lintas berat (MDP, 2024)

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jenis Perkerasan                                                             | Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (Jointed Plain Concrete Pavement), beton semen bersambung dengan tulangan (JRCP), dan beton semen menerus dengan tulangan (CRCP).                                                                                                                     |
| Sambungan melintang                                                          | Harus dipotong dengan kedalaman 1/4 sampai dengan sepertiga tebal beton. Dipasang ruji (dowel), berupa baja tulangan polos (BjTP 280), dengan jarak antar tulangan 300 mm, panjang dowel 450 mm, diameter dowel minimal 1/8 tebal beton.                                                               |
| Sambungan memanjang                                                          | Dipasang batang pengikat (tie bar), berupa baja tulangan sirip (BjTS 420A), dengan jarak antar tulangan 600 mm, panjang tie bar 700 mm, dan diameter tie bar minimum 16 mm.                                                                                                                            |
| Bahu Jalan                                                                   | Dalam bentuk satu kesatuan dengan pelat beton lajur lalu lintas (monolit) dengan lebar minimum 600 mm atau dengan batang pengikat (tie bar) untuk lebar bahu jalan minimum 1500 mm dan harus menggunakan beton dengan kereb dan saluran beton (curb and gutter) kualitas yang sama dengan lajur utama. |
| Lapis Fondasi                                                                | Lapis fondasi disesuaikan dengan Subbab 8.3.2. (MDPJ 2024)                                                                                                                                                                                                                                             |
| Lapis drainase                                                               | Lapis fondasi agregat kelas A yang berfungsi sebagai lapis drainase dengan tebal 200 mm untuk 2 lajur per arah dan untuk yang lebih dari 2 lajur per arah setebal 300 mm.                                                                                                                              |
| Lapis pemecah ikatan fondasi bawah dengan pelat ( <i>base bond breaker</i> ) | Berupa membran kedap air dengan tebal minimum 125 mikron khusus pada lapis fondasi berupa beton kurus.                                                                                                                                                                                                 |
| Rasio dimensi slab beton panjang-lebar                                       | Sekitar 1,25 (khusus untuk beton semen bersambung tanpa tulangan (Jointed Plain Concrete Pavement)).                                                                                                                                                                                                   |

Tabel 2.17: Ketebalan Beton Minimum (MDP, 2024)

| Jenis Perkerasan | Lalu Lintas Rencana                              |                                                  |                                  |
|------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|
|                  | $1 \times 10^6 \leq \text{JSKN} < 1 \times 10^7$ | $1 \times 10^7 \leq \text{JSKN} < 5 \times 10^7$ | $\text{JSKN} \geq 5 \times 10^7$ |
| JPCP             | 150 mm                                           | 200 mm                                           | 250 mm                           |
| JRCP             | 150 mm                                           | 180 mm                                           | 230 mm                           |
| CRCP             | 150 mm                                           | 180 mm                                           | 230 mm                           |

#### 2.1.5.11. Reliabilitas

Dalam penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban (*Load Safety Factor/ LSF*). Berdasarkan MDP 2024, nilai reliabilitas yang digunakan adalah 90% dengan nilai LSF sebesar 1,2 untuk perkerasan kaku tipe JPCP dan 1,1 untuk CRCP.

#### 2.1.5.12. Repetisi Beban yang Diizinkan

Repetisi beban yang diizinkan adalah jumlah maksimum suatu beban sumbu yang diizinkan untuk melintas pada perkerasan sebelum terjadi kerusakan. Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari repetisi beban yang diizinkan, sebagai berikut:

$$\text{Proporsi beban (\%)} = \frac{\text{Beban aktual kelompok sumbu}}{100} \quad (2.7)$$

$$\text{Proporsi kelompok Sumbu (\%)} = \frac{\text{Proporsi jenis kendaraan}}{100} \quad (2.8)$$

$$\text{Repetisi beban yang diizinkan} = \text{proporsi beban} \times \text{proporsi kelompok sumbu} \times \text{JSKN} \quad (2.9)$$

### 2.1.5.13. Desain Perkerasan Kaku

Dalam membuat desain tebal perkerasan beton, terdapat dua hal yang perlu dipertimbangkan, diantaranya:

#### 1. Retak Lelah (*fatigue*) pada perkerasan

Jumlah repetisi beban yang diizinkan ( $N_f$ ) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\log_{10} N_f = \left( \frac{0,9719 - S_r}{0,0828} \right) \text{ jika } S_r > 0,55 \quad (2.10)$$

$$N_f = \left( \frac{4,258}{S_r - 0,4325} \right)^{3,268} \text{ jika } 0,45 \leq S_r \leq 0,55 \quad (2.11)$$

$$S_r = \frac{S_e}{0,944 f_{cf}} \left( \frac{P L_{SF}}{4,45 F_1} \right)^{0,94} \quad (2.12)$$

$$S_e \text{ atau } F_3 = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{d}{D^2} + e \cdot [\ln(E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot [\ln(E_f)]^3 + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$S_e$  : tegangan ekuivalen beton (MPa)

$f_{cf}$  : kuat lentur karakteristik desain pada umur beton umur 28 hari (MPa)

$P$  : beban kelompok sumbu (kN)

$L_{SF}$  : faktor *load safety*

$F_1$  : 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)  
: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)  
: 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)  
: 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)  
: 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)  
: 72 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

$N_f$  : tak terhingga jika nilai  $S_r$  kurang dari 0,45

$D$  : tebal pelat beton (mm)

$E_f$  : CBR tanah dasar efektif (%)

Nilai  $a, b, c, d, e, f, g, h, i$  dan  $j$  adalah koefisien

Tabel 2.18: Koefisien untuk prediksi tegangan ekuivalen ( $S_e$ ) (MDP, 2024)

| Koefisien | Dengan Bahu Beton     |          |         |               |
|-----------|-----------------------|----------|---------|---------------|
|           | Jenis Kelompok Gandar |          |         |               |
|           | STRT & STdRT          | STRG     | STdRG   | STrRG & SQdRG |
| A         | -0,051                | 0,330    | 0,088   | -0,145        |
| B         | 26,0                  | 206,5    | 301,5   | 258,6         |
| C         | 0,0899                | -0,4684  | -0,1846 | 0,0080        |
| D         | 35.774                | 28.661   | 4.418   | 1.408         |
| E         | -0,0376               | 0,1650   | 0,0939  | 0,0312        |
| F         | 14,57                 | 2,82     | -59,93  | -61,25        |
| G         | -861.548              | -686.510 | 280.297 | 488.079       |
| H         | 0,0031                | -0,0186  | -0,0128 | -0,0058       |
| I         | 1,3098                | -1,9606  | 4,1791  | 4,7428        |
| J         | -4.009                | -2.717   | 1.768   | 2.564         |

## 2. Kerusakan Erosi

Jumlah beban yang diizinkan ( $N_e$ ) untuk nilai beban sumbu tertentu dapat dihitung menggunakan Pers. 2.14 di bawah ini.

$$\text{Log}_{10}(F_2 N_e) = 14,524 - 6,777 \left[ \max \left( 0 \text{ atau } \left( \frac{P_{LSE}}{4,45F_4} \right)^2 \cdot \frac{10^{F_3}}{41,35} - 9,0 \right) \right]^{0,103} \quad (2.14)$$

Keterangan:

- $F_2$  : penyesuaian untuk efek pada sisi pelat  
: 0,06 untuk pelat dengan bahu bukan beton  
: 0,94 untuk pelat dengan bahu beton
- $F_3$  : faktor erosi
- $F_4$  : penyesuaian beban untuk erosi karena kelompok sumbu  
: 9 untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal (STRT)  
: 18 untuk sumbu tunggal dengan roda ganda (STRG)  
: 18 untuk sumbu tandem dengan roda tunggal (STdRT)  
: 36 untuk sumbu tandem dengan roda ganda (STdRG)

: 54 untuk sumbu tridem dengan roda ganda (STrRG)

: 54 untuk sumbu empat dengan roda ganda (SQdRG)

Koefisien untuk prediksi faktor erosi ( $F_3$ ) untuk beton JPCP

Tabel 2.19: Koefisien untuk prediksi faktor erosi ( $F_3$ ) untuk beton JPCP (MDP, 2024)

| Koefisien | Dengan Bahu Beton     |           |               |               |
|-----------|-----------------------|-----------|---------------|---------------|
|           | Jenis Kelompok Gandar |           |               |               |
|           | STRT & STdRT          | STRG      | STdRG & STdRT | STrRG & SQdRG |
| a         | 0,345                 | 0,914     | 1,564         | 2,104         |
| b         | 534,6                 | 539,8     | 404,1         | 245,4         |
| c         | -0,1711               | -0,1416   | -0,1226       | -0,2473       |
| d         | -44.908               | -44.900   | -32.024       | -15.007       |
| e         | 0,0347                | 0,0275    | 0,0256        | 0,0469        |
| f         | 20,49                 | 16,37     | -9,79         | 8,86          |
| g         | 1.676.710             | 1.654.590 | 1.150.280     | 518.916       |
| h         | -0,0038               | -0,0032   | -0,0052       | -0,0075       |
| i         | -1,3829               | -0,9584   | 2,1997        | 1,5517        |
| j         | -913                  | -765      | 469           | -599          |

Menurut (Farhan et al., n.d.), struktur perkerasan dinyatakan memenuhi persyaratan apabila nilai kerusakan akibat fatik dan erosi  $< 100\%$ .

#### 2.1.5.14. Perencanaan Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen diperuntukan untuk;

1. Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan;
2. Pengaruh lenting (*curling/warping*) serta beban lalu lintas;
3. Memudahkan pelaksanaan;

4. Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain:

1. Sambungan memanjang;
2. Sambungan melintang;
3. Sambungan isolasi.

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*).

### 1. Sambungan Memanjang Dengan Batang Pengikat (*Tie-bar*)

Bina Marga 2024 menyarankan jarak antara sambungan memanjang sekitar 3-4 m dan sambungan tie-bar harus menggunakan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm, jarak batang pengikat yang digunakan 750 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan Pers 2.15 dan Pers. 2.16.

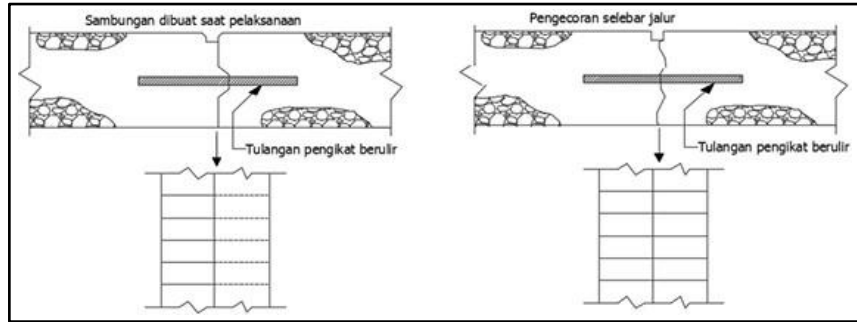
$$A_t = 204 \times b \times h \quad (2.15)$$

$$I = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (2.16)$$

Keterangan :

- $A_t$  : Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan ( $\text{mm}^2$ );  
 $B$  : Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m);  
 $H$  : Tebal pelat (m);  
 $I$  : Panjang batang pengikat (mm);  
 $\phi$  : Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 70 cm. Tipikal sambungan memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Tipikal Sambungan Memanjang (MDP, 2024)

## 2. Ruji (*Dowel*)

Bina Marga 2024 menyarankan jarak sambungan melintang beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 – 5 m. Sambungan melintang harus dilengkapi dowel polos dengan panjang 450 mm, jarak antar ruji 300 mm. Setengah panjang ruji harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket yang berfungsi untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter dowel tergantung pada pelat beton ditunjukkan pada Tabel 2.20 berikut.

Tabel 2.20: Diameter *dowel* (MDP, 2024)

| Tebal Pelat Beton, $h$ (mm) | Diameter Ruji (mm) |
|-----------------------------|--------------------|
| $125 < h \leq 140$          | 20                 |
| $140 < h \leq 160$          | 24                 |
| $160 < h \leq 190$          | 28                 |
| $190 < h \leq 220$          | 33                 |
| $220 < h \leq 250$          | 36                 |
| $250 < h \leq 300$          | 38                 |

### **2.1.6. Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993** *(American Association of State Highway and Transportation Officials)*

Metode AASHTO 1993 merupakan salah satu metode yang dapat dijadikan pedoman yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan jalan, salah satunya ialah perkerasan kaku. Menurut (AASHTO, 1993) adapun parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung tebal lapis perkerasan kaku, yaitu:

1. Umur rencana;
2. Analisis lalu lintas ( $W_{18}$ );
3. *Reliability* ( $R$ );
4. Standar deviasi normal ( $Z_R$ );
5. Standar deviasi ( $S_o$ );
6. *Terminal serviceability Index* ( $P_t$ );
7. *Initial serviceability* ( $P_o$ );
8. *Serviceability loss* ( $\Delta psi$ );
9. Modulus Resilien ( $M_R$ )
10. Modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ) dan *loss of support* ( $LS$ );
11. Modulus elastisitas beton ( $E_c$ );
12. *Flexural strength* ( $F_r$ );
13. Koefisien drainase ( $C_d$ )
14. *Load transfer coefficient* ( $J$ );

#### **2.1.6.1. Umur Rencana**

Penentuan umur rencana dipengaruhi oleh kondisi jalan perencanaan. Pada umumnya, umur rencana *rigid pavement* diambil 40 tahun untuk konstruksi baru.

#### **2.1.6.2. Perhitungan Lalu Lintas**

Parameter – parameter lalu lintas yang dipakai dalam perencanaan lalu lintas didasarkan pada jenis kendaraan, volume kendaraan, faktor distribusi arah dan lajur,

pertumbuhan lalu lintas, *vehicle damage factor* atau *Equivalent Standard Axle Load* (ESAL). Pada metode AASHTO 1993, perhitungan beban lalu lintas rencana memerlukan nilai *Equivalent Standard Exle Load* (ESAL) yang diperoleh dari *Vehicle Damage Factor* (VDF) yang merupakan nilai faktor/koefisien yang menyatakan besarnya tingkat kerusakan yang ditimbulkan setiap jenis kendaraan terhadap perkerasan jalan.

Nilai VDF digunakan untuk menghitung beban lalu lintas kumulatif dalam satuan *Equivalent Standard Exle Load* (ESAL) atau  $W_{18}$ . Idealnya, nilai VDF diperoleh dari hasil survei penimbangan beban sumbu kendaraan di lapangan. Namun apabila survei tersebut tidak tersedia, nilai VDF AASHTO 1993 yang tercantum dalam lampiran MDP 2024 dapat digunakan sebagai acuan. Untuk jneis kendaraan yang belum memiliki nilai VDF, dapat digunakan nilai VDF dari kendaraan dengan konfigurasi sumbu yang sejenis. Besaran nilai VDF untuk perencanaan pekerasan kaku (*rigid pavement*) pada wilayah Aceh dan Sumatera Utara dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21: VDF Kaku (MDP, 2024)

| Kondisi  | Kelas Kendaraan | Gol 5B | Gol 6A | Gol 6B | Gol 7A1 | Gol 7A2 | Gol 7A3 | Gol 7B1 | Gol 7B2 | Gol 7B3 | Gol 7C1 | Gol 7C1A | Gol 7C2A | Gol 7C3 | Gol 7C4 |
|----------|-----------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| VDF Kaku | Faktual         | 3,4    | 0,3    | 1,9    | 11,7    | 14,6    | -       | -       | -       | -       | 11,2    | 9,1      | 14,0     | 20,7    | -       |
|          | Normal          | 2,5    | 0,1    | 1,2    | 3,5     | 4,4     | -       | -       | -       | -       | 6,4     | 6,7      | 8,9      | 11,0    | -       |

Penentuan faktor distribusi arah ( $D_D$ ) biasanya nilai yang umum digunakan sebesar 0,5. Namun pada kasus tertentu besarnya nilai dari faktor distribusi arah bisa bervariasi dengan nilai 0,3 – 0,7. Pengecualian ini terjadi pada kendaraan berat yang cenderung bergerak menuju ke satu arah.

Tabel 2.22: Faktor Distribusi ( $D_L$ ) (AASHTO, 1993)

| Jumlah Lajur Setiap Arah | Jumlah Lalu Lintas Pada Lajur Rencana (%) |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| 1                        | 100                                       |
| 2                        | 80 – 100                                  |
| 3                        | 60 – 80                                   |
| 4                        | 50 – 75                                   |

Adapun rumus untuk mencari nilai ESAL (*Equivalent Standard Axle Load*) dapat dilihat pada Pers. 2.17.

$$W_{18} = \sum_{N_n}^{N_1} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times R \times 365 \quad (2.17)$$

Keterangan:

$W_{18}$  : *Traffic design* pada lajur lalu lintas, *Equivalent Standard Exle Load* (ESAL)

$LHR_j$  : Jumlah lalu lintas harian rata – rata 2 arah untuk jenis kendaraan j

$VDF_j$  : *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan j

$D_D$  : Faktor distribusi arah

$D_L$  : Faktor distribusi lajur

$N_1$  : Lalu lintas pada tahun pertama jalan dibuka

$N_n$  : Lalu lintas pada akhir umur rencana

$R$  : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

### 2.1.6.3. Reliabilitas dan Standar Deviasi Normal

Reliabilitas pada perancangan perkerasan jalan merupakan probabilitas bahwa bagian perkerasan jalan yang direncanakan akan berfungsi dengan baik dalam kondisi lalu lintas dan lingkungan selama periode perancangan. Adapun tingkat reliabilitas yang disarankan untuk berbagai klasifikasi fungsional jalan dapat dilihat pada Tabel 2.23. (AASHTO 1993 hal II – 9).

Tabel 2.23: Tingkat reliabilitas (AASHTO, 1993)

| Klasifikasi Jalan                 | Rekomendasi Tingkat Reliabilitas |            |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------|
|                                   | Perkotaan                        | Antar Kota |
| Jalan Nasional dan Bebas Hambatan | 85 – 99,9                        | 80 – 99,9  |
| Arteri Primer                     | 80 – 99                          | 75 – 95    |
| Kolektor                          | 80 – 95                          | 75 – 95    |
| Lokal                             | 50 – 80                          | 50 – 80    |

Pada persamaan desain perkerasan kaku, *level of reliability* (R) diakomodasi dengan nilai dari parameter standar deviasi normal ( $Z_R$ ). Adapun nilai  $Z_R$  untuk *level of reliability* dapat dilihat pada Tabel 2.24 (AASHTO 1993 hal I – 62)

Tabel 2.24: Reliabilitas (R) dan Standar Deviasi Normal ( $Z_R$ ) (AASHTO, 1993)

| <i>Reliabilty, R (%)</i> | <i>Standard Normal Deviate, <math>Z_R</math></i> |
|--------------------------|--------------------------------------------------|
| 50                       | -0,000                                           |
| 60                       | -0,253                                           |
| 70                       | -0,524                                           |
| 75                       | -0,674                                           |
| 80                       | -0,841                                           |
| 85                       | -1,037                                           |
| 90                       | -1,282                                           |
| 91                       | -1,340                                           |
| 92                       | -1,405                                           |
| 93                       | -1,476                                           |
| 94                       | -1,555                                           |
| 95                       | -1,645                                           |
| 96                       | -1,751                                           |
| 97                       | -1,881                                           |

Tabel 2.25: *Lanjutan*

| <i>Reliability, R (%)</i> | <i>Standard Normal Deviate, <math>Z_R</math></i> |
|---------------------------|--------------------------------------------------|
| 98                        | -2,054                                           |
| 99                        | -2,327                                           |
| 99,9                      | -3,090                                           |
| 99,99                     | -3,750                                           |

Untuk tingkat reabilitas yang telah diberikan ( $R$ ), faktor reabilitas merupakan fungsi dari deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation,  $S_o$* ) yang memperhitungkan untuk kemungkinan variasi perkiraan lalu – lintas dan variasi normal dalam perkiraan kinerja untuk  $W_{18}$  yang diberikan. Deviasi standar keseluruhan ( $S_o$ ), dapat menggunakan nilai pada Tabel 2.26.

Tabel 2.26: Deviasi Standar Keseluruhan (AASHTO, 1993)

| Jenis Perkerasan  | Nilai ( $S_o$ ) |
|-------------------|-----------------|
| Perkerasan Lentur | 0,4 – 0,5       |
| Perkerasan Kaku   | 0,3 – 0,4       |

#### 2.1.6.4. Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)

*Serviceability* merupakan kemampuan untuk melayani berbagai jenis kendaraan lalu lintas yang menggunakan fasilitas tersebut. *Present Serviceability Index* (PSI) merupakan ukuran utama yang berkisar pada 0 – 5 (terburuk hingga sempurna) yang menjadi penentu tingkat pelayanan fungsional dari suatu perkerasan jalan. Adapun beberapa nilai *serviceability* mengacu pada AASHTO 1993 hal II – 10) yang akan diberikan, sebagai berikut:

1. *Initial serviceability* ( $p_o$ ), tingkat kemampuan awal dari perkerasan setelah

konstruksi selesai dan sebelum mengalami kerusakan akibat lalu lintas dan cuaca. Untuk perkerasan kaku, nilai  $P_o$  yang digunakan ialah 4,5.

2. *Terminal serviceability index* ( $p_t$ ), nilai batas minimum kemampuan pelayanan perkerasan yang masih dianggap layak sebelum perlu dilakukannya rehabilitasi atau perbaikan. Untuk jalur utama (*major highways*), nilainya adalah 2,5 dan 2,0 untuk jalan dengan volume lalu lintas yang lebih sedikit.

Setelah nilai  $p_o$  dan  $p_t$  ditetapkan, maka untuk menentukan nilai kehilangan kemampuan pelayanan (*Serviceability loss,  $\Delta PSI$* ) dapat menggunakan Pers. 2.23.

$$\Delta PSI = p_o - p_t \quad (2.23)$$

Keterangan:

$p_o$  : *Initial serviceability*

$p_t$  : *Terminal serviceability index*

#### **2.1.6.5. Modulus Resiliens (*Modulus Resilient, $M_R$* ) dan Modulus Reaksi Tanah Dasar**

*Modulus resilient* adalah ukuran sifat elastis tanah yang memperhitungkan karakteristik nonlinier tertentu. Untuk perkerasan kaku, nilai  $M_R$  ini perlu dikonversi untuk mendapatkan nilai modulus reaksi tanah dasar (*modulus subgrade reaction,  $k$* ). Menurut (Habibi et al., 2023), dalam perencanaan perkerasan kaku, nilai CBR *subgrade* digunakan untuk penentuan nilai parameter modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ). Untuk mencari nilai  $M_R$ , dapat menggunakan persamaan:

$$M_R(\text{psi}) = 1500 \times \text{CBR} \quad (2.24)$$

$$k = \frac{M_R}{19,4} \quad (2.25)$$

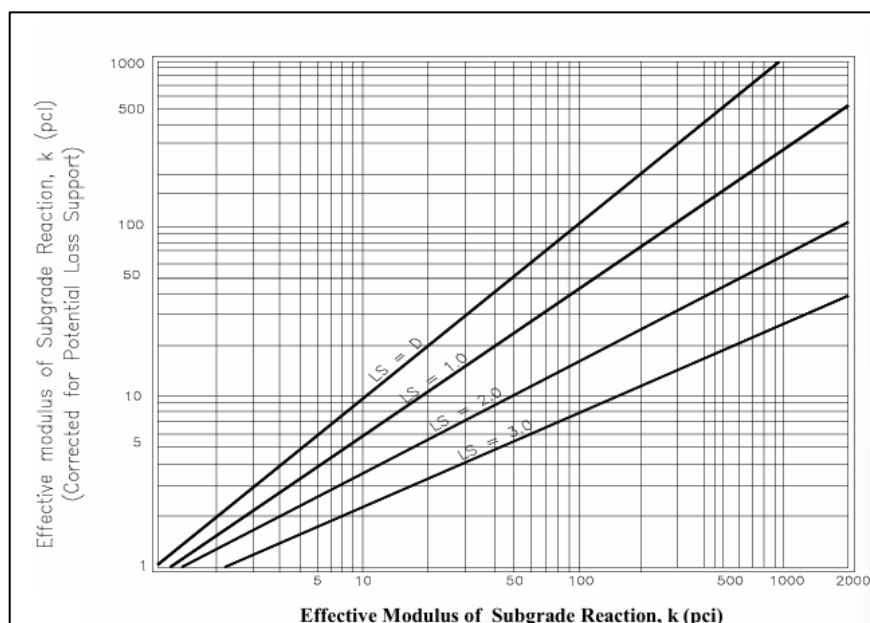
Setelah nilai  $M_R$  dan  $k$ , selanjutnya perlu untuk menentukan *Loss of Support factor* (LS). Faktor LS ini merupakan faktor untuk memperhitungkan potensi kehilangan dukungan yang disebabkan oleh erosi lapisan dasar dan/atau pergerakan vertikal tanah yang tidak merata. Adapun nilai LS untuk berbagai tipe material dapat dilihat pada Tabel 2.27 (AASHTO 1993 hal II – 27).

Tabel 2.27: *Loss of Support* (AASHTO, 1993)

| Tipe Material                                                                 | LS        |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Cement Treated Granular Base</i> ( $E = 1.000.000 - 2.000.000$ psi)        | 0,0 – 1,0 |
| <i>Cement Aggregate Mixtures</i> ( $E = 500.000 - 1.000.000$ psi)             | 0,0 – 1,0 |
| <i>Asphalt Treated Base</i> ( $E = 350.000 - 1.000.000$ psi)                  | 0,0 – 1,0 |
| <i>Bituminous Stabilized Mixtures</i> ( $E = 40.000 - 300.000$ psi)           | 0,0 – 1,0 |
| <i>Lime Stabilized</i> ( $E = 20.000 - 70.000$ psi)                           | 1,0 – 3,0 |
| <i>Unbound Granular Materials</i> ( $E = 15.000 - 45.000$ )                   | 1,0 – 3,0 |
| <i>Fine Grained or Natural Subgrade Materials</i> ( $E = 3.000 - 40.000$ psi) | 2,0 – 3,0 |

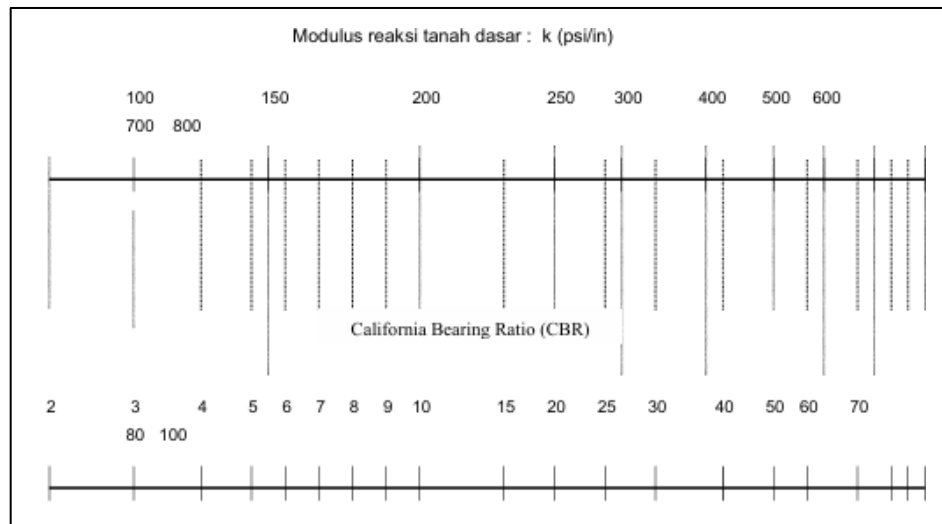
**Catatan:** E pada tabel merupakan simbol untuk modulus elastisitas atau modulus resilien material.

Koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction* dapat menggunakan grafik pada Gambar 2.8



Gambar 2.8: Grafik Koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction* (AASHTO, 1993)

Adapun pendekatan nilai modulus reaksi tanah dasar (k) dapat menggunakan hubungan nilai CBR dengan k, dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Pendekatan nilai modulus tanah dasar (k) (Modul RDE-11)

#### 2.1.6.6. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton adalah ukuran kekakuan beton untuk menentukan besarnya perubahan beton ketika diberi beban. Adapun rumus modulus elastisitas beton ialah:

$$E_c = 57.000\sqrt{f'_c} \quad (2.26)$$

Keterangan:

$E_c$  : Modulus elastisitas beton (psi)

$f'_c$  : Kuat tekan beton silinder (psi).

Kuat tekan beton  $f'_c$  ditetapkan berdasarkan pada spesifikasi pekerjaan.

#### 2.1.6.7. *Modulus of Rupture (Flexural Strength, $S_c'$ )*

*Modulus of Rupture* adalah kekuatan lentur maksimum suatu material terutama beton sebelum material tersebut patah atau retak. Nilai  $S_c'$  ini ditetapkan sesuai pada spesifikasi pekerjaan, umumnya digunakan:  $S_c' = 45 \text{ kg/cm}^2$  atau 640 psi berdasarkan (AASHTO, 1993) pada hal II – 19

#### 2.1.6.8. Koefisien Drainase

Kriteria kemampuan drainase dari berbagai metode untuk menghilangkan atau mengalirkan air dari permukaan jalan merupakan ketentuan desain dari ahli untuk menganalisis berdasarkan tingkat atau kualitas dari drainase tersebut. Adapun penentuan kualitas suatu drainase dapat dilihat pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28: Kualitas drainase (AASHTO, 1993)

| Kualitas Drainase | Durasi Hilangnya Air      |
|-------------------|---------------------------|
| Sangat Baik       | 2 jam                     |
| Baik              | 1 hari                    |
| Sedang            | 1 minggu                  |
| Buruk             | 1 bulan                   |
| Sangat buruk      | (air tidak akan mengalir) |

Ada beberapa pendekatan dalam penetapan variabel mutu drainase, sebagai berikut:

1. Air yang jatuh di atas jalan aspal/beton akan masuk ke sistem drainase, nilainya relatif kecil berdasarkan aspek hidrologi yaitu berkisar 70 – 95%;
2. Air yang mengalir dari samping jalan memungkinkan akan masuk ke pondasi jalan, hal ini relatif kecil terjadi karena adanya *road side ditch*, *cross drain*, dan muka air tertinggi didesain terletak pada bawah *subgrade*;
3. Pendekatan antara durasi dan frekuensi hujan yang rata -rata terjadi selama 3

jam/hari dan jarang sekali terjadi hujan yang terus – menerus selama 1 minggu. Maka, dalam penentuan kualitas drainase tersebut dapat diambil pendekatan. Pemilihan mutu drainase tersebut adalah berkisar *Good*, dengan pertimbangan air yang mungkin masih akan masuk, kualitas drainase (*quality drainage*) diambil kategori *Fair*.

Adapun koefisien pengaliran (C) dapat dilihat pada Tabel 2.29.

Tabel 2.29: Koefisien Aliran (C) (AASHTO 1993)

| Tipe Daerah Aliran |          | Koefisien Aliran (C) |
|--------------------|----------|----------------------|
| Jalan              | Beraspal | 0,70 – 0,95          |
|                    | Beton    | 0,80 – 0,95          |
|                    | Batu     | 0,70 – 0,85          |

Selanjutnya, adapun variabel proses perkerasan terkena air yaitu presetase struktur perkerasan dalam setahun terkena air sampai pada tingkat *saturated*, relatif sulit dikarenakan belum ada data pembanding dari jalan lain. Namun dengan pendekatan – pendekatan, pengamatan dan perkiraan berikut ini, nilai dari kedua variabel tersebut dapat didekati (Suryawan, 2009). Untuk mengetahui nilai proses struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat menggunakan Pers. 2.27.

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100 \quad (2.27)$$

Keterangan:

$P_{heff}$  : Proses hari efektif hujan dalam 1 tahun yang akan berpengaruh terhadap perkerasan (%)

$T_{jam}$  : Rata – rata hujan per hari (jam)

$T_{hari}$  : Rata – rata jumlah hari hujan per tahun (hari)

$W_L$  : Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%)

Selanjutnya, adapun nilai dari *drainage coefficient* ( $C_d$ ) berdasarkan AASTHO 1993 hal II – 21, dapat dilihat pada Tabel 2.30.

Tabel 2.30: Koefisien Drainase (Cd) (AASHTO, 1993)

| Kualitas Drainase | Persen Waktu Struktur Perkerasan Terkena Air Hingga Tingkat Kelembabannya Mendekati Jenuh Air |             |             |      |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|------|
|                   | Kurang Dari 1%                                                                                | 1 – 5%      | 5 – 25%     | >25% |
| Sangat Baik       | 1,25 – 1,20                                                                                   | 1,20 – 1,15 | 1,15- 1,10  | 1,10 |
| Baik              | 1,20 – 1,15                                                                                   | 1,15 – 1,10 | 1,10 – 1,00 | 1,00 |
| Sedang            | 1,15 – 1,10                                                                                   | 1,10 – 1,00 | 1,00 – 0,90 | 0,90 |
| Buruk             | 1,10 – 1,00                                                                                   | 1,00 – 0,90 | 0,90 – 0,80 | 0,80 |
| Sangat Buruk      | 1,00 – 0,90                                                                                   | 0,90 – 0,80 | 0,80 – 0,70 | 0,70 |

#### 2.1.6.9. Load Transfer (J)

Koefisien transfer beban adalah faktor yang digunakan dalam desain perkerasan kaku untuk memperhitungkan kemampuan struktur perkerasan beton dalam mentransfer atau menyalurkan beban ketika melintasi ketidak sambungan, seperti sambungan atau retakan. Adapun tabel untuk nilai koefisien transfer beban (J) yang diambil dari pedoman AASHTO 1993 hal II – 26 dapat dilihat pada Tabel 2.31.

Tabel 2.31: Koefisien Tranfer Beban (J) (AASHTO, 1993)

| <i>Shoulder</i>                             | <i>Asphalt</i> |           | <i>Tied P.C.C</i> |           |
|---------------------------------------------|----------------|-----------|-------------------|-----------|
| <i>Load Transfer Devices</i>                | <i>Yes</i>     | <i>No</i> | <i>Yes</i>        | <i>No</i> |
| <i>Pavement Type</i>                        |                |           |                   |           |
| <i>Plain Jointed and Jointed reinforced</i> | 3,2            | 3,8 – 4,4 | 2,5 – 3,1         | 3,6 – 4,2 |
| CRCP                                        | 2,9 – 3,2      | N/A       | 2,3 – 2,9         | N/A       |

#### 2.1.6.10. Persamaan Penentuan Tebal Pelat (D)

Setelah semua parameter ditentukan, maka untuk menentukan desain ketebalan perkerasan kaku dapat menggunakan Pers. 2.28.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{E_c}{k})^{0,25}}]} \right] \quad (2.28)$$

Dimana:

$W_{18}$  : *Traffic design, Equivalent Standard Axle Load (ESAL)*;

$Z_R$  : Standar deviasi normal;

$S_o$  : Standar Deviasi;

$D$  : Tebal pelat beton (inches);

$\Delta PSI$  : *Serviceability loss* =  $p_o - p_t$ ;

$p_o$  : *Initial serviceability*;

$p_t$  : *Terminal setviceability index*;

$C_d$  : *Drainage coefficient* (koefisien drainase);

$J$  : *Load transfer coefficient*;

$E_c$  : Modulus elastisitas (psi);

$k$  : Modulus reaksi tanah dasar (pci)

#### 2.1.6.11. Penentuan *Dowel* dan *Tie Bar*

##### 1. *Dowel* (Ruji)

*Dowel* merupakan batang baja tulangan polos (maupun profil) yang berfungsi sebagai penyambung / pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan (Modul RDE-11, 2005). Adapun desain *dowel* dapat dilihat pada Tabel 2.32.

Tabel 2.32: Desain *dowel* (Modul RDE-11, 2005)

| Tebal pelat perkerasan |     | Diameter dowel |    | Panjang dowel |     | Jarak dowel |     |
|------------------------|-----|----------------|----|---------------|-----|-------------|-----|
| inci                   | mm  | inci           | mm | inci          | mm  | inci        | mm  |
| 6                      | 150 | $\frac{3}{4}$  | 19 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 7                      | 175 | 1              | 25 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 8                      | 200 | 1              | 25 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 9                      | 225 | $1\frac{1}{4}$ | 32 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 10                     | 250 | $1\frac{1}{4}$ | 32 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 11                     | 275 | $1\frac{1}{4}$ | 32 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 12                     | 300 | $1\frac{1}{2}$ | 38 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 13                     | 325 | $1\frac{1}{2}$ | 38 | 18            | 450 | 12          | 300 |
| 14                     | 350 | $1\frac{1}{2}$ | 38 | 18            | 450 | 12          | 300 |

## 2. Batang Pengikat (*Tie Bars*)

*Tie bars* merupakan batang pengikat yang dipasang pada sambungan memanjang yang berfungsi untuk menahan gaya – gaya tarik maksimum dan tidak dirancang untuk memindahkan beban (Suryawan, 2009).

Tabel 2.33: Desain *tie bars* (Perkerasan jalan beton semen portland, 2016)

| Tebal perkerasan<br>(in) | Panjang<br>(in) | Diameter batang 5/8 in |                      |                      |
|--------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------|
|                          |                 | Lebar lajur<br>10 ft   | Lebar lajur<br>11 ft | Lebar lajur<br>12 ft |
| 6                        | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |
| 7                        | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |
| 8                        | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |
| 9                        | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |
| 10                       | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |
| 11                       | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |
| 12                       | 30              | 48                     | 48                   | 48                   |

## 2.2. Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini tidak terlepas dari hasil penelitian – penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai kajian atau referensi. Berikut beberapa penelitian yang terkait dengan Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku dengan metode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2024 dan AASHTO 1993 dapat dilihat pada Tabel 2.34.

Tabel 2.34: Penelitian terdahulu

| No | Penelitian                                                          | Tahun | Judul                                                                                                                 | Tujuan                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Metode                                                                                                                              |
|----|---------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | I Putu Chandra Wibawa, I Made Agus Ariawan, Putu Kwintaryana Winaya | 2025  | Analisis Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993, Pd T-14-2003, dan MDP 2024 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Merancang tebal perkerasan kaku dengan metode AASHTO 1993, Pd T-14-2003, dan MDP 2024.</li> <li>➤ Membandingkan hasil desain dengan metode AASHTO 1993, Pd T-14-2003, dan MDP 2024</li> <li>➤ Memberikan rekomendasi struktur perkerasan kaku yang efisien</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Metode AASHTO 1993;</li> <li>➤ Metode Pd T-14-2003;</li> <li>➤ Metode MDP 2024.</li> </ul> |
| 2  | Hardiani Nofriza Zarisma Noka, Ade Nurdin,                          | 2025  | <i>The Influence of Subgrade CBR Value and</i>                                                                        | Menganalisis pengaruh nilai CBR tanah dasar dan kualitas beton terhadap tebal                                                                                                                                                                                                                                  | ➤ Metode AASHTO 1993                                                                                                                |

Tabel 2.35: *Lanjutan*

| No | Penelitian                                                                     | Tahun | Judul                                                                                                                             | Tujuan                                                                                                                                                                                                                                           | Metode            |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|    | Nurza Purwa Abiyoga                                                            |       | <i>Concrete Quality on Rigid Pavement Thickness</i>                                                                               | perkerasan kaku.                                                                                                                                                                                                                                 |                   |
| 3  | Alhilal Mohammad Farhan, Muhammad Rizka Fahmi Amrozi, dan Suprpto Siswosukarto | 2025  | Perancangan Tebal Perkerasan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 (Studi Kasus: Jalan Yogyakarta–Bakulan)              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Merancang tebal perkerasan kaku dengan metode MDPJ 2024;</li> <li>➤ Membandingkan hasil desain dengan metode MDP 2017 atau AASHTO 1993; Memberikan rekomendasi struktur perkerasan kaku</li> </ul>      | ➤ Metode MDP 2024 |
| 4  | Serli Carlina, Dikpride Despab, dan Aleksander Purba                           | 2024  | Perencanaan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2024) Pada Ruas Jalan Sutan Syahrir Kota Metro | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Merencanakan perkerasan kaku pada jalan <i>existing</i> yang mengalami kerusakan (berlubang dan pelepasan butiran agregat)</li> <li>➤ Untuk menghitung tebal perkerasan yang dibutuhkan pada</li> </ul> | ➤ Metode MDP 2024 |

Tabel 2.36: *Lanjutan*

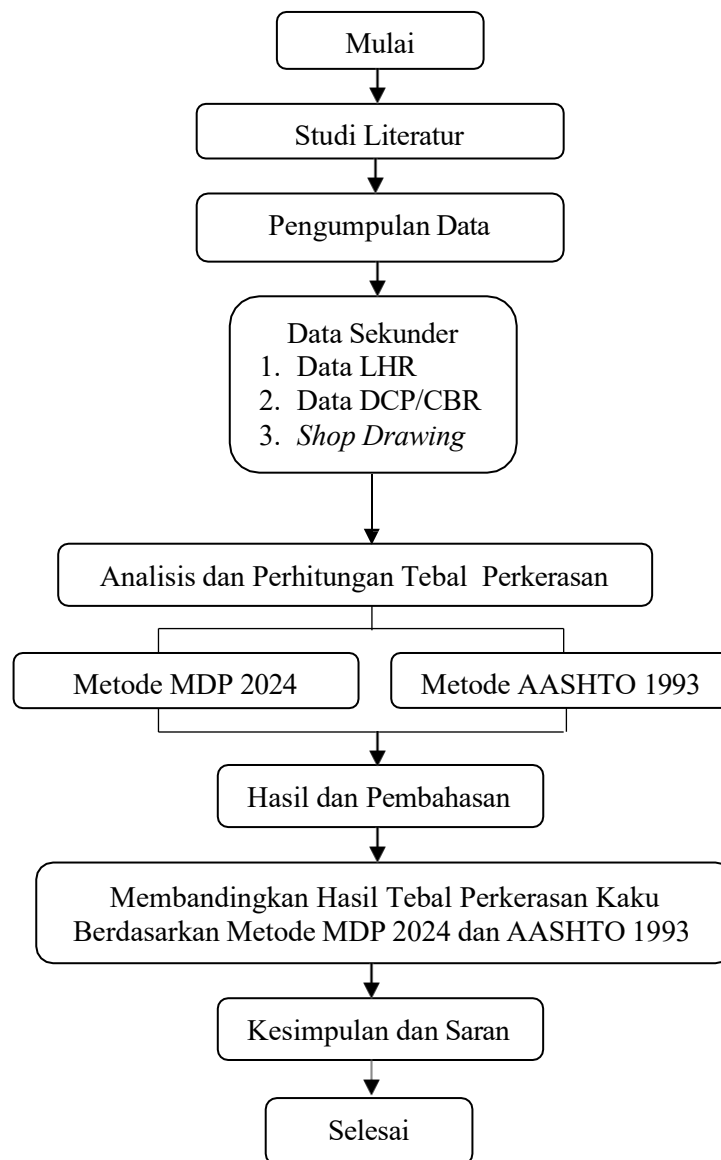
| No | Penelitian                                     | Tahun | Judul                                                                                                                              | Tujuan                                                                            | Metode                                     |
|----|------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|    |                                                |       |                                                                                                                                    | perkerasan kaku menggunakan metode MDPJ 2024.                                     |                                            |
| 5  | Abdullah Fajar Habibi, Sumina, dan Teguh Yuono | 2023  | Perencanaan Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ) Ruas Jalan Raya Bekonang – Sukoharjo dengan Metode AASHTO 1993               | ➤ Merancang tebal perkerasan kaku dengan metode AASHTO 1993 pada jalan kabupaten. | ➤ Metode AASHTO 1993                       |
| 6  | Rahmat Ardiansyah, Tri Sudibyo                 | 2020  | Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Lajur Pengganti pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta – Cikampek II <i>Elevated</i> | ➤ Merencanakan perkerasan kaku untuk lajur jalan pengganti;                       | ➤ Metode MDPJ 2017<br>➤ Metode AASHTO 1993 |

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian membahas perbandingan perhitungan tebal perkerasan kaku jalan tol ruas Serbelawan – Pematang Siantar (STA 49+265 s/d STA 52+450) dengan MDP 2024, dan AASHTO 1993.



Gambar 3.1: Tahapan Penelitian

### 3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada pembangunan Jalan Tol Kuala Tanjung – Tebing Tinggi – Parapat seksi 4 (Ruas Serbelawan – Pematang Siantar) STA 49+265 s/d STA 52+450).



Gambar 3.2: Lokasi penelitian

### 3.3. Jadwal Penelitian

Waktu penulis dalam melakukan penelitian ini dimulai pada bulan Oktober 2025 sampai 2026. Adapun waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Jadwal pelaksanaan tugas akhir

| No. | Aktivitas Penelitian   | Okt 2025 | Nov 2025 | Des 2025 | Jan 2026 | Feb 2026 | Juli 2026 | Aug 2026 |
|-----|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 1   | Pengajuan Judul        |          |          |          |          |          |           |          |
| 2   | Pengumpulan Data       |          |          |          |          |          |           |          |
| 3   | Penyusunan & Bimbingan |          |          |          |          |          |           |          |

Tabel 3.2: *Lanjutan*

| No. | Aktivitas Penelitian               | Okt 2025 | Nov 2025 | Des 2025 | Jan 2026 | Feb 2026 | Juli 2026 | Aug 2026 |
|-----|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 4   | Seminar Proposal                   |          |          |          |          |          |           |          |
| 5   | Bimbingan & Penyusunan Tugas Akhir |          |          |          |          |          |           |          |
| 6   | Seminar Hasil                      |          |          |          |          |          |           |          |
| 7   | Sidang Tugas Akhir                 |          |          |          |          |          |           |          |

### 3.4. Data Umum Proyek

Adapun data umum pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat (Tahap I) Ruas Serbelawan – Pematang Siantar (STA 30+000 s/d STA 58+000) sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Pembangunan jalan tol Tebing Tinggi – Parapat (Tahap 1) Serbelawan - Pematang Siantar (STA 30+000 s/d 58+000) termasuk simpang susun Pematang Siantar dan simpang susun Raya
2. Lokasi Proyek : Sumatra Utara
3. Pemilik Kontrak : PT. Utama Karya – Waskita
3. Jenis Kontrak : Kontrak konstruksi terintegrasi rancang dan bangun (*design and build*) lump sum price
4. Nomor Kontrak : 003/Kontrak – HMW/VI/2018
5. Kontraktor Pelaksana : PT. Utama Karya (Persero), Tbk.
6. Konsultan Pelaksana : PT. Arkonin *Engineering* Manggala Pratama
7. Konsultan Supervisi : PT. Multi Phi Beta – PT. Bina Karya (Persero), KSO
8. Nilai Kontrak : Rp 2.464.411.373.600,-inc PPN 10%

9. Waktu Pelaksanaan : 670 hari kalender
10. Masa Pemeliharaan : 1.004 hari kalender

### **3.5. Data Teknis**

Adapun data teknis khusus proyek pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat seksi 4 (Ruas Serbelawan – Pematang Siantar) STA 49+265 s/d 54+450 adalah sebagai berikut:

1. Panjang Jalan Utama : 28 km
2. Lokasi Pekerjaan : Ruas Serbelawan – Pematang Siantar, Kota Pematang Siantar, Sumatera Utara
3. Kecepatan Rencana : 100 km/jam
4. Jumlah Lajur :  $2 \times 2$
5. Lebar per Lajur : 3,6 m
6. Lebar Bahu Luar : 3 m (*rigid*)
7. Lebar Bahu Dalam : 1,5 m (*rigid*)
8. Lebar Median : 0,8 m
9. Tipe Perkerasan : Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

### **3.6. Sumber Data Penelitian**

Dalam penelitian ini data yang diperoleh berupa data sekunder. Pengumpulan data diperoleh dari dokumen perencanaan, data teknis, dan informasi pendukung lainnya yang diperoleh dari instansi atau perusahaan terkait. Sifat datanya ialah data kuantitatif dikarenakan data dinyatakan dalam bentuk angka (numerik) sehingga dapat diukur, dihitung, dianalisis secara matematis dan statistik.

### **3.7. Teknik Pengumpulan Data**

Terdapat beberapa metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini,

sebagai berikut:

#### 1. Studi Dokumentasi

Pada proses ini peneliti melakukan studi dokumentasi dengan mengumpulkan dan mempelajari data sekunder yang diperoleh dari instansi dan pihak yang terkait. Data tersebut meliputi data teknis proyek, data DCP/CBR tanah dasar, data LHR eksisting, dan *shop drawing*. Data dokumentasi yang tersedia menjadi dasar dalam proses analisis dan perhitungan tebal perkerasan kaku.

#### 2. Observasi

Pada proses ini peneliti melakukan observasi dengan pengamatan langsung pada lokasi penelitian pada Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar, khususnya pada STA yang ditinjau. Tujuan kunjungan lapangan ini untuk mengetahui kondisi geometrik jalan, kondisi lingkungan, jenis perkerasan yang digunakan, dan kondisi lalu lintas secara umum.

### 3.8. Teknik Pengolahan Data

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan jenis dan tujuan penelitian, yaitu penelitian kuantitatif. Analisis data bertujuan untuk membandingkan hasil perencanaan tebal perkerasan kaku pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan No. 03/M/BM/2024 dan Metode *American Association of State Highway and Transportation Officials: Guide for Design of Pavement Structures* 1993 (AASHTO 1993). Perbandingan dilakukan berdasarkan parameter – parameter perencanaan yang digunakan serta hasil tebal yang diperoleh dari masing – masing metode, sehingga dapat diketahui perbedaan hasil perencanaan berdasarkan kedua metode tersebut.

## BAB 4

### PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku dengan MDP 2024

##### 4.1.1. Umur Rencana

Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar merupakan jalan dengan elemen perkerasan berupa lapisan beton semen atau perkerasan kaku sehingga umur rencana yang digunakan ialah 40 tahun.

Tabel 4.1: Umur rencana (MDP, 2024)

| Jenis Perkerasan    | Elemen Perkerasan                                                                                                                                                    | Umur Rencana (Tahun) |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Perkerasan Lentur   | Lapisan aspal dan lapisan berbutir                                                                                                                                   | 20                   |
|                     | Lapis Fondasi Jalan                                                                                                                                                  | 40                   |
| Perkerasan Lentur   | Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan sering pelapisan ulang ( <i>overlay</i> ) seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan dan terowongan |                      |
|                     | <i>Cement Treated Base</i> (CBT)                                                                                                                                     |                      |
| Perkerasan Kaku     | Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen dan fondasi jalan                                                                                         |                      |
| Jalan Tanpa Penutup | Semua elemen (termasuk fondasi jalan)                                                                                                                                | 10                   |

Untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih komprehensif, dilakukan perencanaan tebal perkerasan kaku dengan variasi umur rencana 20 tahun, 30 tahun, dan 40 tahun. Pendekatan ini bertujuan untuk menentukan umur rencana yang menghasilkan ketebalan perkerasan paling mendekati kondisi eksisting di lapangan.

#### 4.1.2. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas dan Nilai Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas Kumlatif (R)

Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar terletak di Sumatera Utara dengan jenis jalan arteri, maka, laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (i) adalah 4,83.

Tabel 4.2: Angka pertumbuhan lalu lintas (MDP,2024)

| Jenis Jalan          | Jawa | Sumatera | Kalimantan | Rata-rata Indonesia |
|----------------------|------|----------|------------|---------------------|
| Arteri dan Perkotaan | 4,80 | 4,83     | 5,14       | 4,75                |
| Kolektural Rural     | 3,5  | 3,50     | 3,50       | 3,50                |
| Jalan Desa           | 1,00 | 1,00     | 1,00       | 1,00                |

Berikut pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) untuk setiap umur rencana:

1. Pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) dengan umur rencana 40 tahun, dapat dihitung menggunakan Pers. 2.1, sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$

$$R = \frac{(1+0,01.4,83)^{40}-1}{0,01.4,83}$$

$$R = 115,90$$

2. Pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) dengan umur rencana 30 tahun.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$

$$R = \frac{(1+0,01.4,83)^{30}-1}{0,01.4,83}$$

$$R = 64,53$$

3. Pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) dengan umur rencana 20 tahun.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$
$$R = \frac{(1+0,01.4,83)^{20}-1}{0,01.4,83}$$

$$R = 32,48$$

Dengan:

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

i : Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR : Umur rencana (tahun)

#### 4.1.3. Faktor Distribusi Lajur (DL) dan Faktor Distribusi Arah (DD)

Berdasarkan MDP 2024, untuk jalan 2 arah, faktor distribusi arah (DD) diambil nilai 0,5. Sedangkan, untuk penentuan nilai faktor distribusi lajur (DL) dapat dilihat pada Tabel 2.5. Tol Serbelawan – Pematang Siantar memiliki 2 lajur dengan 2 arah, maka faktor distribusi arahnya (DD) adalah 0,5 dan setiap arah terdiri dari 2 lajur, maka faktor distribusinya adalah 80% atau 0,8.

#### 4.1.4. Jumlah Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN)

Pengamatan lalu lintas dilakukan di sekitar jalan – jalan utama di wilayah Pematang Siantar. Data lalu lintas harian yang digunakan pada perencanaan ruas jalan baru (4 lajur 2 arah – 4/2D) pada Jalan Tol Ruas Serbelawan - Pematang Siantar adalah data LHR Sekunder tahun 2019. Survei lalu lintas dilaksanakan selama  $3 \times 24$  jam yang dibagi dalam 3 *shift* survei masing – masing 8 jam.

*Shift* ke 1 : Jam 06.00 – 14.00

*Shift* ke 2 : Jam 14.00 – 22.00

*Shift* ke 3 : Jam 22.00 – 06.00

Pengamatan lalu lintas dilakukan di sekitar jalan – jalan utama di wilayah Pematang

Siantar. Pengamatan dilakukan pada 5 ruas jalan sebagai berikut:

4. TC-1, Bts. Kab. Serdang Bedagai – Bts. Kota Pematang Siantar
5. TC-2, Jalan Asahan
6. TC 3, Jalan Melanthon Siregar
7. TC-4, Bts. Kota Pematang Siantar – Parapat
8. TC-5, Jalan Seribu Dolok

Tabel 4.3: Data LHR pada Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar 2019 (hasil perhitungan)

| Gol. Kendaraan | Uraian                                                   | Konfigurasi Sumbu | Kel. Sumbu | Data LHR (2 arah) |
|----------------|----------------------------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|
| 1              | Sepeda motor dan kendaraan roda-3                        | -                 | -          | -                 |
| 2              | Kendaraan ringan - sedan, jeep,dan station wagon         | 1.1               | 2          | -                 |
| 3              | Kendaraan ringan – angkutan umum sedang                  | 1.1               | 2          | 1382              |
| 4              | Kendaraan ringan - pick up, micro truck dan mobil hantar | 1.1               | 2          | 1496              |
| 5A             | Bus kecil                                                | 1.1               | 2          | 339               |
| 5B             | Bus besar                                                | 1.2               | 2          | 280               |
| 6A             | Truk 2 sumbu – truk ringan                               | 1.1               | 2          | 443               |
| 6B             | Truk 2 sumbu - truk sedang                               | 1.2               | 2          | 775               |
| 7A1            | Truk 3 sumbu - berat                                     | 11.2              | 2          | 64                |
| 7A2            | Truk 3 sumbu - berat                                     | 1.22              | 2          | 331               |
| 7A3            | Truk 4 sumbu - berat                                     | 11.22             | 2          | -                 |
| 7B1            | Truk 4 sumbu - berat                                     | 1.2+2.2           | 4          | -                 |

Tabel 4.4: *Lanjutan*

| Gol. Kendaraan | Uraian                 | Konfigurasi Sumbu | Kel. Sumbu | Data LHR (2 arah) |
|----------------|------------------------|-------------------|------------|-------------------|
| 7B2            | Truk 5 sumbu - berat   | 11.2+2.2          | 4          | -                 |
| 7B3            | Truk 5 sumbu - berat   | 1.22+2.2          | 4          | -                 |
| 7C1            | Truk 4 sumbu - berat   | 1.2-11            | 3          | 189               |
| 7C2A           | Truk 5 sumbu - berat   | 1.22-22           | 3          | 7                 |
| 7C2B           | Truk 5 sumbu - berat   | 1.2-222           | 3          | 89                |
| 7C3            | Truk 6 sumbu - berat   | 1.22-222          | 3          | 142               |
| 7C4            | Truk 7 sumbu - berat   | 1.22-2222         | 3          | -                 |
| 8              | Kendaraan tak bermotor |                   | 3          | -                 |

Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar sudah mulai beroperasi pada tahun 2025, maka Lalu Lintas Harian pada tahun 2025 dapat dihitung menggunakan Pers. 2.3.

$$LHR_n = LHR_o \times (1 + i)^n$$

Contoh:

Golongan 5B

$$LHR_{2025} = LHR_{2019} \times (1 + i)^6$$

$$LHR_{2025} = 280 \times (1 + 4,83\%)^6$$

$$LHR_{2025} = 372 \text{ kend/hr}$$

Tabel 4.5: Data LHR 2025 (hasil perhitungan)

| Golongan Kendaraan | Data LHR (2 Arah) 2019 | Data LHR (2 Arah) 2025 |
|--------------------|------------------------|------------------------|
| 1                  | 0                      | 0                      |
| 2                  | 0                      | 0                      |
| 3                  | 1382                   | 1.834                  |
| 4                  | 1496                   | 1.985                  |

Tabel 4.6: *Lanjutan*

|      |     |       |
|------|-----|-------|
| 5A   | 339 | 450   |
| 5B   | 280 | 372   |
| 6A   | 443 | 588   |
| 6B   | 775 | 1.029 |
| 7A1  | 64  | 85    |
| 7A2  | 331 | 439   |
| 7A3  | 0   | 0     |
| 7B1  | 0   | 0     |
| 7B2  | 0   | 0     |
| 7B3  | 0   | 0     |
| 7C1  | 189 | 251   |
| 7C2A | 7   | 9     |
| 7C2B | 89  | 118   |
| 7C3  | 142 | 188   |
| 7C4  | 0   | 0     |
| 8    | 0   | 0     |

Setelah nilai LHR sudah didapatkan, selanjutnya akan mencari nilai JSKN. Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar merupakan termasuk wilayah yang terletak di Sumatera Utara. Untuk perhitungan JSKN pada ruas tol tersebut digunakan beban faktual untuk wilayah Aceh - Sumatera Utara. Untuk mendapatkan nilai JSKN, data LHR dikonversi ke JSKN menggunakan Tabel Konfigurasi Sumbu Kendaraan.

Tabel 4.7: Konfigurasi sumbu kendaraan (MDP, 2024)

| Kelas Kendaraan | JSKN | STRT | STRG | STdRT | STdRG | STrRG | SQdRG |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 5B              | 2    | 1    | 1    | -     | -     | -     | -     |
| 6A              | 2    | 2    | -    | -     | -     | -     | -     |

Tabel 4.8: *Lanjutan*

| Kelas Kendaraan | JSKN | STRT | STRG | STdRT | STdRG | STrRG | SQdRG |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 6B              | 2    | 1    | 1    | -     | -     | -     | -     |
| 7A1             | 2    | -    | 1    | 1     | -     | -     | -     |
| 7A2             | 2    | 1    | -    | -     | 1     | -     | -     |
| 7A3             | 2    | -    | -    | 1     | 1     | -     | -     |
| 7B1             | 4    | 1    | 3    | -     | -     | -     | -     |
| 7B2             | 4    | -    | 3    | 1     | -     | -     | -     |
| 7B3             | 4    | 1    | 2    | -     | 1     | -     | -     |
| 7C1             | 3    | 1    | 1    | -     | 1     | -     | -     |
| 7C2A            | 3    | 1    | -    | -     | 2     | -     | -     |
| 7C2B            | 3    | 1    | 1    | -     | -     | 1     | -     |
| 7C3             | 3    | 1    | -    | -     | 1     | 1     | -     |
| 7C4             | 3    | 1    | -    | -     | 1     | -     | -     |

Untuk mendapatkan nilai JSKN, data LHR dikonversi ke JSKN menggunakan Tabel Konfigurasi Sumbu Kendaraan.

Contoh:

Kelas kendaraan 7A1

LHR = 85

JSKN = 2

HVAG =  $85 \times 2 = 170$

STRG =  $85 \times 1 = 85$

STdRT =  $85 \times 1 = 85$

STRT, STdRG, STrRG dan SQdRG = 0

Dengan megkonversi data LHR tresebut, maka didapatkan hasil seperti Tabel di bawah ini.

Tabel 4.9: Nilai JSKN (hasil perhitungan)

| Gol. Kendaraan               | LHR   | JSKN/<br>HVAG | STRT  | STRG  | STdRT | STdRG | STrRG | SQdRG |
|------------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5B                           | 372   | 743           | 372   | 372   | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 6A                           | 588   | 1176          | 1176  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 6B                           | 1.029 | 2057          | 1029  | 1029  | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 7A1                          | 85    | 170           | 0     | 85    | 85    | 0     | 0     | 0     |
| 7A2                          | 439   | 879           | 439   | 0     | 0     | 439   | 0     | 0     |
| 7A3                          | 0     | 0             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 7B1                          | 0     | 0             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 7B2                          | 0     | 0             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 7B3                          | 0     | 0             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 7C1                          | 251   | 752           | 251   | 251   | 0     | 251   | 0     | 0     |
| 7C2A                         | 9     | 28            | 9     | 0     | 0     | 19    | 0     | 0     |
| 7C2B                         | 118   | 354           | 118   | 118   | 0     | 0     | 118   | 0     |
| 7C3                          | 188   | 565           | 188   | 0     | 0     | 188   | 188   | 0     |
| 7C4                          | 0     | 0             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Total                        | 3.079 | 6725          | 3582  | 1854  | 85    | 897   | 307   | 0     |
| Proporsi Jenis Kendaraan (%) |       | 100,00        | 53,27 | 27,57 | 1,26  | 13,34 | 4,56  | 0,00  |

Maka, nilai JSKN harian yang didapat adalah 6.725 JSKN. Untuk menentukan jumlah rata – rata harian kumulatif kendaraan berat pada jalur rencana, digunakan Pers. 2.4.

1. Nilai JSKN dengan umur rencana 40 tahun.

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = 6725 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 115,90$$

$$JSKN = 113.793.157 = 1,14 \times 10^8 \text{ JSKN}$$

2. Nilai JSKN dengan umur rencana 30 tahun.

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = 6725 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 64,53$$

$$JSKN = 63.356.239 = 6,34 \times 10^7 \text{ JSKN}$$

3. Nilai JSKN dengan umur rencana 20 tahun.

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = (\sum LHR_{JK} \times JSKN_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

$$JSKN = 6725 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 32,48$$

$$JSKN = 31.886.533 = 3,19 \times 10^7 \text{ JSKN}$$

Keterangan:

$LHR_{JK}$  : Lintas harian rata -rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)

$JSKN_{JK}$  : Sumbu total kendaraan niaga tiap jenis kendaraan niaga (Tabel 2.11)

$DD$  : Faktor distribusi arah

$DL$  : Faktor distribusi lajur (Tabel 2.5).

$JSKN$  : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana

$R$  : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

#### 4.1.5. Lapis Fondasi Bawah

Perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji dianjurkan untuk dirancang menggunakan campuran beton kurus (BK) sebagai lapis fondasi bawah. Nilai JSKN yang diperoleh lebih besar dari  $1 \times 10^7$  JSKN, maka tebal lapis fondasi bawah minimum yang sarankan sesuai Tabel 2.15 ialah 150 mm.

Tabel 4.10: JSKN dan lapis fondasi (MDP 2024)

| Lalu Lintas Desain (JSKN)                     | Jenis Lapis Fondasi      |
|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Sampai dengan $10^6$                          | BP 125 mm                |
| $10^6$ sampai dengan $5 \times 10^6$          | BK 100 mm atau BP 150 mm |
| $5 \times 10^6$ sampau dengan $1 \times 10^6$ | BK 125 mm                |
| Lebih dari $1 \times 10^7$                    | BK 150 mm                |

#### 4.1.6. Penentuan Nilai CBR (*California Bearing Ratio*)

Untuk mengetahui nilai daya dukung tanah pada jalan tol ruas Seberlawan – Pematang Siantar (STA 49+265 s/d STA 52+450) dilakukan pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) pada 10 titik di sepanjang ruas jalan tersebut. Kemudian, nilai DCP yang dihasilkan akan dikonversi untuk mengetahui nilai CBR dari suatu segmen tanah dasar. Adapun hasil nilai CBR pada setiap titik pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) (hasil perhitungan)

| Titik | STA       | Nilai CBR Rata – rata (%) |
|-------|-----------|---------------------------|
| 1     | 49+325 R2 | 7,75                      |
| 2     | 49+425    | 9,11                      |
| 3     | 49+425 L2 | 6,12                      |
| 4     | 49+550 R1 | 7,38                      |
| 5     | 49+675 R2 | 7,57                      |
| 6     | 52+100 R2 | 6,68                      |
| 7     | 52+125 L1 | 7,21                      |
| 8     | 52+175 R1 | 6,29                      |
| 9     | 52+225 L2 | 8,44                      |
| 10    | 52+225 L3 | 6,28                      |

## 1. CBR Karakteristik

CBR karakteristik merupakan nilai daya dukung tanah dasar yang lebih umum yang mewakili suatu lokasi. Untuk menentukan nilai CBR Karakteristik dapat dilakukan dengan perhitungan persentil ke – 10 ( $10^{\text{th}}$  *percentile*) yang berarti 10% data segmen yang bersangkutan lebih kecil atau sama dengan nilai CBR persentil tersebut. Adapun tahapannya sebagai berikut:

- a. Mengurutkan data CBR mulai dari yang terkecil hingga terbesar

Tabel 4.12: Nilai CBR karakteristik (hasil perhitungan)

| Nomor Urut | Nilai CBR Rata – rata (%) |
|------------|---------------------------|
| 1          | 6,12                      |
| 2          | 6,28                      |
| 3          | 6,29                      |
| 4          | 6,68                      |
| 5          | 7,21                      |
| 6          | 7,38                      |
| 7          | 7,57                      |
| 8          | 7,75                      |
| 9          | 8,44                      |
| 10         | 9,11                      |

- b. Mencari nilai CBR persentil ke-10

Satu segmen tanah dasar yang seragam tersebut memiliki 10 data CBR ( $n = 10$ ).

Maka, indeks persentil ke – 10 =  $10\% \times 10 = 1$

Dengan indeks persentil ke -10 adalah 1, maka CBR pada persentil tersebut adalah rata – rata CBR pada nomro urut 1 dan 2 yaitu  $(6,12 + 6,28)/2 = 6,3$ . Dengan demikian, nilai CBR karakteristik segmen seragam tersebut adalah 6,3%.

## 2. CBR Ekuivalen

Jenis perkerasan yang direncanakan adalah beton bersambung tanpa tulangan atau *Jointed Plain Concrete Pavement* (JPCP) dengan kuat tarik lentur minimum 4,5 Mpa (45kg/cm<sup>2</sup>) dengan bahu jalan beton. Berdasarkan Tabel 2.15, Lapis fondasi agregat kelas A yang berfungsi sebagai lapis drainase dengan tebal 150 – 200 mm untuk 2 lajur per arah dan untuk yang lebih dari 2 lajur per arah setebal 300 mm. Adapun daya dukung setiap lapisan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: CBR ekuivalen (hasil perhitungan)

| Material                        | Daya Dukung CBR (%) | Tebal (m) |
|---------------------------------|---------------------|-----------|
| LFA Kelas A                     | 90%                 | 0,15      |
| Timbunan pilihan berbutir kasar | 30%                 | 0,20      |
| Tanah dasar                     | 6,3%                | 0,65      |

Nilai CBR ekuivalen dapat dihitung menggunakan Pers. 2.5.

$$CBR_{ekuivalen} = \left( \frac{\sum h_i CBR_i^{0,33}}{\sum h_i} \right)^3$$

$$CBR_{ekuivalen} = \left( \frac{\sum h_i CBR_i^{0,33}}{\sum h_i} \right)^3$$

$$CBR_{ekuivalen} = \left( \frac{[(0,15 \times 90^{0,33}) + (0,2 \times 30^{0,33}) + (0,65 \times 6,3^{0,33})]}{(0,15 + 0,2 + 0,65)} \right)^3$$

$$CBR_{ekuivalen} = 13,86\%$$

Keterangan:

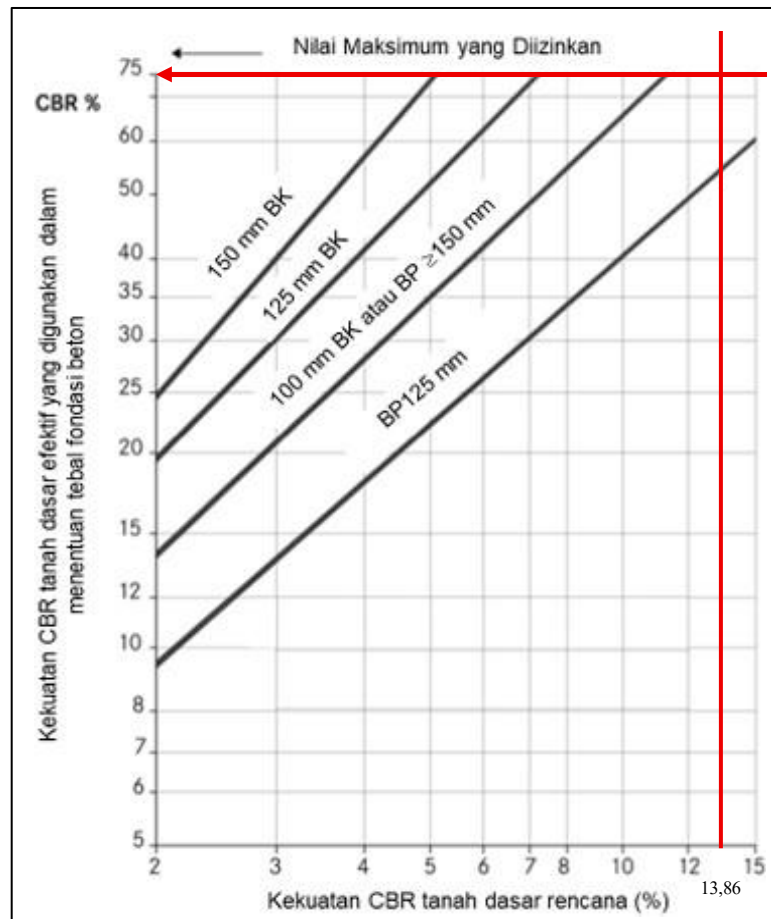
$h_i$  = tebal lapis

$i$  dan  $\sum h_i$  = 1 m

## 3. CBR Efektif

CBR efektif merupakan hubungan anatar nilai CBR ekuivalen dengan tebal lapisan fondasi bawah, jika CBR ekuivalen adalah 13,86% dan BK 150 mm, maka CBR

efektif berdasarkan grafik berikut ialah 75%, yang merupakan nilai maksimum yang diizinkan.



Gambar 4.1 Grafik hasil CBR efektif (MDP, 2024)

#### 4.1.7. Reliabilitas

Tipe perkerasan kaku yang didesain untuk Ruas Tol Serbelawan – Pematang Siantar adalah beton bersambung tanpa tulangan atau *Jointed Plain Concrete Pavement* (JPCP), maka berdasarkan menurut (Bina Marga, 2024), nilai reliabilitas yang digunakan adalah 90% dengan nilai  $L_{SF}$  sebesar 1,2.

#### 4.1.8. Tebal Beton Minimum

Berdasarkan Tabel 2.17, untuk jenis perkerasan JPCP dengan lalu lintas rencana ( $JSKN \geq 5 \times 10^7$ ) maka tebal beton minimum adalah 250 mm, sedangkan untuk lalu lintas rencana ( $1 \times 10^7 \leq JSKN < 5 \times 10^7$ ), maka tebal beton minimum adalah 200 mm.

#### 4.1.9. Repetisi Beban yang Diizinkan dengan Beban Faktual

##### 1. Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT)

Tabel 4.14: Repetisi beban yang diizinkan - STRT (hasil perhitungan)

| STRT             |                       |                                 |                           |                               |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Proporsi Beban (%100) | Proporsi Kelompok Sumbu (%/100) | Desain Lalu Lintas (JSKN) | Repetisi Beban yang Diizinkan |
| 90               | 0,01                  | 0,53                            | 113.793.157               | 357.618,63                    |
| 80               | 0,02                  | 0,53                            | 113.793.157               | 1.236.511,88                  |
| 70               | 0,15                  | 0,53                            | 113.793.157               | 9.110.183,11                  |
| 60               | 0,13                  | 0,53                            | 113.793.157               | 8.164.615,20                  |
| 50               | 0,18                  | 0,53                            | 113.793.157               | 11.019.502,93                 |
| 40               | 0,12                  | 0,53                            | 113.793.157               | 7.170.556,63                  |
| 30               | 0,22                  | 0,53                            | 113.793.157               | 13.407.668,03                 |
| 20               | 0,17                  | 0,53                            | 113.793.157               | 10.013.321,69                 |
| 10               | 0,00                  | 0,53                            | 113.793.157               | 24.245,33                     |

## 2. Sumbu Tandem Roda Tunggal (STdRT)

Tabel 4.15: Repetisi beban yang diizinkan – STdRT (hasil perhitungan)

| STdRT            |                       |                                 |                           |                               |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Proporsi Beban (%100) | Proporsi Kelompok Sumbu (%/100) | Desain Lalu Lintas (JSKN) | Repetisi Beban yang Diizinkan |
| 140              | 0,02                  | 0,01                            | 113.793.157               | 23.140,41                     |
| 130              | 0,11                  | 0,01                            | 113.793.157               | 162.270,34                    |
| 120              | 0,03                  | 0,01                            | 113.793.157               | 46.424,55                     |
| 110              | 0,11                  | 0,01                            | 113.793.157               | 162.270,34                    |
| 100              | 0,16                  | 0,01                            | 113.793.157               | 231.835,31                    |

## 3. Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG)

Tabel 4.16: Repetisi beban yang diizinkan – STRG (hasil perhitungan)

| STRG             |                       |                                 |                           |                               |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Proporsi Beban (%100) | Proporsi Kelompok Sumbu (%/100) | Desain Lalu Lintas (JSKN) | Repetisi Beban yang Diizinkan |
| 160              | 0,00                  | 0,28                            | 113.793.157               | 25.098,72                     |
| 150              | 0,02                  | 0,28                            | 113.793.157               | 693.352,24                    |
| 140              | 0,09                  | 0,28                            | 113.793.157               | 2.848.705,12                  |
| 130              | 0,03                  | 0,28                            | 113.793.157               | 891.004,68                    |
| 120              | 0,04                  | 0,28                            | 113.793.157               | 1.170.227,98                  |
| 110              | 0,04                  | 0,28                            | 113.793.157               | 1.248.661,49                  |
| 100              | 0,04                  | 0,28                            | 113.793.157               | 1.232.974,79                  |
| 90               | 0,05                  | 0,28                            | 113.793.157               | 1.449.451,28                  |
| 80               | 0,06                  | 0,28                            | 113.793.157               | 1.916.915,01                  |
| 70               | 0,09                  | 0,28                            | 113.793.157               | 2.776.546,29                  |
| 60               | 0,12                  | 0,28                            | 113.793.157               | 3.905.988,84                  |

Tabel 4.17: *Lanjutan*

| STRG             |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) |
| 50               | 0,14             | 0,28             | 113.793.157      | 4.273.057,68     |
| 40               | 0,16             | 0,28             | 113.793.157      | 5.113.864,91     |
| 30               | 0,12             | 0,28             | 113.793.157      | 3.724.023,10     |
| 20               | 0,00             | 0,28             | 113.793.157      | 15.686,70        |
| 10               | 0,00             | 0,28             | 113.793.157      | 47.060,11        |

#### 4. Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG)

Tabel 4.18: Repetisi beban yang diizinkan – STdRG (hasil perhitungan)

| STdRG            |                       |                                 |                           |                               |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Proporsi Beban (%100) | Proporsi Kelompok Sumbu (%/100) | Desain Lalu Lintas (JSKN) | Repetisi Beban yang Diizinkan |
| 310              | 0,12                  | 0,13                            | 113.793.157               | 1.880.975,95                  |
| 300              | 0,02                  | 0,13                            | 113.793.157               | 320.327,62                    |
| 290              | 0,02                  | 0,13                            | 113.793.157               | 318.809,48                    |
| 280              | 0,03                  | 0,13                            | 113.793.157               | 379.535,10                    |
| 270              | 0,03                  | 0,13                            | 113.793.157               | 459.996,54                    |
| 260              | 0,03                  | 0,13                            | 113.793.157               | 496.431,91                    |
| 250              | 0,04                  | 0,13                            | 113.793.157               | 537.421,70                    |
| 240              | 0,04                  | 0,13                            | 113.793.157               | 639.137,11                    |
| 230              | 0,07                  | 0,13                            | 113.793.157               | 1.042.962,45                  |
| 220              | 0,05                  | 0,13                            | 113.793.157               | 780.324,16                    |
| 210              | 0,05                  | 0,13                            | 113.793.157               | 768.179,04                    |
| 200              | 0,05                  | 0,13                            | 113.793.157               | 766.660,90                    |
| 190              | 0,05                  | 0,13                            | 113.793.157               | 684.681,32                    |
| 180              | 0,05                  | 0,13                            | 113.793.157               | 708.971,57                    |
| 170              | 0,04                  | 0,13                            | 113.793.157               | 678.608,76                    |
| 160              | 0,04                  | 0,13                            | 113.793.157               | 628.510,12                    |

Tabel 4.19: *Lanjutan*

| STdRG            |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) |
| 150              | 0,04             | 0,13             | 113.793.157      | 640.655,25       |
| 140              | 0,04             | 0,13             | 113.793.157      | 540.457,98       |
| 130              | 0,03             | 0,13             | 113.793.157      | 504.022,61       |
| 120              | 0,03             | 0,13             | 113.793.157      | 431.151,87       |
| 110              | 0,03             | 0,13             | 113.793.157      | 502.504,47       |
| 100              | 0,03             | 0,13             | 113.793.157      | 490.359,35       |
| 90               | 0,03             | 0,13             | 113.793.157      | 409.897,91       |
| 80               | 0,02             | 0,13             | 113.793.157      | 338.545,31       |
| 70               | 0,01             | 0,13             | 113.793.157      | 138.150,78       |
| 60               | 0,00             | 0,13             | 113.793.157      | 45.544,21        |
| 50               | 0,00             | 0,13             | 113.793.157      | 6.072,56         |
| 40               | 0,00             | 0,13             | 113.793.157      | 0,00             |
| 30               | 0,00             | 0,13             | 113.793.157      | 0,00             |
| 20               | 0,00             | 0,13             | 113.793.157      | 0,00             |
| 10               | 0,00             | 0,13             | 113.793.157      | 0,00             |

## 5. Sumbu Tridem Roda Ganda (STrRG)

Tabel 4.20: Repetisi beban yang diizinkan – STrRG (hasil perhitungan)

| STrRG            |                       |                                 |                           |                               |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Proporsi Beban (%100) | Proporsi Kelompok Sumbu (%/100) | Desain Lalu Lintas (JSKN) | Repetisi Beban yang Diizinkan |
| 400              | 0,04                  | 0,05                            | 113.793.157               | 198.171,22                    |
| 390              | 0,02                  | 0,05                            | 113.793.157               | 118.798,98                    |
| 380              | 0,00                  | 0,05                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 370              | 0,04                  | 0,05                            | 113.793.157               | 198.171,22                    |
| 360              | 0,00                  | 0,05                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 350              | 0,02                  | 0,05                            | 113.793.157               | 79.372,24                     |

Tabel 4.21: *Lanjutan*

| STrRG            |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) | Beban Sumbu (kN) |
| 340              | 0,05             | 0,05             | 113.793.157      | 237.597,96       |

## 6. Sumbu Quad Roda Ganda (SQdRG)

Tabel 4.22: Repetisi beban yang diizinkan – SQdRG (hasil perhitungan)

| SQdRG            |                       |                                 |                           |                               |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Beban Sumbu (kN) | Proporsi Beban (%100) | Proporsi Kelompok Sumbu (%/100) | Desain Lalu Lintas (JSKN) | Repetisi Beban yang Diizinkan |
| 60               | 0,00                  | 0,00                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 50               | 0,00                  | 0,00                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 40               | 0,00                  | 0,00                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 30               | 0,00                  | 0,00                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 20               | 0,00                  | 0,00                            | 113.793.157               | 0,00                          |
| 10               | 0,00                  | 0,00                            | 113.793.157               | 0,00                          |

### 4.1.10. Faktor *Fatigue* dan Erosi

Pada Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar, tipe perkerasan yang diterapkan menggunakan bahu beton. Oleh karena itu, perhitungan nilai *fatigue* dan erosi menggunakan koefisien prediksi tegangan ekuivalen ( $S_e$ ) yang mengacu pada Tabel 2.18 dan koefisien prediksi tegangan erosi ( $F_3$ ) yang mengacu pada Tabel 2.19. Adapun parameter - parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan nilai *fatigue* dan erosi, yaitu sebagai berikut:

### 1. Faktor *fatigue* dan erosi dengan umur rencana 40 tahun.

- a. Tebal pelat (D) = 340 mm = 34 cm (hasil *trial* dan *error*)
- b. CBR tanah dasar efektif (Ef) = 75%
- c. Ln(Ef) = LN(75) (menggunakan formula pada Excel)  
= 4,317
- d. [Ln(Ef)]<sup>2</sup> = 4,317<sup>2</sup>  
= 18,64
- e. [Ln(Ef)]<sup>3</sup> = 4,317<sup>3</sup>  
= 80,48

#### 1) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STRT

Adapun parameter yang perlu dihitung untuk setiap kelompok sumbu ialah sebagai berikut:

- a. L<sub>SF</sub> = 1,2
- b. f<sub>cf</sub> = 4,5
- c. F<sub>1</sub> = 9 (untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal - STRT)
- d. F<sub>2</sub> = 0,94 (untuk pelat dengan bahu beton)
- e. F<sub>4</sub> = 9 (untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal - STRT)

#### f. Ekuivalensi faktor *fatigue* (Se)

$$Se = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot [Ln(E_f)]^2 + \frac{Ln(E_f)}{D} + c \cdot Ln(E_f) + \frac{1}{D^2} + e \cdot Ln(E_f) + f \cdot \frac{Ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot Ln(E_f) + i \cdot \frac{[Ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{Ln(E_f)}{D^2}$$

$$Se = -0,051 + \frac{26}{340} + 0,0899 \cdot 4,317 + \frac{35,774}{340^2} + (-0,0376) \cdot [4,317]^2 + 14,57 \cdot \frac{4,317}{340} +$$

$$\frac{-861,548}{340^3} + 0,0031 \cdot [4,317]^3 + 1,3098 \cdot \frac{[4,317]^2}{340} + (-4009) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$Se = 0,357$$

#### g. Ekuivalensi faktor erosi (F<sub>3</sub>)

$$F = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot [Ln(E_f)]^2 + \frac{Ln(E_f)}{D} + c \cdot Ln(E_f) + \frac{1}{D^2} + e \cdot Ln(E_f) + f \cdot \frac{Ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot Ln(E_f) + i \cdot \frac{[Ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{Ln(E_f)}{D^2}$$

$$F_3 = 0,345 + \frac{534,6}{340} + (-0,1711) \cdot 4,317 + \frac{-44,908}{340^2} + 0,0347 \cdot [4,317]^2 + 20,49 \cdot \frac{4,317}{340} +$$

$$\frac{1.676.710}{340^3} + (-0,0038) \cdot [4,317]^3 + (-1,3829) \cdot \frac{4,317^2}{340} + (-913) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$F_3 = 1,324$$

Tabel 4.23: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT (hasil perhitungan)

| STRT               |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 90                 | 108                | 0,213 | 357.618,63          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,01E-07      |
| 80                 | 96                 | 0,191 | 1.236.511,88        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,48E-07      |
| 70                 | 84                 | 0,169 | 9.110.183,11        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,56E-06      |
| 60                 | 72                 | 0,146 | 8.164.615,20        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,30E-06      |
| 50                 | 60                 | 0,123 | 11.019.502          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,10E-06      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 8,41E-06      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor *fatigue* sebesar 0,00% dan faktor erosi (kerusakan) sebesar  $8,41 \times 10^{-6}\%$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk kelompok sumbu STRT, nilai *fatigue* maupun kerusakan masih berada dalam batas yang “**Diizinkan**” sehingga tebal pelat 34 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain. Dikatakan “**OK**” jika *fatigue* < 100% dan kerusakan < 100%.

## 2) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STdRT

Adapun parameter yang perlu dihitung untuk setiap kelompok sumbu ialah sebagai berikut:

- $L_{SF} = 1,2$
- $F_{cf} = 4,5$
- $F_1 = 18$  (untuk sumbu tandem dengan roda tunggal - STdRT)
- $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- $F_4 = 18$  (untuk sumbu tandem dengan roda tunggal - STdRT)
- Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ )

$$S_e = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \ln(E_f) \right]^2 + \frac{\ln(E_f)}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{1}{D^2} + e \cdot \ln(E_f) + f \cdot \frac{1}{D} + \frac{1}{D^3} + h \cdot \ln(E_f) + i \cdot \frac{1}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$S_e = -0,051 + \frac{26}{340} + 0,0899 \cdot 4,317 + \frac{35,774}{340^2} + (-0,0376) \cdot [4,317]^2 + 14,57 \cdot \frac{4,317}{340} + \frac{-861,548}{340^3} + 0,0031 \cdot [4,317]^3 + 1,3098 \cdot \frac{[4,317]^2}{340} + (-4009) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$S_e = 0,357$$

g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ )

$$F_3 = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \ln(E_f) \right]^2 + \frac{\ln(E_f)}{D} + c \cdot \ln(E_f) + \frac{1}{D^2} + e \cdot \ln(E_f) + f \cdot \frac{1}{D} + \frac{1}{D^3} + h \cdot \ln(E_f) + i \cdot \frac{1}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$F_3 = 1,564 + \frac{404,1}{340} + (-0,1226) \cdot 4,317 + \frac{-32,024}{340^2} + 0,0256 \cdot [4,317]^2 + (-9,79) \cdot \frac{4,317}{340} + \frac{1,150,280}{340^3} + (-0,0052) \cdot [4,317]^3 + (2,1997) \cdot \frac{4,317^2}{340} + (469) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$F_3 = 2,048$$

Tabel 4.24: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRT (hasil perhitungan)

| STdRT              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 140                | 168                | 0,169 | 23.140,41           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 9,86E+06                     | 2,35E-01      |
| 130                | 156                | 0,157 | 162.270,34          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 4,17E+07                     | 3,89E-01      |
| 120                | 144                | 0,146 | 46.424,55           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,31E-08      |
| 110                | 132                | 0,134 | 162.270,34          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 4,56E-08      |
| 100                | 120                | 0,123 | 231.835,31          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 6,52E-08      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 6,24E-01      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor *fatigue* sebesar 0,00% dan faktor erosi (kerusakan) sebesar 0,62%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk

kelompok sumbu STdRT, nilai *fatigue* maupun kerusakan masih berada dalam batas yang **“Diizinkan”** sehingga tebal pelat 34 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain. Dikatakan **“OK”** jika *fatigue* < 100% dan kerusakan < 100%.

### 3) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STRG

Adapun parameter yang perlu dihitung untuk setiap kelompok sumbu ialah sebagai berikut:

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 18$  (untuk sumbu tunggal dengan roda ganda - STRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 18$  (untuk sumbu tunggal dengan roda ganda - STRG)

f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ )

$$S_e = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \ln \left( \frac{E_f}{E} \right) \right]^2 + \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot \ln(E_f) + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$S_e = 0,33 + \frac{206,5}{340} + (-0,4684) \cdot 4,317 + \frac{28661}{340^2} + 0,165 \cdot [4,317]^2 + 2,82 \cdot \frac{4,317}{340} + \frac{-686510}{340^3} + (-0,0186) \cdot [4,317]^3 + (-1,9606) \cdot \frac{[4,317]^2}{340} + (-2717) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$S_e = 0,551$$

g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ )

$$F_3 = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \ln \left( \frac{E_f}{E} \right) \right]^2 + \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot \ln(E_f) + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$F_3 = 0,914 + \frac{539,8}{340} + (-0,1416) \cdot 4,317 + \frac{-44.900}{340^2} + 0,0275 \cdot [4,317]^2 + (-16,37) \cdot \frac{4,317}{340} + \frac{1.654.590}{340^3} + (-0,0032) \cdot [4,317]^3 + (-0,9584) \cdot \frac{4,317^2}{340} + (-765) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$F_3 = 1,926$$

Tabel 4.25: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG (hasil perhitungan)

| STRG |
|------|
|------|

| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| 160                | 192                | 0,295 | 25.098,72           | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 1,10E+07                     | 2,29E-01      |

Tabel 4.26: *Lanjutan*

| STRG               |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 150                | 180                | 0,278 | 693.352,24          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,90E+07                     | 1,78E+00      |
| 140                | 168                | 0,260 | 2.848.705,12        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 8,01E-07      |
| 130                | 156                | 0,243 | 891.004,68          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,51E-07      |
| 120                | 144                | 0,225 | 1.170.227,98        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,29E-07      |
| 110                | 132                | 0,207 | 1.248.661,49        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,51E-07      |
| 100                | 120                | 0,190 | 1.232.974,79        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,47E-07      |
| 90                 | 108                | 0,172 | 1.449.451,28        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 4,08E-07      |
| 80                 | 96                 | 0,154 | 1.916.915,01        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 5,39E-07      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 2,01E+00      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor *fatigue* sebesar 0,00% dan faktor erosi (kerusakan) sebesar 2,01%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk kelompok sumbu STRG, nilai *fatigue* maupun kerusakan masih berada dalam batas yang “**Diizinkan**” sehingga tebal pelat 34 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain. Dikatakan “**OK**” jika *fatigue* < 100% dan kerusakan < 100%.

#### 4) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STdRG

Adapun parameter yang perlu dihitung untuk setiap kelompok sumbu ialah sebagai berikut:

- $L_{SF} = 1,2$
- $F_{cf} = 4,5 \text{ Mpa}$
- $F_1 = 36$  (untuk sumbu tandem dengan roda ganda - STdRG)
- $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- $F_4 = 36$  (untuk sumbu tandem dengan roda ganda - STdRG)

f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ )

$$S_e = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \ln(E_f) \right]^2 \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot \ln(E_f) + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$Se = 0,088 + \frac{301,5}{340} + (-0,1846) \cdot 4,317 + \frac{4418}{340^2} + 0,0939 \cdot [4,317]^2 + (-59,93) \cdot \frac{4,317}{340} \\ + \frac{280297}{340^3} + (-0,0128) \cdot [4,317]^3 + 4,1791 \cdot \frac{[4,317]^2}{340} + 1768 \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$Se = 0,477$$

g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ )

$$F = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \left( \frac{1}{D} \right) \right]^2 \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + c \cdot \ln E_f + \frac{d}{D^2} + e \cdot \ln E_f + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{1}{D^3} + h \cdot \ln E_f + i \cdot \frac{\ln(E_f)^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$F_3 = 1,564 + \frac{404,1}{340} + (-0,1226) \cdot 4,317 + \frac{-32,024}{340^2} + 0,0256 \cdot [4,317]^2 + (-9,79) \cdot \frac{4,317}{340} \\ + \frac{1.150.280}{340^3} + (-0,0052) \cdot [4,317]^3 + 2,1997 \cdot \frac{4,317^2}{340} + 469 \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$F_3 = 2,048$$

Tabel 4.27: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG (hasil perhitungan)

| STdRG              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 310                | 372                | 0,248 | 1.880.975,95        | unlimited                    | 0,00        | 2,91E+06                     | 6,47E+01      |
| 300                | 360                | 0,241 | 320.327,62          | unlimited                    | 0,00        | 4,11E+06                     | 7,80E+00      |
| 290                | 348                | 0,233 | 318.809,48          | unlimited                    | 0,00        | 6,12E+06                     | 5,21E+00      |
| 280                | 336                | 0,225 | 379.535,10          | unlimited                    | 0,00        | 9,86E+06                     | 3,85E+00      |
| 270                | 324                | 0,218 | 459.996,54          | unlimited                    | 0,00        | 1,80E+07                     | 2,56E+00      |
| 260                | 312                | 0,210 | 496.431,91          | unlimited                    | 0,00        | 4,17E+07                     | 1,19E+00      |
| 250                | 300                | 0,203 | 537.421,70          | unlimited                    | 0,00        | 1,90E+08                     | 2,82E-01      |
| 240                | 288                | 0,195 | 639.137,11          | unlimited                    | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,80E-07      |
| 230                | 276                | 0,187 | 1.042.962,45        | unlimited                    | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,93E-07      |
| 220                | 264                | 0,180 | 780.324,16          | unlimited                    | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,19E-07      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 8,56E+01      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor *fatigue* sebesar 0,00% dan faktor erosi (kerusakan) sebesar 85,6%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk kelompok sumbu STdRG, nilai *fatigue* maupun kerusakan masih berada dalam batas yang “Diizinkan” sehingga tebal pelat 34 cm dinyatakan memenuhi

persyaratan desain. Dikatakan “**OK**” jika *fatigue* < 100% dan kerusakan < 100%.

### 5) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi – STrRG

Adapun parameter yang perlu dihitung untuk setiap kelompok sumbu ialah sebagai berikut:

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5 \text{ Mpa}$
- c.  $F_1 = 54$  (untuk sumbu tridem dengan roda ganda - STrRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 54$  (untuk sumbu tridem dengan roda ganda- STrRG)

f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ )

$$S_e = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \left( \frac{1}{D} \right) \right]^2 \cdot \frac{\ln(E_F)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot \ln E_f + i \cdot \frac{[\ln(E_F)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_F)}{D^2}$$

$$S_e = -0,145 + \frac{258,6}{340} + 0,008 \cdot 4,317 + \frac{1,408}{340^2} + 0,0312 \cdot [4,317]^2 + (-61,25) \cdot \frac{4,317}{340} +$$

$$\frac{488,079}{340^3} + (-0,0058) \cdot [4,317]^3 + 4,7428 \cdot \frac{[4,317]^2}{340} + 2,564 \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$S_e = 0,368$$

g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ )

$$F_3 = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \left( \frac{1}{D} \right) \right]^2 \cdot \frac{\ln(E_F)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot \ln E_f + i \cdot \frac{[\ln(E_F)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_F)}{D^2}$$

$$F_3 = 2,104 + \frac{245,4}{340} + (-0,2473) \cdot 4,317 + \frac{-15,007}{340^2} + 0,0469 \cdot [4,317]^2 + 8,86 \cdot \frac{4,317}{340} +$$

$$\frac{518,916}{340^3} + (-0,0075) \cdot [4,317]^3 + 1,5517 \cdot \frac{4,317^2}{340} + (-599) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$F_3 = 2,087$$

Tabel 4.28: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG (hasil perhitungan)

|       |
|-------|
| STrRG |
|-------|

| Beban Sumbu<br>P (kN) | Repetisi<br>Beban<br>LSF | Sr    | Repetisi<br>Beban Ijin | Repetisi<br>yang<br>Dijijinkan<br>(Nf) | <i>Fatigue</i><br>(%) | Repetisi<br>yang<br>Dijijinkan<br>(Ne) | Kerusakan<br>(%) |
|-----------------------|--------------------------|-------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|------------------|
| 400                   | 480                      | 0,166 | 198.171,22             | <i>unlimited</i>                       | 0,00                  | 1,04E+07                               | 1,91,E+00        |

Tabel 4.29: *Lanjutan*

| STrRG              |                    |       |                     |                               |             |                               |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diiijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diiijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 390                | 468                | 0,162 | 118.798,98          | <i>unlimited</i>              | 0,00        | 1,57E+07                      | 7,57,E-01     |
| 380                | 456                | 0,158 | 0,00                | <i>unlimited</i>              | 0,00        | 2,61E+07                      | 0,00,E+00     |
| 370                | 444                | 0,154 | 198.171,22          | <i>unlimited</i>              | 0,00        | 5,14E+07                      | 3,86,E-01     |
| 360                | 432                | 0,150 | 0,00                | <i>unlimited</i>              | 0,00        | 1,48E+08                      | 0,00,E+00     |
| 350                | 420                | 0,146 | 79.372,24           | <i>unlimited</i>              | 0,00        | 6,19E+09                      | 1,28,E-03     |
| 340                | 408                | 0,142 | 237.597,96          | <i>unlimited</i>              | 0,00        | 3,56E+14                      | 6,68,E-08     |
| Total              |                    |       |                     |                               | 0,00        |                               | 3,05E+00      |
|                    |                    |       |                     |                               | OK          |                               | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor *fatigue* sebesar 0,00% dan faktor erosi (kerusakan) sebesar 3,05%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk kelompok sumbu STrRG, nilai *fatigue* maupun kerusakan masih berada dalam batas yang “**Diizinkan**” sehingga tebal pelat 34 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain. Dikatakan “**OK**” jika *fatigue* < 100% dan kerusakan < 100%.

## 6) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - SQdRG

Adapun parameter yang perlu dihitung untuk setiap kelompok sumbu ialah sebagai berikut:

- $L_{SF} = 1,2$
- $F_{cf} = 4,5 \text{ Mpa}$
- $F_1 = 72$  (untuk sumbu quad dengan roda ganda - SQdRG)
- $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- $F_4 = 54$  (untuk sumbu quad dengan roda ganda - SQdRG)

f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ )

$$S_e = a \cdot b \cdot \left( \frac{1}{D} \right)^d \cdot \left[ \ln(E_f) \right]^2 + \frac{\ln(E_f)}{D^2} + e \cdot \ln(E_f) + f \cdot \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h \cdot \ln(E_f) + i \cdot \frac{[\ln(E_f)]^2}{D} + j \cdot \frac{\ln(E_f)}{D^2}$$

$$S_e = -0,145 + \frac{258,6}{340} + 0,008 \cdot 4,317 + \frac{1,408}{340^2} + 0,0312 \cdot [4,317]^2 + (-61,25) \cdot \frac{4,317}{340} +$$

$$\frac{488.079}{340^3} + (-0,0058) \cdot [4,317]^3 + 4,7428 \cdot \frac{[4,317]^2}{340} + 2.564 \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$Se = 0,368$$

g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ )

$$F = a \cdot b \cdot \left( \frac{D}{100} \right)^d \cdot \left[ \left( \frac{D}{100} \right)^2 + \frac{\ln(E_f)}{D} + \frac{\ln(E_f)^2}{D^2} + \frac{\ln(E_f)^3}{D^3} + \frac{\ln(E_f)^4}{D^4} + \frac{\ln(E_f)^5}{D^5} + \frac{\ln(E_f)^6}{D^6} + \frac{\ln(E_f)^7}{D^7} + \frac{\ln(E_f)^8}{D^8} + \frac{\ln(E_f)^9}{D^9} + \frac{\ln(E_f)^{10}}{D^{10}} \right]$$

$$F_3 = 2,104 + \frac{245,4}{340} + (-0,2473) \cdot 4,317 + \frac{-15,007}{340^2} + 0,0469 \cdot [4,317]^2 + 8,86 \cdot \frac{4,317}{340} +$$

$$\frac{518,916}{340^3} + (-0,0075) \cdot [4,317]^3 + 1,5517 \cdot \frac{4,317^2}{340} + (-599) \cdot \frac{4,317}{340^2}$$

$$F_3 = 2,087$$

Tabel 4.30: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG (hasil perhitungan)

| SQdRG              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 60                 | 72                 | 0,021 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 50                 | 60                 | 0,018 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 40                 | 48                 | 0,015 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 30                 | 36                 | 0,011 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 20                 | 24                 | 0,008 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 10                 | 12                 | 0,004 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 0,00E+00      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah total *fatigue* dari seluruh kelompok sumbu sebesar 0,00% sedangkan nilai erosi (kerusakan) sebesar 91,245%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan tebal pelat beton 34 cm masih memenuhi kriteria desain perkerasan kaku. Hal ini dikarenakan nilai *fatigue* dan erosi masih berada di bawah batas yang diizinkan, yaitu kurang dari 100% sehingga struktur perkerasan dapat dinyatakan “**Aman**” untuk menahan beban lalu lintas rencana selama umur layan yang telah ditetapkan yaitu 40 tahun.

## 2. Faktor *fatigue* dan erosi dengan umur rencana 30 tahun

### 1) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STRT

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $f_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 9$  (untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal - STRT)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 9$  (untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal - STRT)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,394
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 1,388

Tabel 4.31: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT (hasil perhitungan)

| STRT               |                    |       |                     |                                   |                    |                                   |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan ( $N_f$ ) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan ( $N_e$ ) | Kerusakan (%) |
| 90                 | 108                | 0,236 | 199.110,14          | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 3,56E+14                          | 5,60E-08      |
| 80                 | 96                 | 0,211 | 688.448,62          | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 3,56E+14                          | 1,94E-07      |
| 70                 | 84                 | 0,186 | 5.072.246,48        | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 3,56E+14                          | 1,43E-06      |
| 60                 | 72                 | 0,161 | 4.545.785,77        | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 3,56E+14                          | 1,28E-06      |
| 50                 | 60                 | 0,136 | 6.135.292,15        | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 3,56E+14                          | 1,73E-06      |
| Total              |                    |       |                     |                                   | 0,00               |                                   | 4,68E-06      |
|                    |                    |       |                     |                                   | OK                 |                                   | OK            |

### 2) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STdRT

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 18$  (untuk sumbu tandem dengan roda tunggal - STdRT)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 18$  (untuk sumbu tandem dengan roda tunggal - STdRT)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,394

g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,094

Tabel 4.32: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRT (hasil perhitungan)

| STdRT              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 140                | 168                | 0,186 | 12.883,81           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 4,90E+06                     | 2,63E-01      |
| 130                | 156                | 0,174 | 90.346,72           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,36E+07                     | 6,63E-01      |
| 120                | 144                | 0,161 | 25.847,65           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,01E+08                     | 2,55E-02      |
| 110                | 132                | 0,148 | 90.346,72           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,54E-08      |
| 100                | 120                | 0,136 | 129.078,18          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,63E-08      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 9,51E-01      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

### 3) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STRG

- a.  $L_{SF}$  = 1,2
- b.  $F_{cf}$  = 4,5
- c.  $F_1$  = 18 (untuk sumbu tunggal roda ganda - STRG)
- d.  $F_2$  = 0,94 (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4$  = 18 (untuk sumbu tunggal roda ganda - STRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,600
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 1,989

Tabel 4.33: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG (hasil perhitungan)

| STRG               |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 160                | 192                | 0,321 | 13.974,13           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 4,24E+06                     | 3,29E-01      |

Tabel 4.34: *Lanjutan*

| STRG               |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 150                | 180                | 0,302 | 386.035,43          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 9,63E+06                     | 4,01E+00      |
| 140                | 168                | 0,283 | 1.586.064,11        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,50E+07                     | 4,53E+00      |
| 130                | 156                | 0,264 | 496.081,73          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,40E-07      |
| 120                | 144                | 0,245 | 651.543,96          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,83E-07      |
| 110                | 132                | 0,226 | 695.213,12          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,96E-07      |
| 100                | 120                | 0,207 | 686.479,29          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,93E-07      |
| 90                 | 108                | 0,187 | 807.006,19          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 2,27E-07      |
| 80                 | 96                 | 0,167 | 1.067.274,42        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 3,00E-07      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 8,87E+00      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

#### 4) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STdRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 36$  (untuk sumbu tandem roda ganda - STdRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 36$  (untuk sumbu tandem roda ganda - STdRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,514
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,094

Tabel 4.35: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG (hasil perhitungan)

| STdRG              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 310                | 372                | 0,267 | 1.047.264,75        | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,76E+06                     | 5,96E+01      |
| 300                | 360                | 0,259 | 178.347,75          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 2,38E+06                     | 7,51E+00      |

Tabel 4.36: *Lanjutan*

| STdRG              |                    |       |                     |                              |                    |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 290                | 348                | 0,251 | 177.502,50          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,33E+06                     | 5,33E+00      |
| 280                | 336                | 0,243 | 211.312,50          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 4,90E+06                     | 4,31E+00      |
| 270                | 324                | 0,235 | 256.110,75          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 7,74E+06                     | 3,31E+00      |
| 260                | 312                | 0,227 | 276.396,75          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 1,36E+07                     | 2,03E+00      |
| 250                | 300                | 0,218 | 299.218,50          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 2,92E+07                     | 1,02E+00      |
| 240                | 288                | 0,210 | 355.850,25          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 1,01E+08                     | 3,51E-01      |
| 230                | 276                | 0,202 | 580.686,75          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 1,63E-07      |
| 220                | 264                | 0,194 | 434.458,50          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 1,22E-07      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00               |                              | 8,34E+01      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK                 |                              | OK            |

### 5) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STrRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 54$  (untuk sumbu tridem roda ganda - STrRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 54$  (untuk sumbu tridem roda ganda - STrRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,399
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,128

Tabel 4.37: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG (hasil perhitungan)

| STrRG              |                    |       |                     |                              |                    |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 400                | 480                | 0,180 | 110.335,13          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 5,54E+06                     | 1,99E+00      |
| 390                | 468                | 0,176 | 66.143,31           | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 7,67E+06                     | 8,63E-01      |
| 380                | 456                | 0,172 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 1,12E+07                     | 0,00E+00      |

Tabel 4.38: *Lanjutan*

| STrTG              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 370                | 444                | 0,167 | 110.335,13          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,75E+07                     | 6,31,E-01     |
| 360                | 432                | 0,163 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,09E+07                     | 0,00,E+00     |
| 350                | 420                | 0,159 | 44.191,82           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 6,85E+07                     | 6,45,E-02     |
| 340                | 408                | 0,155 | 132.286,63          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 2,87E+08                     | 4,61,E-02     |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 3,59,E+00     |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

### 6) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi – SQdRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 72$  (untuk sumbu quad roda ganda - SQdRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 54$  (untuk sumbu quad roda ganda - SQdRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,399
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,128

Tabel 4.39: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG (hasil perhitungan)

| SQdRG              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 60                 | 72                 | 0,023 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 50                 | 60                 | 0,019 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 40                 | 48                 | 0,016 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 30                 | 36                 | 0,012 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 20                 | 24                 | 0,008 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 10                 | 12                 | 0,004 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 0,00E+00      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah total *fatigue* dari seluruh kelompok sumbu sebesar 0,00% sedangkan nilai erosi (kerusakan) sebesar 96,829%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan tebal pelat beton 32 cm masih memenuhi kriteria desain perkerasan kaku. Hal ini dikarenakan nilai *fatigue* dan erosi masih berada di bawah batas yang diizinkan, yaitu kurang dari 100% sehingga struktur perkerasan dapat dinyatakan “**Aman**” untuk menahan beban lalu lintas rencana selama umur layan yang telah ditetapkan yaitu 30 tahun.

### 3. Faktor *fatigue* dan erosi dengan umur rencana 20 tahun.

#### 1) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STRT

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $f_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 9$  (untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal - STRT)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 9$  (untuk sumbu tunggal dengan roda tunggal - STRT)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,437
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 1,458

Tabel 4.40: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRT (hasil perhitungan)

| STRT               |                    |       |                     |                              |                    |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 90                 | 108                | 0,261 | 100.210,05          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 2,82E-08      |
| 80                 | 96                 | 0,234 | 346.489,00          | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 9,75E-08      |
| 70                 | 84                 | 0,206 | 2.552.808,68        | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 7,18E-07      |
| 60                 | 72                 | 0,178 | 2.287.846,50        | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 6,44E-07      |
| 50                 | 60                 | 0,150 | 3.087.828,46        | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 8,69E-07      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00               |                              | 2,36E-06      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK                 |                              | OK            |

## 2) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STdRT

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 18$  (untuk sumbu tandem dengan roda tunggal - STdRT)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 18$  (untuk sumbu tandem dengan roda tunggal - STdRT)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,437
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,145

Tabel 4.41: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRT (hasil perhitungan)

| STdRT              |                    |       |                     |                                   |                    |                                   |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan ( $N_f$ ) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan ( $N_e$ ) | Kerusakan (%) |
| 140                | 168                | 0,206 | 6.484,29            | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 2,62E+06                          | 2,47E-01      |
| 130                | 156                | 0,192 | 45.470,56           | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 5,89E+06                          | 7,72E-01      |
| 120                | 144                | 0,178 | 13.008,85           | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 2,00E+07                          | 6,51E-02      |
| 110                | 132                | 0,164 | 45.470,56           | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 7,42E+08                          | 6,12E-03      |
| 100                | 120                | 0,150 | 64.963,70           | <i>unlimited</i>                  | 0,00               | 3,56E+14                          | 1,83E-08      |
| Total              |                    |       |                     |                                   | 0,00               |                                   | 1,09E+00      |
|                    |                    |       |                     |                                   | OK                 |                                   | OK            |

## 3) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 18$  (untuk sumbu tunggal roda ganda - STRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 18$  (untuk sumbu tunggal roda ganda - STRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,656
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,059

Tabel 4.42: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STRG (hasil perhitungan)

| STRG               |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 160                | 192                | 0,351 | 7.033,04            | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,91E+06                     | 3,68E-01      |
| 150                | 180                | 0,331 | 194.287,60          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,59E+06                     | 5,42E+00      |
| 140                | 168                | 0,310 | 798.249,50          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 8,24E+06                     | 9,68E+00      |
| 130                | 156                | 0,289 | 249.672,75          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,04E+07                     | 8,20E-01      |
| 120                | 144                | 0,268 | 327.915,27          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 9,22E-08      |
| 110                | 132                | 0,247 | 349.893,50          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 9,84E-08      |
| 100                | 120                | 0,226 | 345.497,86          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 9,72E-08      |
| 90                 | 108                | 0,205 | 406.157,79          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,14E-07      |
| 80                 | 96                 | 0,183 | 537.148,07          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 3,56E+14                     | 1,51E-07      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00        |                              | 1,63E+01      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK          |                              | OK            |

#### 4) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STdRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 36$  (untuk sumbu tandem roda ganda - STdRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 36$  (untuk sumbu tandem roda ganda - STdRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,558
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,145

Tabel 4.43: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STdRG (hasil perhitungan)

| STdRG              |                    |       |                     |                              |             |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | Fatigue (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 310                | 372                | 0,290 | 527.077,41          | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,07E+06                     | 4,91E+01      |
| 300                | 360                | 0,281 | 89.760,56           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,40E+06                     | 6,39E+00      |
| 290                | 348                | 0,272 | 89.335,15           | <i>unlimited</i>             | 0,00        | 1,89E+06                     | 4,73E+00      |

Tabel 4.44: *Lanjutan*

| STdRG              |                    |       |                     |                               |                    |                               |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diiijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diiijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 280                | 336                | 0,263 | 106.351,37          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 2,62E+06                      | 4,06E+00      |
| 270                | 324                | 0,255 | 128.897,87          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 3,81E+06                      | 3,38E+00      |
| 260                | 312                | 0,246 | 139.107,60          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 5,89E+06                      | 2,36E+00      |
| 250                | 300                | 0,237 | 150.593,55          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 1,00E+07                      | 1,50E+00      |
| 240                | 288                | 0,228 | 179.095,71          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 2,00E+07                      | 8,96E-01      |
| 230                | 276                | 0,219 | 292.253,58          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 5,63E+07                      | 5,19E-01      |
| 220                | 264                | 0,210 | 218.658,43          | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 7,42E+08                      | 2,95E-02      |
| Total              |                    |       |                     |                               | 0,00               |                               | 7,30E+01      |
|                    |                    |       |                     |                               | OK                 |                               | OK            |

### 5) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - STrRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 54$  (untuk sumbu tridem roda ganda - STrRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 54$  (untuk sumbu tridem roda ganda - STrRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,436
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,173

Tabel 4.45: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – STrRG (hasil perhitungan)

| STrRG              |                    |       |                     |                               |                    |                               |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diiijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diiijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 400                | 480                | 0,197 | 55.530,52           | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 3,12E+06                      | 1,78E+00      |
| 390                | 468                | 0,192 | 33.289,24           | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 4,09E+06                      | 8,14E-01      |
| 380                | 456                | 0,188 | 0,00                | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 5,52E+06                      | 0,00E+00      |
| 370                | 444                | 0,183 | 55.530,52           | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 7,77E+06                      | 7,14E-01      |
| 360                | 432                | 0,178 | 0,00                | <i>unlimited</i>              | 0,00               | 1,16E+07                      | 0,00E+00      |

Tabel 4.46: *Lanjutan*

| STrRG              |                    |       |                     |                              |                    |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 350                | 420                | 0,174 | 22.241,28           | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 1,88E+07                     | 1,18,E-01     |
| 340                | 408                | 0,169 | 66.578,48           | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,54E+07                     | 1,88,E-01     |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00               |                              | 3,61,E+00     |
|                    |                    |       |                     |                              | OK                 |                              | OK            |

### 6) Hasil Hitung Faktor Sumbu *Fatigue* dan Erosi - SQdRG

- a.  $L_{SF} = 1,2$
- b.  $F_{cf} = 4,5$
- c.  $F_1 = 72$  (untuk sumbu quad roda ganda - SQdRG)
- d.  $F_2 = 0,94$  (untuk pelat dengan bahu beton)
- e.  $F_4 = 54$  (untuk sumbu quad roda ganda - SQdRG)
- f. Ekuivalensi faktor *fatigue* ( $S_e$ ) = 0,436
- g. Ekuivalensi faktor erosi ( $F_3$ ) = 2,173

Tabel 4.47: Hasil hitung repetisi beban yang diizinkan – SQdRG (hasil perhitungan)

| SQdRG              |                    |       |                     |                              |                    |                              |               |
|--------------------|--------------------|-------|---------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Beban Sumbu P (kN) | Repetisi Beban LSF | Sr    | Repetisi Beban Ijin | Repetisi yang Diijinkan (Nf) | <i>Fatigue</i> (%) | Repetisi yang Diijinkan (Ne) | Kerusakan (%) |
| 60                 | 72                 | 0,025 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 50                 | 60                 | 0,021 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 40                 | 48                 | 0,017 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 30                 | 36                 | 0,013 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 20                 | 24                 | 0,009 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| 10                 | 12                 | 0,005 | 0,00                | <i>unlimited</i>             | 0,00               | 3,56E+14                     | 0,00E+00      |
| Total              |                    |       |                     |                              | 0,00               |                              | 0,00E+00      |
|                    |                    |       |                     |                              | OK                 |                              | OK            |

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah total *fatigue* dari seluruh kelompok sumbu sebesar 0,00% sedangkan nilai erosi (kerusakan) sebesar 93,956%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan tebal pelat beton 30 cm masih memenuhi kriteria desain perkerasan kaku. Hal ini dikarenakan nilai *fatigue* dan erosi masih berada di bawah batas yang diizinkan, yaitu kurang dari 100% sehingga struktur perkerasan dapat dinyatakan “**Aman**” untuk menahan beban lalu lintas rencana selama umur layan yang telah ditetapkan yaitu 20 tahun.

#### 4.1.11. Desain *Dowel* dan *Tie Bar*

##### 1. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

Berdasarkan pedoman pada MDP 2024, sambungan memanjang harus memakai batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm.

Sambungan batang pengikat dengan tebal pelat 34 cm dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h$$

$$A_t = 204 \times 3,6 \times 0,34$$

$$A_t = 249,696 \text{ mm}^2$$

Maka, luas penampang tulangan per meter panjang sambungan adalah 249,696 mm<sup>2</sup>

Untuk panjang batang pengikat ialah sebagai berikut:

$$I = (38,3 \times \phi) + 75$$

$$I = (38,3 \times 16) + 75$$

$$I = 687,8 \text{ mm} = 68,78 \text{ cm} \text{ dibulatkan } 70 \text{ cm}$$

Maka panjang batang pengikat yang digunakan adalah 70 cm, diameter 16 mm dan jarak 75 cm.

##### 2. Pemasangan ruji (*dowel*)

Berdasarkan Tabel 2.20 untuk tebal pelat beton  $250 > h \leq 300$ , diameter ruji yang digunakan adalah 38 mm dengan panjang 45 cm dan jarak 30 cm dengan tebal pelat 340 mm atau 34 cm.

## 4.2. Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku dengan Metode AASHTO 1993

### 4.2.1. Umur Rencana

Untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih komprehensif, dilakukan perencanaan tebal perkerasan kaku dengan variasi umur rencana 20 tahun, 30 tahun, dan 40 tahun. Pendekatan ini bertujuan untuk menentukan umur rencana yang menghasilkan ketebalan perkerasan paling mendekati kondisi eksisting di lapangan.

### 4.2.2. Faktor Distribusi Arah ( $D_D$ ) dan Faktor Distribusi Lajur ( $D_L$ )

Berdasarkan AASHTO 1993, faktor distribusi arah ( $D_D$ ) adalah 0,3 – 0,5, tetapi umumnya diambil 0,5. Untuk faktor distribusi lajur ( $D_L$ ), berdasarkan Tabel 2.22, untuk jalan dengan 2 lajur setiap arah, maka faktor distribusi lajur ( $D_L$ ) ialah 80% – 100%, diambil 80% atau 0,8.

### 4.2.3. Pertumbuhan Lalu Lintas

Tabel 4.48: Angka pertumbuhan lalu lintas (AASHTO 1993)

| Jenis Jalan          | Jawa | Sumatera | Kalimantan | Rata-rata Indonesia |
|----------------------|------|----------|------------|---------------------|
| Arteri dan Perkotaan | 4,80 | 4,83     | 5,14       | 4,75                |
| Kolektoral Rural     | 3,5  | 3,52     | 3,50       | 3,50                |
| Jalan Desa           | 1,00 | 1,00     | 1,00       | 1,00                |

#### 4.2.4. Menghitung Beban Lalu Lintas (ESAL)

##### 1. Perhitungan $W_{18}$

Untuk menghitung nilai  $W_{18}$ , terdapat beberapa parameter yang perlu ditentukan terlebih dahulu, yaitu sebagai berikut:

- a. Pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) dengan umur rencana 40 tahun.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$
$$R = \frac{(1+0,01.4,83)^{40}-1}{0,01.4,83}$$
$$R = 115,90$$

- b. Pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) dengan umur rencana 30 tahun.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$
$$R = \frac{(1+0,01.4,83)^{30}-1}{0,01.4,83}$$
$$R = 64,53$$

- c. Pertumbuhan lalu lintas kumulatif (R) dengan umur rencana 20 tahun.

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$
$$R = \frac{(1+0,01.4,83)^{20}-1}{0,01.4,83}$$
$$R = 32,48$$

- d. Faktor distribusi arah ( $D_D$ ) sebesar 0,5 dan faktor distribusi lajur ( $D_L$ ) sebesar 0,8.

- e. Untuk menghitung nilai ESAL maka diperlukan nilai VDF sebagai faktor pengalinya. Nilai VDF yang digunakan ialah VDF untuk perkerasan kaku dengan beban faktual pada wilayah Aceh – Sumatera Utara.

Tabel 4.49: VDF kaku faktual (MDP 2024)

| Kondisi  | Kelas Kenaraan | Gol 5B | Gol 6A | Gol 6B | Gol 7A1 | Gol 7A2 | Gol 7A3 | Gol 7B1 | Gol 7B2 | Gol 7B3 | Gol 7C1 | Gol 7C1A | Gol 7C2A | Gol 7C3 | Gol 7C4 |
|----------|----------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| VDF Kaku | Faktual        | 3,4    | 0,3    | 1,9    | 11,7    | 14,6    | -       | -       | -       | -       | 11,2    | 9,1      | 14,0     | 20,7    | -       |
|          | Normal         | 2,5    | 0,1    | 1,2    | 3,5     | 4,4     | -       | -       | -       | -       | 6,4     | 6,7      | 8,9      | 11,0    | -       |

Tabel 4.50: Perhitungan ESAL dengan umur rencana 40 tahun (hasil perhitungan)

| Kendaraan | Konfigurasi Sumbu & type    | LHR 2019 | LHR 2025 | VDF Kaku Faktual | ESAL Beban Faktual 2025 - 2065                         |
|-----------|-----------------------------|----------|----------|------------------|--------------------------------------------------------|
|           |                             |          | a        | b                | $a \times b \times D_D \times D_L \times 365 \times R$ |
| Gol 5B    | 1.2 Bus besar               | 280      | 372      | 3,4              | 21.379.729                                             |
| Gol 6A    | 1.1L Truk                   | 443      | 588      | 0,3              | 2.984.628                                              |
| Gol 6B    | 1.2H Truk                   | 775      | 1.029    | 1,9              | 33.068.961                                             |
| Gol 7A1   | 11.2 Truk 3 sumbu-berat     | 64       | 85       | 11,7             | 16.816.324                                             |
| Gol 7A2   | 1.22 Truk 3 sumbu-berat     | 331      | 439      | 14,6             | 108.529.072                                            |
| Gol 7c1   | 1.2-22 Truk 4 sumbu-berat   | 189      | 251      | 11,2             | 47.538.456                                             |
| Gol 7C2A  | 1.22-22 Truk 5 sumbu-berat  | 7        | 9        | 9,1              | 1.430.555                                              |
| Gol 7C2B  | 1.2-222 Truk 5 sumbu-berat  | 89       | 118      | 14,0             | 27.982.292                                             |
| Gol 7C3   | 1.22-222 Truk 6 sumbu-berat | 142      | 188      | 20,7             | 66.012.158                                             |
| CESAL     |                             |          |          |                  | 325.742.175                                            |

Tabel 4.51: Perhitungan ESAL dengan umur rencana 30 tahun (hasil perhitungan)

| Kendaraan | Konfigurasi Sumbu & type    | LHR 2019 | LHR 2025 | VDF Kaku Faktual | ESAL Beban Faktual 2025 - 2055                         |
|-----------|-----------------------------|----------|----------|------------------|--------------------------------------------------------|
|           |                             |          | a        | b                | $a \times b \times D_D \times D_L \times 365 \times R$ |
| Gol 5B    | 1.2 Bus besar               | 280      | 372      | 3,4              | 11.903.521                                             |
| Gol 6A    | 1.1L Truk                   | 443      | 588      | 0,3              | 1.661.741                                              |
| Gol 6B    | 1.2H Truk                   | 775      | 1.029    | 1,9              | 18.411.696                                             |
| Gol 7A1   | 11.2 Truk 3 sumbu-berat     | 64       | 85       | 11,7             | 9.362.769                                              |
| Gol 7A2   | 1.22 Truk 3 sumbu-berat     | 331      | 439      | 14,6             | 60.425.372                                             |
| Gol 7c1   | 1.2-22 Truk 4 sumbu-berat   | 189      | 251      | 11,2             | 26.467.828                                             |
| Gol 7C2A  | 1.22-22 Truk 5 sumbu-berat  | 7        | 9        | 9,1              | 796.486                                                |
| Gol 7C2B  | 1.2-222 Truk 5 sumbu-berat  | 89       | 118      | 14,0             | 15.579.608                                             |
| Gol 7C3   | 1.22-222 Truk 6 sumbu-berat | 142      | 188      | 20,7             | 36.753.371                                             |
| CESAL     |                             |          |          |                  | 181.362.392                                            |

Tabel 4.52: Perhitungan ESAL dengan umur rencana 20 tahun (hasil perhitungan)

| Kendaraan | Konfigurasi Sumbu & type | LHR 2019 | LHR 2025 | VDF Kaku Faktual | ESAL Beban Faktual 2025 - 2045                         |
|-----------|--------------------------|----------|----------|------------------|--------------------------------------------------------|
|           |                          |          | a        | b                | $a \times b \times D_D \times D_L \times 365 \times R$ |
| Gol 5B    | 1.2 Bus besar            | 280      | 372      | 3,4              | 5.990.918                                              |
| Gol 6A    | 1.1L Truk                | 443      | 588      | 0,3              | 836.337                                                |
| Gol 6B    | 1.2H Truk                | 775      | 1.029    | 1,9              | 9.266.414                                              |

Tabel 4.53: *Lanjutan*

| Kendaraan | Konfigurasi Sumbu & type    | LHR 2019 | LHR 2025 | VDF Kaku Faktual | ESAL Beban Faktual 2025 - 2045                         |
|-----------|-----------------------------|----------|----------|------------------|--------------------------------------------------------|
|           |                             |          | a        | b                | $a \times b \times D_D \times D_L \times 365 \times R$ |
| Gol 7A1   | 11.2 Truk 3 sumbu-berat     | 64       | 85       | 11,7             | 4.712.184                                              |
| Gol 7A2   | 1.22 Truk 3 sumbu-berat     | 331      | 439      | 14,6             | 30.411.459                                             |
| Gol 7c1   | 1.2-22 Truk 4 sumbu-berat   | 189      | 251      | 11,2             | 13.320.982                                             |
| Gol 7C2A  | 1.22-22 Truk 5 sumbu-berat  | 7        | 9        | 9,1              | 400.863                                                |
| Gol 7C2B  | 1.2-222 Truk 5 sumbu-berat  | 89       | 118      | 14,0             | 7.841.054                                              |
| Gol 7C3   | 1.22-222 Truk 6 sumbu-berat | 142      | 188      | 20,7             | 18.497.588                                             |
| CESAL     |                             |          |          |                  | 91.277.798                                             |

#### 4.2.5. *Reliability*

Berdasarkan Tabel 2.23, untuk klasifikasi jalan bebas hambatan dan jalan antar kota, maka rekomendasi tingkat reliabilitasnya adalah 80% – 99,9%. Oleh karena itu, untuk Ruas Tol Serbelawan - Pematang Siantar, nilai reliabilitasnya adalah 90%. Berdasarkan Tabel 2.24, dengan nilai reliabilitas (R) 90%, maka untuk nilai simpangan baku atau *Standard normal deviation* ( $Z_R$ ) adalah -1,282. Berdasarkan Tabel 2.26, untuk standar deviasi keseluruhan ( $S_o$ ) adalah 0,35

#### 4.2.6. *Serviceability*

Penetapan parameter *serviceability*:

1. *Initial serviceability (rigid pavement)* : 4,5
2. *Terminal serviceability index jalur utama (major highways)* : 2,5
3. *Total loss of serviceability*

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_t$$

$$\Delta\text{PSI} = 4,5 - 2,5$$

$$\Delta\text{PSI} = 2,0$$

#### 4.2.7. Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)

Penentuan modulus reaksi tanah dasar didapat dari ketentuan CBR tanah dasar.

Untuk: CBR = 6,3%

$$M_R = 1.500 \times \text{CBR}$$

$$M_R = 1.500 \times 6,3\%$$

$$M_R = 9450 \text{ pci}$$

Maka nilai k adalah sebagai berikut;

$$K = \frac{M_R}{19,4}$$

$$K = \frac{9450}{19,4}$$

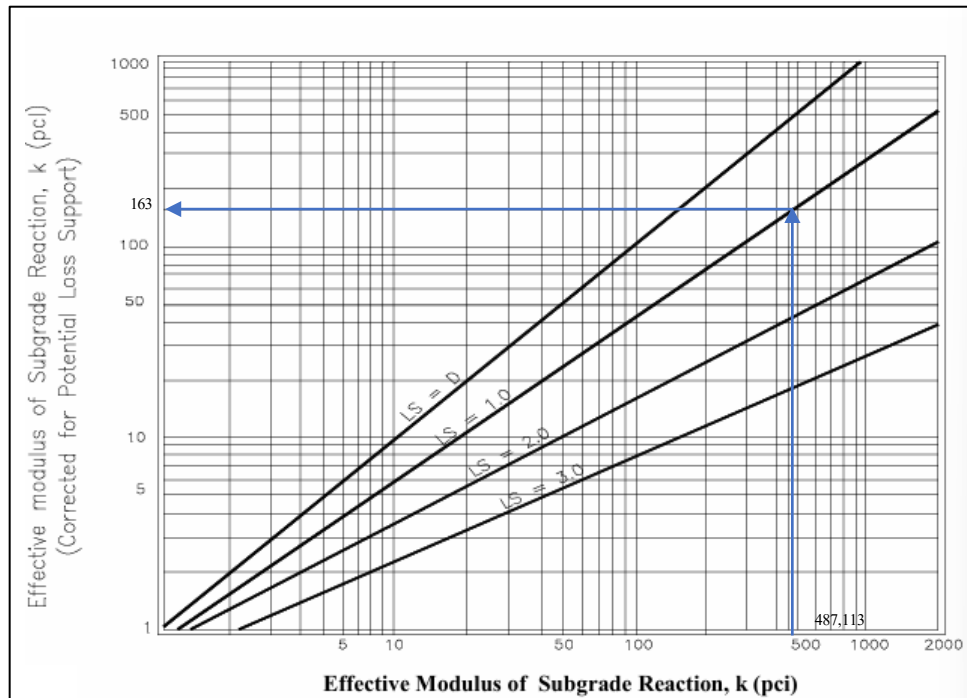
$$K = 487,113 \text{ pci}$$

Kemudian untuk faktor *Loss of Support* (LS) seperti pada Tabel 2.27, untuk *subbase* dengan material *cement aggregate mixtures*, maka:

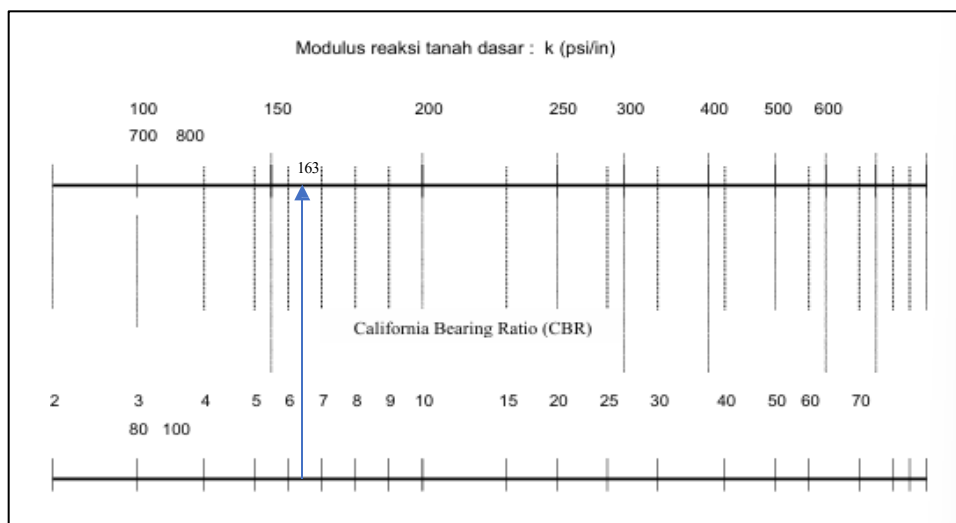
$$E = 500.000 - 1.000.000 \text{ psi (diambil 500.000 psi)}$$

$$\text{LS} = 1$$

Untuk koreksi *Effective Modulus of Subgrade Reaction* (k) dengan hubungan terhadap LS dapat menggunakan grafik di bawah ini.



Gambar 4.2 Grafik nilai k, pci (AASHTO 1993)



Gambar 4.3 Grafik koreksi nilai k, pci (AASHTO 1993)

Dari hasil grafik yang telah dibuat, maka nilai *effective modulus od subgrade reaction* (k) adalah sebagai berikut:

$$k = 163 \text{ pci}$$

#### 4.2.8. Flexural Strength (Sc')

*Flexural strength (modulus of rupture) : Sc' = 45 kg/cm<sup>2</sup> = 640 psi*

$$Sc' = \left( \frac{2,205}{(1/2,54)^2} \right) \times 45$$

$$Sc' = 640 \text{ psi}$$

#### 4.2.9. Modulus Elastisitas Beton (Ec)

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 14,22 \text{ psi}$$

$$350 \text{ kg/cm}^2 = 4977$$

$$E_c = 57.000 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 57.000 \sqrt{4977}$$

$$E_c = 4.021.228 \text{ psi}$$

#### 4.2.10. Load Transfer (J)

Tabel 4.54: *Load tranfer* (AASHTO 1993)

| <i>Shoulder</i>                             | <i>Asphalt</i> |           | <i>Tied P.C.C</i> |           |
|---------------------------------------------|----------------|-----------|-------------------|-----------|
| <i>Load Transfer Devices</i>                | <i>Yes</i>     | <i>No</i> | <i>Yes</i>        | <i>No</i> |
| <i>Pavement Type</i>                        |                |           |                   |           |
| <i>Plain Jointed and Jointed reinforced</i> | 3,2            | 3,8 – 4,4 | 2,5 – 3,1         | 3,6 – 4,2 |
| CRCP                                        | 2,9 – 3,2      | N/A       | 2,3 – 2,9         | N/A       |

$$\text{Load transfer (J)} = 2,5$$

#### 4.2.11. *Drainage Coefficient (Cd)*

Untuk menentukan nilai koefisien drainase (Cd), didukung oleh data curah hujan pada wilayah Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar, yaitu Kabupaten Simalungun tahun 2019. Data tersebut diperoleh dari publikasi Kabupaten Simalungun Dalam Angka 2020 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun (Badan Pusat Statistik, 2020).

| <b>Tabel 1.2.3 Curah Hujan, Hari Hujan dan Hari Terpanjang Tanpa Hujan, 2019</b><br><i>Table Rainfall, Rainy Day and Longest Days Without Rain, 2019</i> |                                      |                                 |                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Bulan/Month</b>                                                                                                                                       | <b>Curah Hujan<br/>Rainfall (mm)</b> | <b>Hari Hujan<br/>Rainy day</b> | <b>Hari Terpanjang Tanpa Hujan<br/>Longest Days Without Rain</b> |
| (1)                                                                                                                                                      | (2)                                  | (3)                             | (4)                                                              |
| Januari/January                                                                                                                                          | 222                                  | 15                              | 5                                                                |
| Februari/February                                                                                                                                        | 258                                  | 16                              | 3                                                                |
| Maret/March                                                                                                                                              | 380                                  | 20                              | 3                                                                |
| April/April                                                                                                                                              | 345                                  | 18                              | 2                                                                |
| Mei/May                                                                                                                                                  | 364                                  | 20                              | 2                                                                |
| Juni/June                                                                                                                                                | 172                                  | 13                              | 7                                                                |
| Juli/July                                                                                                                                                | 191                                  | 6                               | 10                                                               |
| Agustus/August                                                                                                                                           | 199                                  | 10                              | 6                                                                |
| September/September                                                                                                                                      | 73                                   | 14                              | 5                                                                |
| Oktober/October                                                                                                                                          | 395                                  | 17                              | 4                                                                |
| November/November                                                                                                                                        | 171                                  | 17                              | 4                                                                |
| Desember/December                                                                                                                                        | 180                                  | 15                              | 5                                                                |

Sumber: Stasiun Klimatologi Deli Serdang Pengamatan di PPKS Marihat  
Source: Deli Serdang Observation Climatology Station in PPKS Marihat

Gambar 4.4 Data curah hujan (BPS Simalungun, 2020)

### 1. Penetapan Variabel Proses Perkerasan Terkena Air

Terdapat pendekatan yang dapat digunakan untuk mengasumsikan kondisi struktur perkerasan selama 1 (satu) tahun terkena air sampai tingkat *saturated*. Berdasarkan Tabel 2.29, koefisien aliran (C) untuk jalan beton ialah antara 0,80 – 0,95. Maka,

diambil nilai C adalah 0,875. Prosen struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air dapat dilakukan pendekatan dengan asumsi sebagai berikut:

Hari hujan dalam 1 tahun ( $T_{\text{hari}}$ ) = 181 hr/thn

Durasi hujan/hari ( $T_{\text{jam}}$ ) = 3 jam/hr

$W_L = 100 - C = 100\% - 87,5\% = 12,50\%$

$$P_{\text{heff}} = \frac{T_{\text{jam}}}{24} \times \frac{T_{\text{hari}}}{365} \times W_L \times 100$$

$$P_{\text{heff}} = \frac{3}{24} \times \frac{181}{365} \times 0,125 \times 100$$

$$P_{\text{heff}} = 0,775 \% > 1\%$$

Sehingga, dengan dasar teknis dan pendekatan di atas, maka dapat digunakan presentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat *saturated* sebesar  $>1\%$

## 2. Penetapan Variabel Mutu Drainase

Rata – rata terjadi hujan selama 3 jam per hari dan jarang sekali terjadi hujan terus menerus selama 1 minggu, maka durasi 1 hari dan setidak – tidaknya 1 minggu pada Tabel 2.28 dapat diambil sebagai pendekatan dalam penentuan kualitas drainase (*Quality of Drainage*) : Baik (*Good*).

## 3. Penetapan *Drainage Coefficient*

Prosen struktur perkerasan dalam 1 tahun terkena air sampai tingkat *saturated* :  $< 1\%$ , dengan mutu drainase : *Good*. Berdasarkan Tabel 2.30, maka nilai  $C_d = 1,15 - 1,20$  (diambil 1,175).

### 4.2.13. Penentuan Tebal Pelat (D)

Parameter yang digunakan dalam persamaan ini dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4.55: Parameter perencanaan (hasil perhitungan)

| No | Parameter                            | Satuan             | Desain    |
|----|--------------------------------------|--------------------|-----------|
| 3  | <i>Initial serviceability</i>        | Po                 | 4,5       |
| 4  | <i>Terminal serviceability index</i> | Pt                 | 2,5       |
| 5  | <i>Serviceability loss</i>           | ΔPSI               | 2         |
| 6  | <i>Reliability</i>                   | R                  | 90        |
| 7  | Standar normal deviasi               | Zr                 | -1,282    |
| 8  | Standar deviasi                      | So                 | 0,35      |
| 9  | CBR tanah dasar                      | %                  | 6,3       |
| 10 | Modulus Resilien                     | MR                 | 9450      |
| 11 | Tebal lean concrete (LC)             | cm                 | 10        |
| 12 | <i>Modulus of subgrade reaction</i>  | k                  | 487       |
| 13 | <i>Loss of support</i>               | LS                 | 1         |
| 14 | k koreksi                            | pci                | 163       |
| 15 | <i>Flexural strength S'c</i>         | kg/cm <sup>2</sup> | 45        |
| 16 | <i>Flexural strength S'c</i>         | psi                | 640       |
| 17 | Modulus Elastisitas beton            | psi                | 4.021.227 |
| 18 | <i>Drainage coefficient</i>          | Cd                 | 1,175     |
| 19 | <i>Load transfer coefficient</i>     | J                  | 2,5       |

1. Umur beban lalu lintas rencana rencana 325.742.175 ESAL dan umur rencana 40 tahun.

Tebal pelat D = 13,2 inci = 33,5 cm

$$\log_{10}(W_{18}) = \underbrace{Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06}_{\text{blue line}} + \underbrace{\frac{\log_{10}[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}}}_{\text{orange line}}$$

$$+ \underbrace{(4,22 - 0,32 \times p_t)}_{\text{orange line}} \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{E_{cc}}{k})^{0,25}}]} \right]$$

$$\log_{10}(W_{18}) = -1,282 \times 0,35 + 7,35 \times \log_{10}(13,2 + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10}[\frac{2}{4,5-1,5}]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(13,2 + 1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \left[ \frac{640 \times 2,5 \times (13,2^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times 2,5 \times [13,2^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{4.298.873}{163})^{0,25}}]} \right]$$

$$\log_{10}(W_{18}) = 7,961 + 3,244 \times 0,171$$

$$\log_{10}(W_{18}) = 8,514$$

$$W_{18} = 10^{8,514}$$

$$W_{18} = 326.816.529$$

Karena nilai kapasitas beban desain  $326.816.529 \text{ ESAL} > 325.742.175 \text{ ESAL}$  untuk beban lalu lintas rencana, maka tebal pelat beton 33,5 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain (OK).

2. Umur beban lalu lintas rencana rencana 181.362.392 ESAL dan umur rencana 30 tahun.

Tebal pelat  $D = 12,1 \text{ inci} = 30,734 \text{ cm}$  (dibulatkan 31 cm)

$$\log_{10}(W_{18}) = \underbrace{Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06}_{\text{blue line}} + \underbrace{\frac{\log_{10}[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}}}_{\text{orange line}}$$

$$+ \underbrace{(4,22 - 0,32 \times p_t)}_{\text{orange line}} \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{E_w}{k})^{0,25}}]} \right]$$

$$\log_{10}(W_{18}) = -1,282 \times 0,35 + 7,35 \times \log_{10}(12,1 + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10}[\frac{2}{4,5-1,5}]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(12,1 + 1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \left[ \frac{640 \times 2,5 \times (12,1^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times 2,5 \times [12,1^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{4.298.873}{163})^{0,25}}]} \right]$$

$$\log_{10}(W_{18}) = 7,703 + 3,245 \times 0,173$$

$$\log_{10}(W_{18}) = 8,264$$

$$W_{18} = 10^{8,264}$$

$$W_{18} = 183.720.935$$

Karena nilai kapasitas beban desain  $183.720.935 \text{ ESAL} > 181.362.392 \text{ ESAL}$  untuk beban lalu lintas rencana, maka tebal pelat beton 31 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain (OK).

3. Umur beban lalu lintas rencana rencana 91.277.798 ESAL dan umur rencana 20 tahun.

Tebal pelat D = 11 inci = 27,94 cm (dibulatkan 28 cm)

$$\log_{10}(W_{18}) = \underbrace{Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06}_{\text{blue line}} + \underbrace{\frac{\log_{10}[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}}}_{\text{orange line}}$$

$$+ \underbrace{(4,22 - 0,32 \times p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \times [D^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{E_{ur}}{k})^{0,25}}]} \right]}_{\text{green line}}$$

$$\log_{10}(W_{18}) = -1,282 \times 0,35 + 7,35 \times \log_{10}(11 + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10}[\frac{2}{4,5-1,5}]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(11+1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32 \times 2,5) \times \log_{10} \left[ \frac{640 \times 2,5 \times (11^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times 2,5 \times [11^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{4.298,873}{163})^{0,25}}]} \right]$$

$$\log_{10}(W_{18}) = 7,423 + 3,246 \times 0,176$$

$$\log_{10}(W_{18}) = 7,993$$

$$W_{18} = 10^{7,993}$$

$$W_{18} = 98.415.859$$

Karena nilai kapasitas beban desain 98.415.859 ESAL > 91.277.798 ESAL untuk beban lalu lintas rencana, maka tebal pelat beton 28 cm dinyatakan memenuhi persyaratan desain (OK).

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh tebal pelat beton sebesar 13,2 inci atau setara dengan 33,5 cm untuk umur rencana 40 tahun, 12,1 inci atau setara dengan 31 cm untuk umur rencana 30 tahun, serta 11 inci atau setara dengan 28 cm dengan umur rencana 20 tahun. Dalam metode AASHTO 1993, suatu desain perkerasan dinyatakan memenuhi persyaratan apabila kapasitas lalu lintas yang mampu dilayani oleh struktur perkerasan  $10^{W_{18}}$  lebih besar dari beban lalu lintas rencana (ESAL). Sehingga struktur perkerasan dinyatakan memenuhi persyaratan desain "OK".

#### 4.2.14. Desain *Dowel* dan *Tie Bar*

##### 1. *Dowel* (Ruji)

Untuk Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan tebal pelat (D): 13,2 inc maka berdasarkan Tabel 2.32.

Diameter = 1 ½ in = 3,81 cm = 38 mm

Panjang = 18 in = 45 cm = 450 mm

Jarak = 12 in = 30 cm = 300 mm

##### 2. *Tie Bars* (Batang Pengikat)

Untuk penentuan *Tie Bar*, peneliti berpedoman seperti pada buku *Ari Suryawan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*. Berdasarkan Tabel 2.33, sambungan memanjang untuk tebal pelat 13,2 in, didapatkan :

Diameter = 0,625 in  $\times$  2,54 = 1,58 cm dibulatkan ke 16 mm

Panjang = 30 in  $\times$  2,54 = 76,2 cm = 760 mm

Jarak = 48 in  $\times$  2,54 = 73,66 cm = 736,6 mm dibulatkan 75 cm

#### 4.3. Perbandingan Hasil Tebal Perkerasan Kaku Metode MDP 2024 dan AASHTO 1993

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, metode MDP 2024 menghasilkan tebal pelat beton sebesar 34 cm dengan nilai JSKN rencana  $1,14 \times 10^8$  dengan total *fatigue* 0,00% dan total erosi 91,25%, didominasi kelompok sumbu STdRG dengan total erosi 85,6% menunjukkan bahwa STdRG menjadi kontributor dominan terhadap potensi kerusakan erosi pada lapis fondasi. Dari hasil tersebut, nilai erosi masih di bawah batas maksimum 100% sehingga desain dinyatakan aman. Sementara itu, metode AASHTO 1993 menghasilkan tebal pelat beton sebesar 33,5 dengan nilai ESAL rencana  $3,26 \times 10^8$  dan kapasitas ESAL yang mampu dilayani sebesar  $3,27 \times 10^8$  yang lebih besar dari ESAL rencana, sehingga desain juga dinyatakan memenuhi persyaratan dengan umur rencana 40 tahun.

Perbedaan tebal antara kedua metode hanya sebesar 0,5 cm atau sekitar 1,5%, yang secara teknis terdapat perbedaan tetapi tidak terlalu signifikan. Perbedaan kecil ini terutama disebabkan oleh adanya  $L_{SF}$  1,2 dan analisis erosi pada metode MDP 2024 serta metode ini memiliki pendekatan mekanistik empiris terintegrasi yang mengkombinasikan analisis tegangan dan regangan dengan faktor *fatigue* dan erosi pada sambungan antar pelat, sedangkan metode AASHTO 1993 menggunakan koefisien drainase ( $C_d$ ) dan transfer beban ( $J$ ) yang memperkecil kebutuhan tebal pelat.

Berdasarkan analisis perbandingan, parameter utama yang mempengaruhi perbedaan hasil antara kedua metode adalah sebagai berikut:

1. *Load Safety Factor* ( $L_{SF}$ )

MDP 2024 menerapkan  $L_{SF}$  1,2 sedangkan AASHTO 1993 tidak menggunakannya.

2. Analisis Erosi

MDP 2024 melakukan analisis erosi eksplisit yang menjadi faktor pembatas desain sedangkan AASHTO 1993 tidak melakukan analisis erosi terpisah.

3. Koefisien Drainase dan Transfer Beban

Kedua parameter ini digunakan pada metode AASHTO 1993 untuk perhitungan tebal perkerasan kaku untuk memperkecil tebal pelat beton, sedangkan MDP 2024 tidak menggunakannya.

4. Pendekatan Tanah Dasar

MDP 2024 menggunakan CBR efektif (75%), sedangkan AASHTO 1993 menggunakan modulus reaksi tanah dasar  $k$  (163 pci).

5. Satuan Lalu Lintas

MDP 2024 menggunakan JSKN sedangkan AASHTO 1993 menggunakan ESAL (VDF sebagai faktor pengali untuk mencari beban lalu lintas).

Meskipun terdapat perbedaan, kedua metode dinyatakan memenuhi persyaratan desain dan layak digunakan, dengan MDP 2024 lebih direkomendasikan sebagai pedoman utama karena merupakan pedoman resmi Bina Marga yang sesuai dengan kondisi Indonesia.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan tebal perkerasan kaku pada Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat Ruas Serbelawan – Pematang Siantar didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan tebal lapis perkerasan kaku dengan metode MDP 2024 diperoleh desain perkerasan beton semen sebagai berikut:

- a. Tebal pelat beton 34 cm;
- b. Lapis beton kurus (LC) 15 cm;
- c. Lapis *drainage* (LFA kelas A) 15 cm; dan
- d. Sambungan dengan *dowel* dan *tie bars*

Metode MDP menghasilkan nilai JSKN rencana sebesar  $1,14 \times 10^8$ , total *fatigue* 0% dan total erosi  $91,25\% > 100\%$ , sehingga desain dinyatakan aman dengan umur rencana 40 tahun.

2. Dari hasil perhitungan tebal lapis perkerasan kaku dengan metode AASHTO 1993 diperoleh tebal pelat beton sebesar 33,5 cm, lapis beton kurus 15 cm dan lapis fondasi agregat 15 cm dengan nilai ESAL rencana  $3,26 \times 10^8$  dan kapasitas ESAL yang mampu dilayani sebesar  $3,27 \times 10^8$  yang lebih besar dari ESAL rencana, sehingga desain juga dinyatakan memenuhi syarat dengan umur rencana 40 tahun.

3. Berdasarkan hasil perbandingan, MDP 2024 menghasilkan tebal pelat beton sebesar 34 cm, 32 cm, dan 30 cm untuk umur rencana berturut – turut 40, 30, dan 20 tahun. Sementara itu, metode AASHTO 1993 menghasilkan tebal pelat sebesar 33,5 cm, 31 cm, dan 28 cm. Perbedaan hasil kedua metode relatif kecil, khususnya pada umur rencana 40 tahun yang hanya berbeda 0,5 cm. Selain itu, hasil perencanaan untuk umur rencana 20 tahun memiliki ketebalan yang lebih mendekati kondisi perkerasan eksisting di lapangan, yaitu 27 cm.

4. Perbedaan tebal pelat yang tidak terlalu signifikan antara metode MDP 2024 dan AASHTO 1993 ini disebabkan oleh adanya  $L_{SF}$  1,2 dan analisis erosi pada metode MDP 2024, serta penggunaan koefisien drainase dan transfer beban pada AASHTO 1993. Umur rencana 40 tahun juga mencari faktor penting karena memperbesar akumulasi beban lalu lintas secara signifikan pada kedua metode melalui faktor pertumbuhan kumulatif ( $R = 115,90$ ) Meskipun demikian, kedua metode dinyatakan memenuhi persyaratan desain dan layak digunakan sebagai acuan perencanaan . MDP 2024 lebih direkomendasikan sebagai pedoman utama karena merupakan pedoman resmi Bina Marga yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

## **5.2. Saran**

Untuk perencanaan perkerasan kaku di Indonesia, terutama pada jalan tol dengan lalu lintas berat, disarankan menggunakan MDP 2024 sebagai pedoman utama karena telah disesuaikan dengan kondisi lalu lintas dan karakteristik material di Indonesia, sedangkan AASHTO 1993 dapat digunakan sebagai metode pembandingan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan perhitungan dengan bantuan perangkat lunak, seperti AASHTOWare atau KENPAVE serta penyesuaian parameter MDP 2024 agar mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993) *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Almufid, Haq, S., & Silwanus. (2020). Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku dengan Menggunakan Metode Bina Marga 04/Se/Db/2017 dan Metode AASHTO 1993. *Jurnal Teknik*, 9(Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku dengan Menggunakan Metode Bina Marga 04/Se/Db/2017 dan Metode AASHTO 1993), 34–43.
- Anggie, A. (2022). *Kajian Tebal Lapis Perkerasan Kaku Pada pelebaran Jalan Tol Jakarta - Cikampek Berdasarkan Metode AASHTO 1993 Dan MDP 2017*.
- Bina Marga. (2003). *Pd T - 14- 2003:07 Perencanaan Perkerasan Beton Semen*.
- Bina Marga. (2021). *Pedoman Desain Geometrik Jalan Nomor 13/P/BM/2021*. (Pedoman Desain Geometrik Jalan Nomor 13/P/BM/2021).
- Bina Marga, M. D. P. J. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*.
- Carlina, S., Despa, D., & Purba, A. (2024). *Perencanaan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 Pada Ruas Jalan Sutan Syahrir Kota Metro*.
- Chua, B., & Nepal, K. (2025). A Review of the Performance Criteria and Key Design Input Parameters for Jointed Plain Concrete Pavements. *American Journal of Civil Engineering*, 13(3), 165–184. <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20251303.15>
- Clinton, R., Soares, C., & Budiarnaya, P. (2020). *Analisis Pengaruh Daya Dukung Tanah Terhadap Indek Tebal Perkerasan Jalan Menggunakan Metode Bina Marga* (Vol. 3, Number 1).
- Farhan, A. M., Rizka, M., Amrozi, F., & Siswosukarto, S. (n.d.). *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Perancangan Tebal Perkerasan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 Studi Kasus Jalan Yogyakarta-Bakulan*.
- Firgiansyah, E., Prihantono, P., & Daryati, D. (2022). *Comparative Study Of Rigid Pavement Planning Using Bina Marga 2017 And AASHTO 1993 Methods*. *Jurnal PenSil*, 11(1), 78–91. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v11i1.24199>
- Habibi, A. F., Sumina, & Yuono, T. (2023). *Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Ruas Jalan Raya Bekonang-Sukoharjo Dengan Menggunakan Metode AASHTO 1993*, 1–11.
- Kosim, K., Fikri, J., Indra, S., Rizky Amalia, K., Puspita Sari, I., & Prasetya, Y. (2022). *Design of Geometric and Rigid Pavement Thickness on Jalan Lingkar*

*Barat Sp. Sports Center-Bukit Sulap STA 0+100-STA 7+583 Lubuklinggau City, South Sumatera Province.*

Mcdonald, D. B., & Faci, P. E. (n.d.). *Sustainability of Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) Containing Recycled Aggregate and Epoxy-Coated Reinforcing.*

Modul RDE-11. (2005). *Perencanaan Perkerasan Jalan.* (Perencanaan Perkerasan Jalan. Pusat Pembinaan Kompetensi dan Pelatihan Konstruksi Pusbin).

Noka, H. N. Z., Nurdin, A., & Abiyoga, N. P. (2025). The Influence of Subgrade CBR Value and Concrete Quality on Rigid Pavement Thickness (Case Study: Desa Simpang/Berbak to Simpang Ma. Sabak Road). *Jurnal Komposit*, 9(2), 457–464. <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i2.17343>

Pasaribu, H., & Simanullang, M. T. (2021). *Hubungan Kekuatan Tanah Dasar Dengan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement).* In *Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 1, Number 1).

Peraturan Pemerintah. (2006). *Peraturan Pemerintah Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan.*

Quezon, E. T., Ketema, Y., Quezon, T., & Kebede, G. (2016). *Cost and Benefit Analysis of Rigid and Flexible Pavement: A Case Study at Chancho Derba-Becho Road Project.* International Journal of Scientific & Engineering Research, 7(10). <http://www.ijser.org>

Rizal, R. S., Barkah Prihutomo, N., Wahyu, R., & Wimartama, P. (2024). *Cost and Thickness of Rigid Pavement using MDP 2017 and AASHTO 1993 Methods* (Vol. 23, Number 2).

Shinta, N. L. P., Kushartomo, W., & Varian. Mikhael. (2017). *Pengaruh Nilai CBR Tanah Dasar dan Mutu Beton Terhadap Tebal Pelat Perkerasan Kaku Metode Bina Marga. 1*(Pengaruh Nilai CBR Tanah Dasar dan Mutu Beton Terhadap Tebal Pelat Perkerasan Kaku Metode Bina Marga).

Suryawan, A. (2009). *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement).*

Undang - Undang. (2009). *Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 22Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Umum.*

Wibawa, I. P. C., Ariawan, I. M. A., & Winaya, P. K. (2025). Analisis Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993, Pd T–14–2003, dan MDP 2024. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 4(2), 118–132. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v4i2.7155>

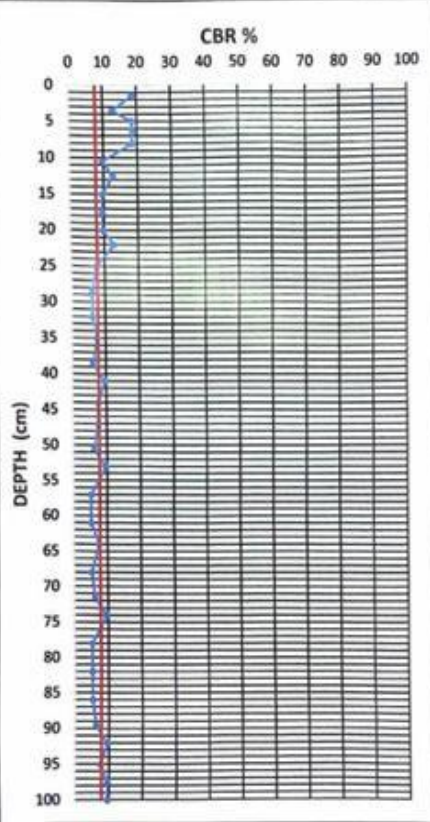
Wisastra, Y., Oetomo, W., & Marleno, R. (n.d.). *Cost Estimation Analysis of Construction and Periodic Maintenance for Flexible and Rigid Pavement Structures on Tulangan-Kludan Road.*

# **LAMPIRAN**

## DATA LHR PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SERBELAWAN – PEMATANG SIANTAR 2019

| No    | Ruas Jalan                         | Arah                  | Jumlah Kendaraan            |                                   |           |                |                       |                       |                       |                       |              |                       |                       |              |              |
|-------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|
|       |                                    |                       | Pick up dan mobil penumpang | Angkutan (opelet, combi, minibus) | Bus kecil | Bus besar      | Truk 2 sumbu (4 roda) | Truk 2 sumbu (6 roda) | Truk 3 sumbu (single) | Truk 3 sumbu (Tandem) | Truk 4 Sumbu | Truk 5 sumbu (Tandem) | Truk 5 sumbu (Triple) | Truk 6 Sumbu | Truk Gandeng |
| 1     | Jalan Asahan                       | Siantar - Perdagangan | 201                         | 231                               | 35        | 16             | 40                    | 48                    | 12                    | -                     | 4            | -                     | -                     | -            | -            |
|       |                                    | Perdagangan – Siantar | 190                         | 198                               | 32        | 14             | 42                    | 32                    | -                     | 38                    | 6            | 7                     | -                     | 12           | -            |
| 2     | Jalan Melanthon Siregar            | Siantar – Tanah Jawa  | 152                         | 133                               | 22        | 16             | 81                    | 110                   | -                     | 44                    | 6            | -                     | -                     | -            | -            |
|       |                                    | Tanah Jawa – Siantar  | 148                         | 164                               | 26        | 17             | 46                    | 173                   | -                     | 44                    | 6            | -                     | -                     | -            | -            |
| 3     | Pematang Siantar – Parapat         | Siantar – Parapat     | 88                          | 50                                | 42        | 62             | 30                    | 64                    | 12                    | 80                    | 64           | -                     | 54                    | 29           | -            |
|       |                                    | Parapat – Siantar     | 97                          | 51                                | 45        | 89             | 91                    | 79                    | -                     | 30                    | 45           | -                     | 4                     | 52           | -            |
| 4     | Jalan Seribu Dolok                 | Siantar – Raya        | 189                         | 112                               | 20        | 18             | 22                    | 41                    | -                     | 36                    | 18           | -                     | 11                    | 12           | -            |
|       |                                    | Raya – Siantar        | 120                         | 162                               | 18        | 12             | 18                    | 32                    | -                     | 39                    | 12           | -                     | 11                    | 12           | -            |
| 5     | Serdang Bedagai – Pematang Siantar | Siantar – T. Tinggi   | 216                         | 149                               | 38        | 4              | 29                    | 66                    | 20                    | -                     | 14           | -                     | 4                     | 14           | -            |
|       |                                    | T. Tinggi - Siantar   | 95                          | 132                               | 61        | 32             | 44                    | 110                   | 20                    | 20                    | 14           | -                     | 5                     | 11           | -            |
| TOTAL |                                    |                       | 1496                        | 1382                              | 339       | 280            | 443                   | 755                   | 64                    | 331                   | 189          | 7                     | 89                    | 142          | 0            |
|       |                                    |                       | 3217 kendaraan              |                                   |           | 3478 kendaraan |                       |                       | 822 kendaraan         |                       |              |                       |                       |              |              |
|       |                                    |                       | Kend. Ringan                |                                   |           | Kend. Sedang   |                       |                       | Kend. Berat           |                       |              |                       |                       |              |              |

## DATA DCP DAN CBR

|                                                                                                                   |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>PT. HUTAMA MARGA WASKITA</p> | <p><b>PEKERJAAN PEMBANGUNAN<br/>(DESIGN AND BUILD) JALAN<br/>TOL TEBING TINGGI –<br/>PEMATANG SIANTAR</b></p> |  <p>PT. MULTI - BINA KARYA, KSO</p>  <p>PT. HUTAMA KARYA (Persero)</p> |                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                      |
| <p><b><u>DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)</u></b></p>                                                              |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                      |
| <p>Date : 07/02/2024<br/>STA : 49+325 R2</p>                                                                      |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                      |
| <p><b>BLOW</b></p>                                                                                                | <p><b>READ</b></p>                                                                                            | <p><b>Difference</b></p>                                                                                                                                                                                                                     | <p><b>CBR (%)</b></p> | <p><b>h*<math>\text{cbr}^{1/3}</math></b></p>                                         | <div style="text-align: center;"> <p><b>CBR %</b></p>  </div> <p>Note : _____</p> |
|                                                                                                                   | <p>cm      mm</p>                                                                                             | <p>nce<br/>(mm)</p>                                                                                                                                                                                                                          |                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                      |
| 1                                                                                                                 | 2                                                                                                             | 3                                                                                                                                                                                                                                            | 4                     | 5                                                                                     | 6                                                                                                                                                                    |
| 0                                                                                                                 | 0,0                                                                                                           | 0                                                                                                                                                                                                                                            |                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                      |
| 1                                                                                                                 | 1,5                                                                                                           | 15                                                                                                                                                                                                                                           | 15                    | 18,6                                                                                  | 3,97                                                                                                                                                                 |
| 2                                                                                                                 | 3,5                                                                                                           | 35                                                                                                                                                                                                                                           | 20                    | 12,7                                                                                  | 4,67                                                                                                                                                                 |
| 3                                                                                                                 | 5,0                                                                                                           | 50                                                                                                                                                                                                                                           | 15                    | 18,6                                                                                  | 3,97                                                                                                                                                                 |
| 4                                                                                                                 | 6,5                                                                                                           | 65                                                                                                                                                                                                                                           | 15                    | 18,6                                                                                  | 3,97                                                                                                                                                                 |
| 5                                                                                                                 | 8,0                                                                                                           | 80                                                                                                                                                                                                                                           | 15                    | 18,6                                                                                  | 3,97                                                                                                                                                                 |
| 6                                                                                                                 | 10,5                                                                                                          | 105                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 7                                                                                                                 | 12,5                                                                                                          | 125                                                                                                                                                                                                                                          | 20                    | 12,7                                                                                  | 4,67                                                                                                                                                                 |
| 8                                                                                                                 | 15,0                                                                                                          | 150                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 9                                                                                                                 | 17,5                                                                                                          | 175                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 10                                                                                                                | 20,0                                                                                                          | 200                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 11                                                                                                                | 22,0                                                                                                          | 220                                                                                                                                                                                                                                          | 20                    | 12,7                                                                                  | 4,67                                                                                                                                                                 |
| 12                                                                                                                | 25,0                                                                                                          | 250                                                                                                                                                                                                                                          | 30                    | 7,5                                                                                   | 5,87                                                                                                                                                                 |
| 13                                                                                                                | 28,5                                                                                                          | 285                                                                                                                                                                                                                                          | 35                    | 6,1                                                                                   | 6,40                                                                                                                                                                 |
| 14                                                                                                                | 32,0                                                                                                          | 320                                                                                                                                                                                                                                          | 35                    | 6,1                                                                                   | 6,40                                                                                                                                                                 |
| 15                                                                                                                | 35,0                                                                                                          | 350                                                                                                                                                                                                                                          | 30                    | 7,5                                                                                   | 5,87                                                                                                                                                                 |
| 16                                                                                                                | 38,5                                                                                                          | 385                                                                                                                                                                                                                                          | 35                    | 6,1                                                                                   | 6,40                                                                                                                                                                 |
| 17                                                                                                                | 41,0                                                                                                          | 410                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 18                                                                                                                | 44,0                                                                                                          | 440                                                                                                                                                                                                                                          | 30                    | 7,5                                                                                   | 5,87                                                                                                                                                                 |
| 19                                                                                                                | 47,0                                                                                                          | 470                                                                                                                                                                                                                                          | 30                    | 7,5                                                                                   | 5,87                                                                                                                                                                 |
| 20                                                                                                                | 50,5                                                                                                          | 505                                                                                                                                                                                                                                          | 35                    | 6,1                                                                                   | 6,40                                                                                                                                                                 |
| 21                                                                                                                | 53,0                                                                                                          | 530                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 22                                                                                                                | 57,0                                                                                                          | 570                                                                                                                                                                                                                                          | 40                    | 5,1                                                                                   | 6,90                                                                                                                                                                 |
| 23                                                                                                                | 61,0                                                                                                          | 610                                                                                                                                                                                                                                          | 40                    | 5,1                                                                                   | 6,90                                                                                                                                                                 |
| 24                                                                                                                | 64,0                                                                                                          | 640                                                                                                                                                                                                                                          | 30                    | 7,5                                                                                   | 5,87                                                                                                                                                                 |
| 25                                                                                                                | 68,0                                                                                                          | 680                                                                                                                                                                                                                                          | 40                    | 5,1                                                                                   | 6,90                                                                                                                                                                 |
| 26                                                                                                                | 71,5                                                                                                          | 715                                                                                                                                                                                                                                          | 35                    | 6,1                                                                                   | 6,40                                                                                                                                                                 |
| 27                                                                                                                | 74,0                                                                                                          | 740                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 28                                                                                                                | 78,0                                                                                                          | 780                                                                                                                                                                                                                                          | 40                    | 5,1                                                                                   | 6,90                                                                                                                                                                 |
| 29                                                                                                                | 82,0                                                                                                          | 820                                                                                                                                                                                                                                          | 40                    | 5,1                                                                                   | 6,90                                                                                                                                                                 |
| 30                                                                                                                | 86,0                                                                                                          | 860                                                                                                                                                                                                                                          | 40                    | 5,1                                                                                   | 6,90                                                                                                                                                                 |
| 31                                                                                                                | 89,5                                                                                                          | 895                                                                                                                                                                                                                                          | 35                    | 6,1                                                                                   | 6,40                                                                                                                                                                 |
| 32                                                                                                                | 92,0                                                                                                          | 920                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 33                                                                                                                | 95,0                                                                                                          | 950                                                                                                                                                                                                                                          | 30                    | 7,5                                                                                   | 5,87                                                                                                                                                                 |
| 34                                                                                                                | 97,5                                                                                                          | 975                                                                                                                                                                                                                                          | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
| 35                                                                                                                | 100,0                                                                                                         | 1000                                                                                                                                                                                                                                         | 25                    | 9,5                                                                                   | 5,30                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                   |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              | 1000                  |                                                                                       | 197,9                                                                                                                                                                |
| <p>CBR Value (%)</p>                                                                                              |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                       | 7,75                                                                                  |                                                                                                                                                                      |
| <p>Witnessed By :</p>                                                                                             |                                                                                                               | <p>Checked &amp; Approved By :</p>                                                                                                                                                                                                           |                       | <p>Tested By :</p>                                                                    |                                                                                                                                                                      |
| <p>PT. HUTAMA MARGA WASKITA</p>                                                                                   |                                                                                                               | <p>PT. MULTI - BINA KARYA, KSO</p>                                                                                                                                                                                                           |                       | <p>PT. HUTAMA KARYA (Persero)</p>                                                     |                                                                                                                                                                      |
|                                                                                                                   |                                                                                                               |                                                                                                                                                           |                       |  |                                                                                                                                                                      |

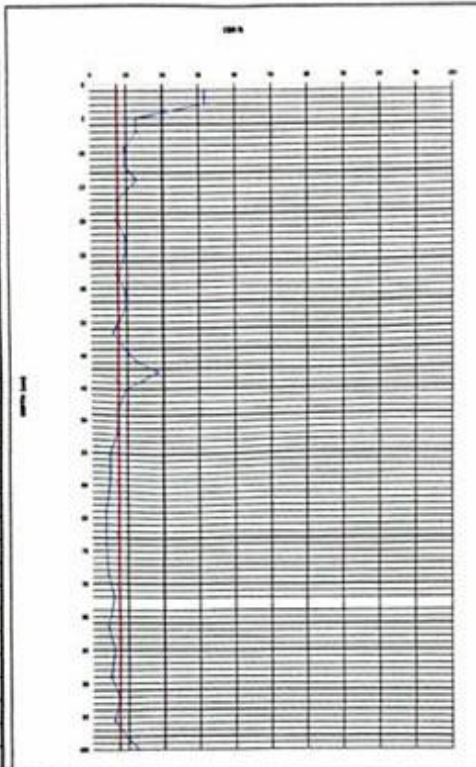






DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)

Date : 25/06/2024  
STA : 49+675 R.2

[illegible]

---

---

---

Approved By: \_\_\_\_\_  
 An official school signature

Checked & Accepted By:

Printed By: \_\_\_\_\_

Checked & Approved by  
 [Signature]  
 [Signature]

att  
M. P. Biero

DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)



PEKERJAAN PEMBANGUNAN (DESIGN AND BUILD) JALAN TOL TEBING  
TINGGI - PEMATANG SIANTAR

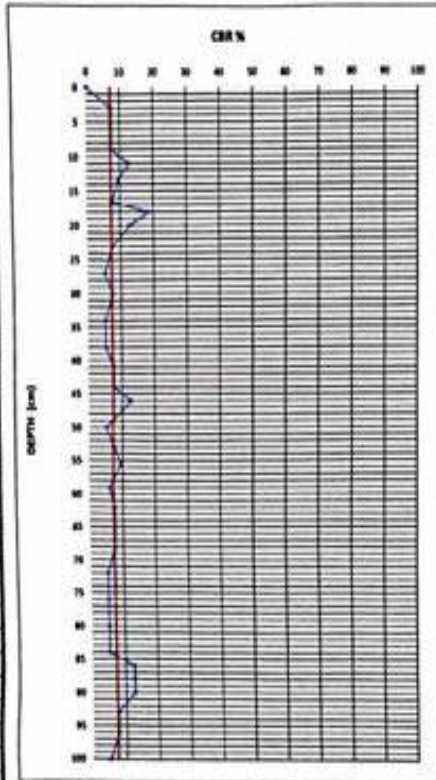


PT. MUTIARA BANGSA WAHANA  
KONSTRUKSI, PERENCANAAN, DAN PEMERIKSAAN

**DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)**

Date : 15/02/2024  
STA : 52+12! L1

| BLOW          | SDS    |      | Difference (mm) | CBR (%) | S <sub>60</sub> -1/3 |
|---------------|--------|------|-----------------|---------|----------------------|
|               | cm     | mm   |                 |         |                      |
| 0             | 0,0    | 0    | -               | -       | -                    |
| 1             | 3,0    | 30   | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 2             | 6,0    | 60   | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 3             | 9,0    | 90   | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 4             | 11,0   | 110  | 20              | 12,7    | 4,67                 |
| 5             | 13,5   | 135  | 25              | 9,5     | 5,30                 |
| 6             | 16,5   | 165  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 7             | 18,0   | 180  | 15              | 18,6    | 3,97                 |
| 8             | 20,0   | 200  | 20              | 12,7    | 4,67                 |
| 9             | 23,0   | 230  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 10            | 27,0   | 270  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 11            | 30,0   | 300  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 12            | 34,0   | 340  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 13            | 38,0   | 380  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 14            | 41,0   | 410  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 15            | 44,0   | 440  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 16            | 46,0   | 460  | 20              | 12,7    | 4,67                 |
| 17            | 50,0   | 500  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 18            | 53,0   | 530  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 19            | 55,5   | 555  | 25              | 9,5     | 5,30                 |
| 20            | 59,0   | 590  | 35              | 6,1     | 6,40                 |
| 21            | 62,0   | 620  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 22            | 65,0   | 650  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 23            | 68,0   | 680  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 24            | 72,0   | 720  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 25            | 76,0   | 760  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 26            | 80,0   | 800  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 27            | 84,00  | 840  | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| 28            | 86,00  | 860  | 20              | 12,7    | 4,67                 |
| 29            | 88,00  | 880  | 20              | 12,7    | 4,67                 |
| 30            | 90,00  | 900  | 20              | 12,7    | 4,67                 |
| 31            | 93,00  | 930  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 32            | 96,00  | 960  | 30              | 7,5     | 5,87                 |
| 33            | 100,00 | 1000 | 40              | 5,1     | 6,90                 |
| CBR Value (%) |        |      | 1000            | 7,21    | 193,2                |



Note :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Witnessed By :  
PT. MUTIARA BANGSA WAHANA

Checked & Approved By :  
PT. MUTIARA BANGSA WAHANA

Tested By :  
PT. MUTIARA BANGSA WAHANA

7/2

Carla  
M. P. L. L. L.



DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)



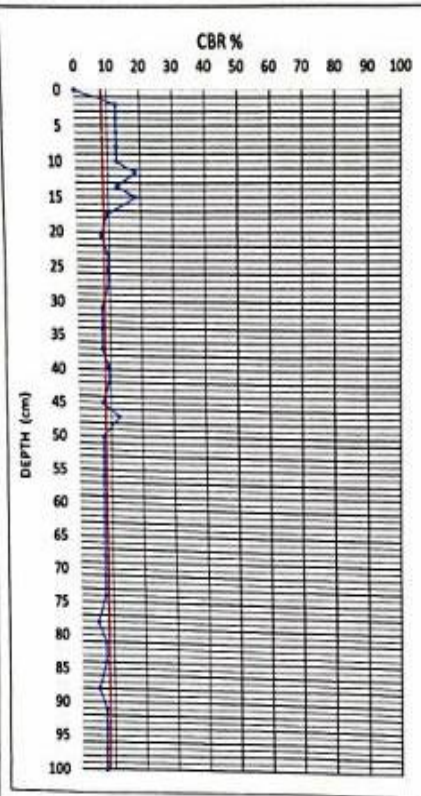
PEKERJAAN PEMBANGUNAN (DESIGN AND BUILD) JALAN TOL TEBING  
TINGGI - PEMATANG SIANTAR



**DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)**

Date : 22/02/2024  
STA : 52+225 L2

| BLOW          | READ   |      | Difference<br>(mm) | CBR<br>(%) | h*cb <sup>1/3</sup> |
|---------------|--------|------|--------------------|------------|---------------------|
|               | cm     | mm   |                    |            |                     |
| 1             | 2      | 3    | 4                  | 5          | 6                   |
| 0             | 0,0    | 0    | -                  | -          | -                   |
| 1             | 2,0    | 20   | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 2             | 4,0    | 40   | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 3             | 6,0    | 60   | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 4             | 8,0    | 80   | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 5             | 10,0   | 100  | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 6             | 11,5   | 115  | 15                 | 18,6       | 3,97                |
| 7             | 13,5   | 135  | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 8             | 15,0   | 150  | 15                 | 18,6       | 3,97                |
| 9             | 17,5   | 175  | 25                 | 9,5        | 5,30                |
| 10            | 20,5   | 205  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 11            | 23,0   | 230  | 25                 | 9,5        | 5,30                |
| 12            | 25,5   | 255  | 25                 | 9,5        | 5,30                |
| 13            | 28,0   | 280  | 25                 | 9,5        | 5,30                |
| 14            | 31,0   | 310  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 15            | 34,0   | 340  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 16            | 37,0   | 370  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 17            | 39,5   | 395  | 25                 | 9,5        | 5,30                |
| 18            | 42,0   | 420  | 25                 | 9,5        | 5,30                |
| 19            | 45,0   | 450  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 20            | 47,0   | 470  | 20                 | 12,7       | 4,67                |
| 21            | 50,0   | 500  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 22            | 53,0   | 530  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 23            | 56,0   | 560  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 24            | 59,0   | 590  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 25            | 62,0   | 620  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 26            | 65,0   | 650  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 27            | 68,0   | 680  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 28            | 71,00  | 710  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 29            | 74,00  | 740  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 30            | 78,00  | 780  | 40                 | 5,1        | 6,90                |
| 31            | 81,00  | 810  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 32            | 84,00  | 840  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 33            | 88,00  | 880  | 40                 | 5,1        | 6,90                |
| 34            | 91,00  | 910  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 35            | 94,00  | 940  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 36            | 97,00  | 970  | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| 37            | 100,00 | 1000 | 30                 | 7,5        | 5,87                |
| CBR Value (%) |        |      | 1000               | 8,44       | 203,6               |



Note : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

|                                              |                                                       |                                           |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Witnessed By :<br>PT. HUTAMA KARYA INDONESIA | Checked & Approved By :<br>PT. MULTI - BINA KARYA KSO | Tested By :<br>PT. HUTAMA KARYA (Persero) |
|                                              | <i>[Signature]</i>                                    | <i>[Signature]</i><br>M. PRIGONO          |



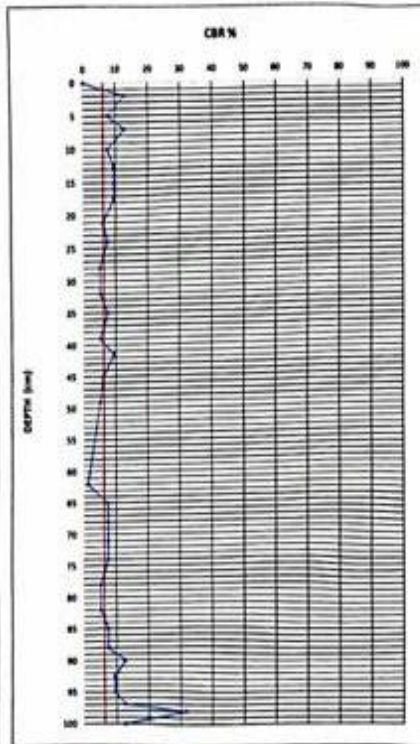
PEKERJAAN PEMBANGUNAN (DESIGN AND BUILD) JALAN TOL TEBING  
TINGGI - PEMATANG SIANTAR



DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)

Date : 15/02/2024  
STA : 52+225 L3

| BLOW          | READ   |      | Difference<br>(mm) | CBR<br>(%) | h* $\text{cbr}^{1/3}$ |
|---------------|--------|------|--------------------|------------|-----------------------|
|               | cm     | mm   |                    |            |                       |
| 1             | 2      | 3    | 4                  | 5          | 6                     |
| 0             | 0,0    | 0    | -                  | -          | -                     |
| 1             | 2,0    | 20   | 20                 | 12,7       | 4,67                  |
| 2             | 5,0    | 50   | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 3             | 7,0    | 70   | 20                 | 12,7       | 4,67                  |
| 4             | 10,0   | 100  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 5             | 12,5   | 125  | 25                 | 9,5        | 5,30                  |
| 6             | 15,0   | 150  | 25                 | 9,5        | 5,30                  |
| 7             | 17,5   | 175  | 25                 | 9,5        | 5,30                  |
| 8             | 21,0   | 210  | 35                 | 6,1        | 6,40                  |
| 9             | 24,0   | 240  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 10            | 28,0   | 280  | 40                 | 5,1        | 6,90                  |
| 11            | 32,0   | 320  | 40                 | 5,1        | 6,90                  |
| 12            | 35,0   | 350  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 13            | 39,0   | 390  | 40                 | 5,1        | 6,90                  |
| 14            | 41,5   | 415  | 25                 | 9,5        | 5,30                  |
| 15            | 45,0   | 450  | 35                 | 6,1        | 6,40                  |
| 16            | 49,0   | 490  | 40                 | 5,1        | 6,90                  |
| 17            | 62,0   | 620  | 130                | 1,1        | 13,38                 |
| 18            | 65,0   | 650  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 19            | 68,0   | 680  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 20            | 71,0   | 710  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 21            | 74,0   | 740  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 22            | 78,0   | 780  | 40                 | 5,1        | 6,90                  |
| 23            | 82,0   | 820  | 40                 | 5,1        | 6,90                  |
| 24            | 85,0   | 850  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 25            | 88,0   | 880  | 30                 | 7,5        | 5,87                  |
| 26            | 90,0   | 900  | 20                 | 12,7       | 4,67                  |
| 27            | 92,50  | 925  | 25                 | 9,5        | 5,30                  |
| 28            | 95,00  | 950  | 25                 | 9,5        | 5,30                  |
| 29            | 97,00  | 970  | 20                 | 12,7       | 4,67                  |
| 30            | 98,00  | 980  | 10                 | 31,7       | 3,16                  |
| 31            | 100,00 | 1000 | 20                 | 12,7       | 4,67                  |
| CBR Value (%) |        |      | 1000               | 6,28       | 184,5                 |



Note : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

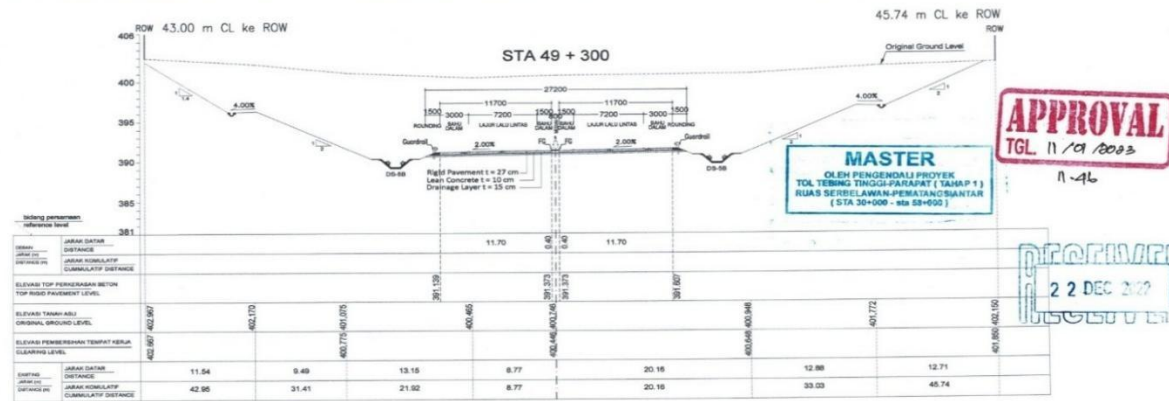
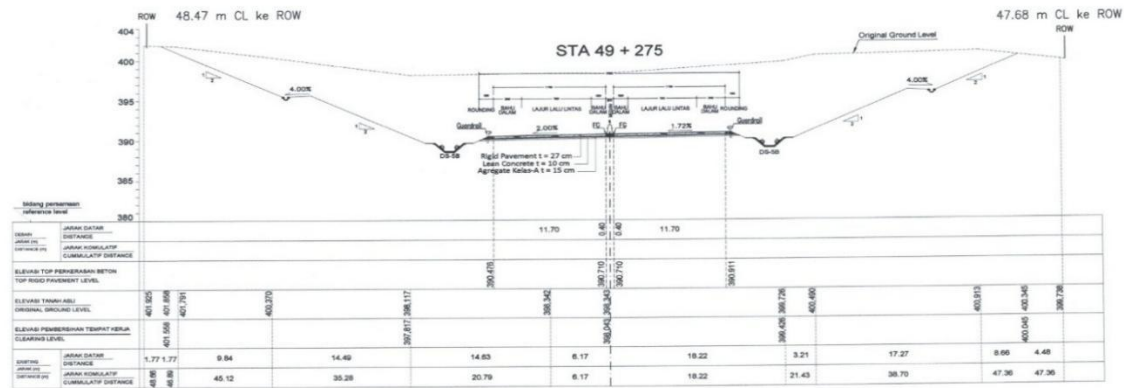
Witnessed By :  
PT. UTAMA MANDIRI PRASITA

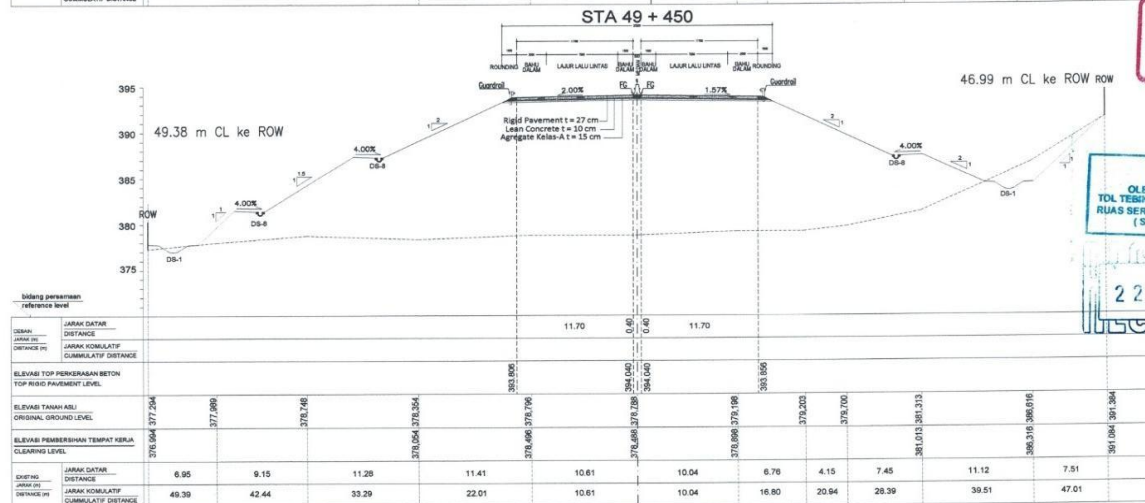
Checked & Approved By :  
PT. MUDA BINA KARYA SDN. BHD.

Tested By :  
PT. UTAMA KARYA (Private)

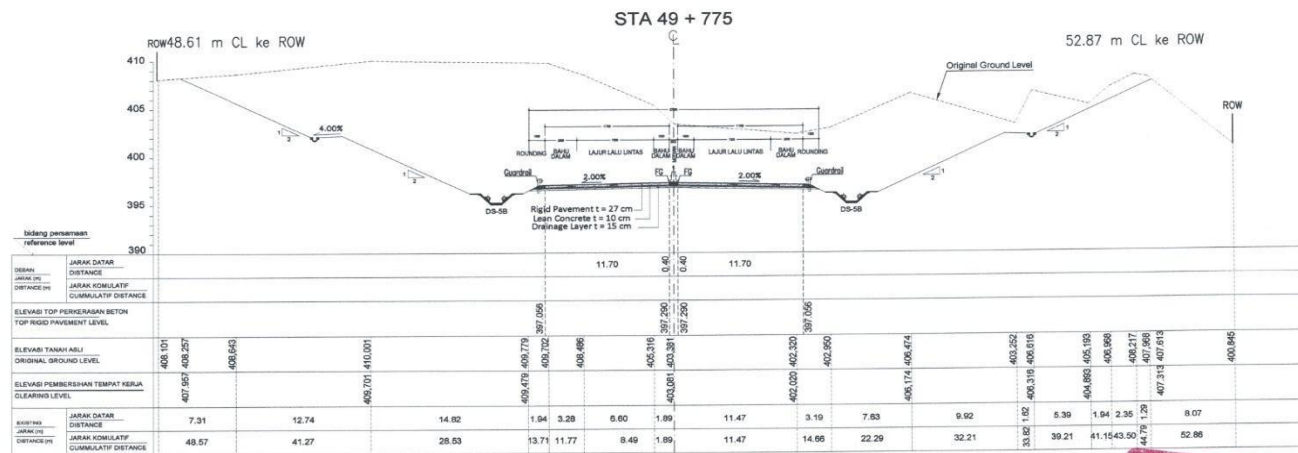
M. P. LOUO

## SHOP DRAWING

[illegible]

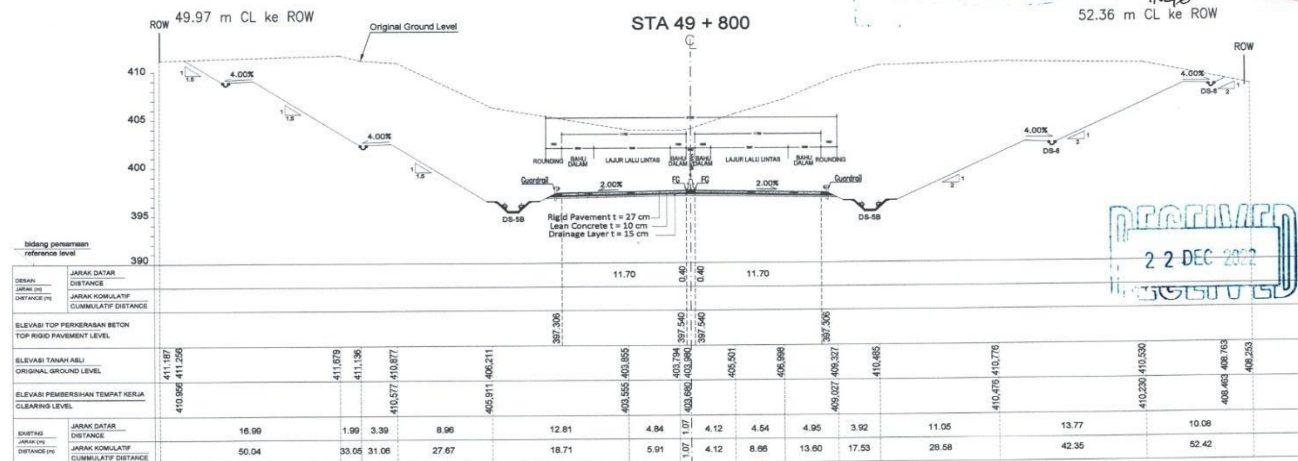


|                  |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|
|                  |  |  |  |  |
| REFERENSI GAMBAR |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |



MASTER  
OLEH PENGENDALI PROYEK  
TOL TEBING TINGGI-PARAPAT (TAHAP 1)  
RUAS SERBELAWAN-PEMATANGSIANTAR  
(STA 30+000 - STA 58+000)

APPROVAL  
TGL. 11/10/2023



## NAMA PROYEK

PEKERJAAN PEMBANGUNAN (DESIGN & BUILD)  
JALAN TOL TEBING TINGGI - PARAPAT (TAHAP 1)  
RUAS SERBELAWAN - PEMATANGSIANTAR  
(STA 30+000 - STA 58+000)  
TERMASUK SIMPANG SUSUN PEMATANGSIANTAR  
SIMPANG SUSUN RAYA

## SHOP DRAWING PEMBERI TUGAS



PT HUTAMA MARGA WASKITA

MENGETAHUI

EKA HATAMI TANJUNG, ST.  
PIMPINAN PROYEK

KONSULTAN PENGAWAS



PT. MULTI - BINA KARYA, KSO

Diperiksa/ditandatangani ENGINEER

Suheri, M.T.  
TEAM LEADER

KONTRAKTOR PELAKSANA



Inovasi untuk Solusi  
PT. HUTAMA KARYA (Persero)

Disiapkan: SEM  
Drafter: KURNIA DARQI  
DARYANTO, S.T.  
PROJECT MANAGER

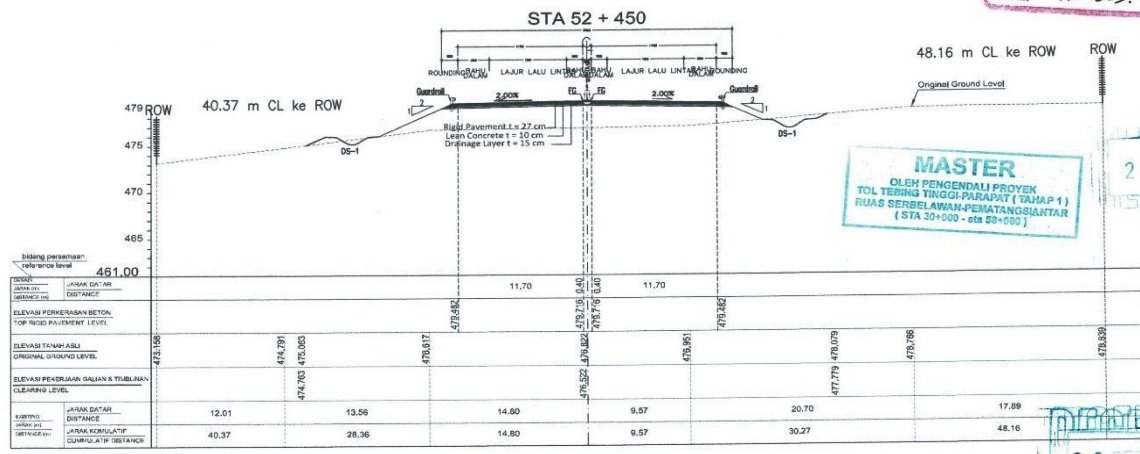
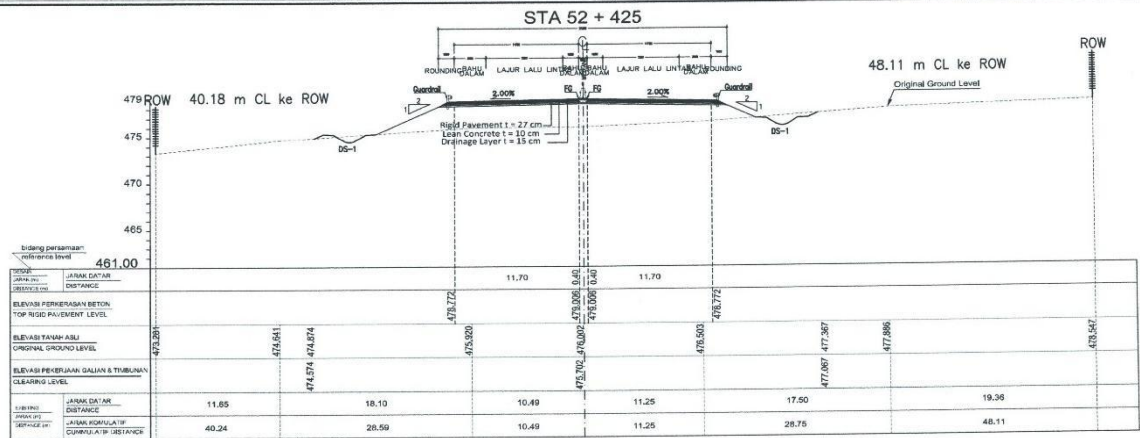
NO. TANGGAL. REVISI. KETERANGAN

JUDUL GAMBAR

CROSS SECTION  
PEKERJAAN PERKERASAN BETON  
STA 49+775 - STA 49+800

JUMLAH GAMBAR: 20  
HOMOR GAMBAR: TTP-009/437/REV.0  
SKALA: 1:400  
HALAMAN: 16 of 20

REFERENSI GAMBAR



APPROVAL

TGL. 28/12/2023

MASTER

OLEH PENGENDALI PROYEK  
TOL TERBES TIRGGI-PARAPAT (TAHAP 1)  
RUAS SERBELAWAN-PERATANGSIANTAR  
(STA 30+000 - STA 52+000)

**NAMA PROYEK**  
PEKERJAAN PEMBANGUNAN (DESIGN & BUILD)  
JALAN TOL TERBES TIRGGI - PARAPAT (TAHAP 1)  
RUAS SERBELAWAN - PEMATANG SIANTAR  
(STA. 30+000 - STA. 52+000)  
TERMASUK SEMPANG BULUN PEMATANG SIANTAR  
SIMPANG SUSUN RAYA

**SHOP DRAWING**  
PEMBERI TUGAS

**PT HUTAMA MARGA WASKITA**  
MENGETAHUI

IMAM JUNI SUTOWO  
REVISI/REVISI PROJEK

**KONSULTAN PENGAWAS**

**PT. MULTI - BINA KARYA, KSO**

Diperiksa/ditandatangani: ENGINEER

S. Suharti, M.T.  
TEAM LEADER R.

**KONTRAKTOR PELAKSANA**

**PT. HUTAMA KARYA (Persero)**  
Inovasi untuk Solusi

Dibuatkan: SEM

Diyanto, S.T.  
PROJECT MANAGER Drafter  
NUR AMBIAH KOBAL

| NO | TANGGAL | REVISI | KETERANGAN |
|----|---------|--------|------------|
|    |         |        |            |
|    |         |        |            |
|    |         |        |            |

**JUDUL GAMBAR**

CROSS SECTION  
PEKERJAAN PERKERASAN BETON  
STA 52+425- STA 52+450

| JUMLAH GAMBAR | NOMOR GAMBAR      | SKALA   | HALAMAN  |
|---------------|-------------------|---------|----------|
| 20            | TTP-009/496/REV.0 | 1 : 400 | 09 of 20 |

REFERENSI GAMBAR

28 DEC 2023

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : DIVIA ADELLINA  
**NPM** : 2407210171P  
**FAKULTAS** : TEKNIK SIPIL

| NO | HARI/TANGGAL | KETERANGAN                                      | PARAF              |
|----|--------------|-------------------------------------------------|--------------------|
|    | 13/11 - 2025 | Perbaiki Materi Penulisan & Isi Penulisan       | <i>[Signature]</i> |
|    | 11/12 - 2025 | Tambahkan teori pemodelan matematisnya          | <i>[Signature]</i> |
|    | 22/12 - 2025 | Fahami pemodelan / Teori pemodelan matematisnya | <i>[Signature]</i> |
|    | 29/12 - 2025 | Acc untuk seminar proposal                      | <i>[Signature]</i> |
|    | 19/05 - 2026 | Perbaiki Analisa                                | <i>[Signature]</i> |
|    | 8/7 - 2026   | Acc Seminar Hasil                               | <i>[Signature]</i> |
|    | 11/8 - 2026  | Acc Sidang                                      | <i>[Signature]</i> |

**DOSEN PEMBIMBING**

*[Signature]*  
(Andri, S.T., M.T.)

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### INFORMASI PRIBADI

Nama Lengkap : Divia Adellina  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Tempat dan Tanggal Lahir : Medan, 01 Januari 2004  
Alamat Rumah : Lingk. 1 Bahari Pekan, Kel.  
Martubung, Kec. Medan Labuhan  
Agama : Islam  
No Telepon / HP : 081379925864  
Alamat E-mail : diviaadlna@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 2407210171P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan, 20238

| No | Jenjang Pendidikan | Nama Sekolah                     | Tahun Ijazah |
|----|--------------------|----------------------------------|--------------|
| 1  | SD                 | SD Negeri 060948                 | 2015         |
| 2  | SMP                | SMP Negeri 7 Medan               | 2018         |
| 3  | SMA                | SMA Swasta Dharmawangsa<br>Medan | 2021         |
| 4  | Diploma III        | Politeknik Negeri Medan          | 2024         |