

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEKUATAN *BENDING* BAJA KARBON RENDAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN *SOFTWARE SOLIDWORK*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

LUDFY AMRU
1607230169



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

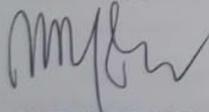
Nama : Ludfy Amru
NPM : 1607230169
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis Kekuatan Bending Baja karbon Rendah Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software (Solidwork)
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 17 April 2021

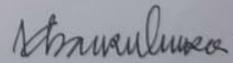
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



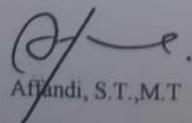
M. Yani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Khairul umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Affandi, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ludfy Amru
Tempat /Tanggal Lahir : Desa Lestari/12 July 1998
NPM : 1607230169
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“ANALISIS KEKUATAN *BENDING* BAJA KARBON RENDAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN *SOFTWARE SOLIDWORK*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil 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/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 11 April 2021

Saya yang menyatakan,



Ludfy Amru

ABTRAK

Mesin *bending* merupakan salah satu fasilitas industri yang cukup banyak digunakan dan sangat penting guna mencapai kinerja yang efisien. Pengujian *bending* juga dilakukan untuk mengetahui variasi mana yang menghasilkan material dengan kekuatan *bending* terbaik sehingga dapat diketahui kondisi operasi pelapisan nikel mana yang paling optimal. Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari pelapisan nikel terhadap kekuatan *bending* material, mengetahui tekanan geometri uji bending pada baja karbon rendah menggunakan (Software Solidwork). Dan mengetahui analisa geometri uji bending pada baja karbon rendah menggunakan Software Solidwork. Selain pengujian *bending* secara langsung, Pengujian *bending* juga dapat disimulasikan dengan *Software Solidwork*. Spesimen yang digunakan untuk melakukan perbandingan antara mesin *bending* dengan simulasi *bending Solidwork* ialah baja karbon rendah dengan standart ASTM D790. Hasil yang didapat dari pengujian *bending (Bending Testing)* yang telah di lakukan pada spesimen baja karbon rendah, diperoleh hasil yaitu *Maximum force* : 195,59 Kgf, *Break force* : 192,93 Kgf, *Tensile strength* : 1,30 Kgf/mm². Sementara hasil yang menggunakan elemen 2200 mendapat nilai tegangan : 4,191E+09 N/m², elemen 1956 nilai tegangan : 4,141E+09 N/m², elemen 1565 dengan nilai tegangan : 4,106E+09 N/m², elemen 1352 dengan nilai tegangan : 4,102E+09 N/m², elemen 1280 dengan nilai tegangan : 4,098E+09 N/m², dan elemen 1150 dengan nilai tegangan 4,086E+09. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen *bending* antara mesin *bending* dan simulasi menggunakan *Software Solidwork* dengan spesimen baja karbon rendah berstandarisasi ASTM D790 ialah nilai mesh yang didapat tidak jauh berbeda.

Kata kunci : *Bending, ASTM D790, Simulasi*

ABSTRACT

Bending machines are one of the most widely used industrial facilities and are very important in order to achieve efficient performance. Bending testing is also carried out to determine which variations produce the material with the best bending strength so that it can be seen which nickel plating operating conditions are the most optimal. The bending test is carried out to determine the effect of nickel plating on the bending strength of the material, to determine the geometric pressure of the bending test on low carbon steel using (Software Solidwork). And know the analysis of bending test geometry on low carbon steel using Solidwork Software. Apart from direct bending testing, bending testing can also be simulated with Solidwork Software. The specimens used to make comparisons between bending machines and Solidwork bending simulations are low carbon steel with the ASTM D790 standard. The results obtained from the bending test that has been carried out on low carbon steel specimens, obtained results, namely Maximum force: 195.59 Kgf, Break force: 192.93 Kgf, Tensile strength: 1.30 Kgf / mm². While the results using the 2200 element get a voltage value: 4.191E + 09 N / m², 1956 elements with a voltage value: 4.141E + 09 N / m², 1565 elements with a voltage value: 4.106E + 09 N / m², 1352 elements with a voltage value : 4,102E + 09 N / m², 1280 elements with a voltage rating: 4.098E + 09 N / m², and 1150 elements with a voltage value of 4.086E + 09. Based on the results of this study, it can be concluded that the results of the bending experiment between bending machines and simulations using Solidwork Software with ASTM D790 standardized low carbon steel specimens are that the obtained mesh values are not much different.

Keywords: Bending, ASTM D790, Simulation

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Kekuatan *Bending* Baja Karbon Rendah Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software (Solidwork) ”sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Affandi S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing sekaligus ketua program studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak M.Yani, S.T.,M.T selaku dosen penguji I yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T selaku dosen penguji II yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Jaimin dan Erna Yusmaini Pane, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Sahabat-sahabat penulis: Ahmad Sofyan, Fikri Ardianto, Andre Irfandi, Ludfy Amru, Rais SyahbanadiHarahap, Septian Fauzi dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 27 April 2021



Ludfy Amru

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABTRAK	iv
ABTRACH	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pengujian <i>Bending</i>	4
2.1.1. Pengertian Pengujian <i>Bending</i>	4
2.1.2. Uji Tekuk (<i>Bending Test</i>)	4
2.1.3. Skema Uji <i>Bending</i>	6
2.1.4. Metode Uji <i>Bending</i>	7
2.1.5. Faktor Yang Perlu Diperhatikan Dalam Uji <i>Bending</i>	8
2.1.6. Fenomena Yang Terjadi Pada Uji <i>Bending</i>	8
2.2. Metode Elemen Hingga	9
2.2.1. Pengertian Metode Elemen Hingga	9
2.2.2. Aplikasi Metode Elemen Hingga	11
2.2.3. Perkembangan Metode Elemen Hingga	12
2.2.4. Elemen Dua Dimensi	17
2.3. <i>Solidwork</i>	18
2.3.1. Pengertian <i>Solidwork</i>	18
2.3.2. Fungsi <i>Solidwork</i>	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu	21
3.1.1. Tempat	21
3.1.2. Waktu	21
3.2 Bahan dan Alat	22
3.2.1 Bahan	22

3.2.2	Alat	22
3.3	Bagan Alir Penelitian	25
3.4	Prosedur Penelitian	26
3.4.1	Pengumpulan Pustaka dan Merancang Spesimen Penelitian	26
3.4.2	Pemodelan dan Geometri Spesimen Uji <i>Bending</i> (ASTM D-790)	26
3.4.3	Simulasi Statik di Solid Works	27
3.4.4	Visualisasi Hasil Simulasi	27
3.3.5	Analisis Data dan Penulisan Tugas Akhir	31
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1	Hasil Pengujian Spesimen <i>Bending</i>	32
4.1.1	Hasil Uji <i>Bending</i> dengan Mesin Tensile Test	32
4.2	Pembahasan	33
4.2.1.	Hasil Eksperimen Uji <i>Bending</i>	33
4.2.2.	Hasil Simulasi	34
4.2.3.	Konsentrasi Tegangan <i>Bending</i>	38
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	40
	DAFTAR PUSTAKA	41
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	21
Tabel 4.1 Hasil Simulasi tegangan <i>Bending</i>	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spesimen baja karbon rendah	6
Gambar 2.2 Pengaruh pembebanan terhadap spesimen	6
Gambar 2.3 Perbandingan <i>three point bending</i> dengan <i>four bending point</i>	7
Gambar 2.4 Struktur aktual dan model elemen hingga	9
Gambar 2.5 Fungsi kombinasi $8 = 8(x,y)$ dan elemen tipikal pendekatan	10
Gambar 2.6 <i>Meshing</i> pada <i>plate</i>	14
Gambar 2.7 Elemen persegi empat sederhana untuk menjelaskan analisa metode elemen hingga	14
Gambar 2.8 Elemen yang lazim digunakan pada analisa FEM	15
Gambar 2.9 (a) 3 node finite elemen didefinisikan dalam satu daerah (b) elemen tambahan yang menunjukkan finite elemen mesh	16
Gambar 2.10 Hasil <i>meshing</i> dengan menggunakan metode elemen hingga	17
Gambar 2.11 Type grid dua dimensi	17
Gambar 2.12 Luasan elemen segitiga	18
Gambar 2.13 <i>Program solidwork</i>	19
Gambar 3.1 Baja karbon rendah	22
Gambar 3.2 <i>Universal test</i> mesin uji <i>bending</i>	23
Gambar 3.3 Jangka Sorong	23
Gambar 3.4 Personal computer	24
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.6 Geometri dan pemodelan spesimen uji <i>bending</i> ASTM D-790	26
Gambar 3.7 Solidworks 2017	28
Gambar 3.8 Geometri uji <i>bending</i>	28
Gambar 3.9 <i>Contact sets</i>	29
Gambar 3.10 Fixed geometri	29
Gambar 3.11 On flat faces	30
Gambar 3.12 <i>Meshing</i>	30
Gambar 4.1 Spesimen sebelum dilakukan pengujian uji <i>bending</i>	32
Gambar 4.2 Spesimen sesudah dilakukan pengujian <i>bending</i>	33
Gambar 4.3 Hasil simulasi tegangan <i>bending</i> dengan variasi elemen	36
Gambar Grafik 4.4 perbandingan total elemen dan tegangan simulasi	37
Gambar Grafik 4.5 depresiasi perhitungan	37
Gambar 4.6 Konsentrasi tegangan <i>bending</i> penampang 1	38
Gambar grafik 4.7 Grafik konsentrasi tegangan <i>bending</i>	39

DAFTAR NOTASI

σ = Kekuatan *bending*, MPa

P = Beban, N

L = Panjang span, mm

b = lebar batang uji, mm

d = tebal batang uji, mm

σ_T = tegangan tekan (kg/ mm)

l_1 = panjang setelah dibebani (mm)

l_0 = panjang mula-mula se belum dibebani (mm)

A_0 = luas penampang mula-mula (mm²)

E = Modulus elastis

σ = Tegangan

ε = Regangan

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin *bending* merupakan salah satu fasilitas industri yang cukup banyak digunakan. Kebutuhan akan alat ini menjadi prioritas yang sangat penting guna mencapai kinerja yang efisien. Berdasarkan kegunaannya, alat penekuk untuk material besi bar solid masih banyak menggunakan sistem manual. Sehingga cukup menguras tenaga dan dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk jumlah yang banyak. (Rossbandrio et al., 2015).

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari pelapisan nikel terhadap kekuatan *bending* material. Pengujian *bending* juga dilakukan untuk mengetahui variasi mana yang menghasilkan material dengan kekuatan *bending* terbaik sehingga dapat diketahui kondisi operasi pelapisan nikel mana yang paling optimal. (Nurdiansyah et al., n.d.).

Metode Elemen Hingga (MEH) adalah metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Masalah yang dapat diselesaikan bermacam-macam, seperti analisa struktur, *heat transfer*, aliran fluida, perpindahan massa, elektromagnetik, dsb. Dalam perhitungan tegangan dan regangan, untuk mendapat perhitungan yang lebih akurat, perlu diperhatikan faktor-faktor lain yang berpengaruh dalam perhitungan, seperti geometri pembebanan, dan sifat material.

Cara kerja Metode Elemen Hingga adalah dengan memecah (mendiskritisasi) model dari objek dengan membagi objek kedalam elemen-elemen yang lebih kecil (*finite element* atau elemen hingga) yang terhubung oleh titik-titik (*nodes*) yang digunakan oleh elemen-elemen tersebut dan sebagai batas dari elemen hingga. Karena terjadi diskritisasi maka perhitungan metode elemen hingga menjadi sangat banyak jika dikerjakan secara manual, maka diperlukan bantuan program untuk pengerjaannya. (Sasmito, 2018).

Dalam melakukan analisis numerik pengujian kekuatan *bending* dapat dilakukan dengan menggunakan *Software Solidwork*. *Solidworks* merupakan *Software* simulasi yang memungkinkan setiap perancang dan insinyur untuk melakukan simulasi struktural pada bagian atau rakitan sebuah struktur dengan

analisis elemen hingga (FEM). *Solidworks* mampu memperbaiki dan memvalidasi kinerja dan mengurangi kebutuhan akan prototipe atau perubahan desain yang mahal dikemudian hari (Sasmito, 2018).. Oleh karena itu dengan adanya *Solidworks* sangat membantu membuat desain maupun melakukan analisis numerik pada suatu material.

Permasalahan yang sering terjadi pada saat dilakukan pengujian *bending* kurang nya akurasi pengukuran sehingga mempersulit penguji untuk mendapatkan nilai yang tepat dan akurat.

Beberapa pengujian tekan material baja telah dilakukan oleh peneliti, diantaranya (Rossbandrio et al., 2015) mereka melakukan pengujian tekan baja yang umum dilakukan dipasaran dengan diameter 6mm,8mm,10mm dan 12mm, akan tetapi metode baja yang digunakan ialah baja dengan bentuk bulat/tabung. Ketersediaan data kekuatan tekan material menjadi salah satu hal yang sangat penting untuk menjadi rujukan dalam menggunakan material tersebut. Oleh karena itu maka penulis ingin melakukan analisis kekuatan tekan pada baja karbon rendah dengan bentuk merujuk pada ASTM D-790, kemudian melakukan analisis numerik pengujian tersebut dengan menggunakan *Software Solidwork*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mengetahui tekanan uji *bending* pada baja karbon rendah dengan metode elemen hingga menggunakan *Software Solidwork*.
2. Bagaimana menganalisa uji *bending* pada baja karbon rendah dengan metode elemen hingga menggunakan *Software Solidwork*.

1.3 Ruang lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan pada penelitian ini ialah baja karbon rendah dengan pengujian berstandar ASTM D-790.
2. Melakukan metode elemen hingga dalam melakukan analisa uji *bending*.

3. Melakukan analisis kekuatan *bending* baja karbon rendah dengan menggunakan metode elemen hingga (*Software Solidwork*).

1.4 Tujuan

1. Untuk menganalisis tekanan geometri uji *bending* pada baja karbon rendah menggunakan (*Software Solidwork*).
2. Untuk menganalisis geometri uji *bending* pada baja karbon rendah menggunakan *Software Solidwork*.

1.5 Manfaat

1. Peneliti mengetahui nilai kekuatan tekan pada pengujian *bending* terhadap baja karbon rendah.
2. Peneliti mampu membuat geometri dan melakukan pengujian *bending* pada baja karbon rendah.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengujian *Bending*

2.1.1. Pengertian pengujian *Bending*

Uji *bending* adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekuatan lengkung (*bending*) pada suatu bahan atau material. Pada umumnya alat uji *bending* memiliki beberapa bagian utama, seperti: rangka, alat tekan, point *bending* dan alat ukur. Rangka berfungsi sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka pada saat melakukan pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai alat yang memberikan gaya tekan pada uji pada saat melakukan pengujian. Alat penekan harus memiliki kekuatan lebih besar dari benda yang di uji (*ditekan*).

2.1.2. Uji Tekuk (*Bending Test*)

Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material dapat dilakukan dengan pengujian komposit tersebut. Pengujian *bending* mengacu pada standar ASTM D790 dengan kondisi pengujian statis. (Beliu et al., 2016)

Pada material yang homogen pengujian batang sederhana dengan dua titik dudukan dan pembebanan pada tengah-tengah batang uji (*three point bending*), maka tegangan maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut. (Harsi et al., 2015).

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

σ = Kekuatan *bending*, MPa

P = Beban, N

L = Panjang span, mm

b = lebar batang uji, mm

d = tebal batang uji, mm

Pengujian tekan dilakukan terhadap spesimen batang uji standar. Bahan yang akan diuji mula-mula dibuat menjadi batang uji dengan bentuk sesuai

standar tertentu. Pada bagian tengah dari batang uji merupakan bagian yang menerima tegangan, pada bagian yang menerima tegangan, pada bagian ini diukur panjang batang uji, yaitu bagian yang dianggap menerima pengaruh pembebanan.

$$\sigma_T = \frac{P}{A_0}$$

Dimana :

σ_T = tegangan tekan (kg/ mm)

$$A_0 = \text{luas penampang mula-mula (mm}^2\text{)}$$

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

Dimana :

l_1 = panjang setelah dibebani (mm)

l_0 = panjang mula-mula sebelum dibebani (mm)

Regangan adalah tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tertentu, semakin besar nilai modulus elastisitas semakin besar tegangan yang diperlukan untuk regangan tertentu, rumus modulus elastisitas dapat dilihat sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Kgf/mm}^2)$$

Dimana

E = Modulus elastis

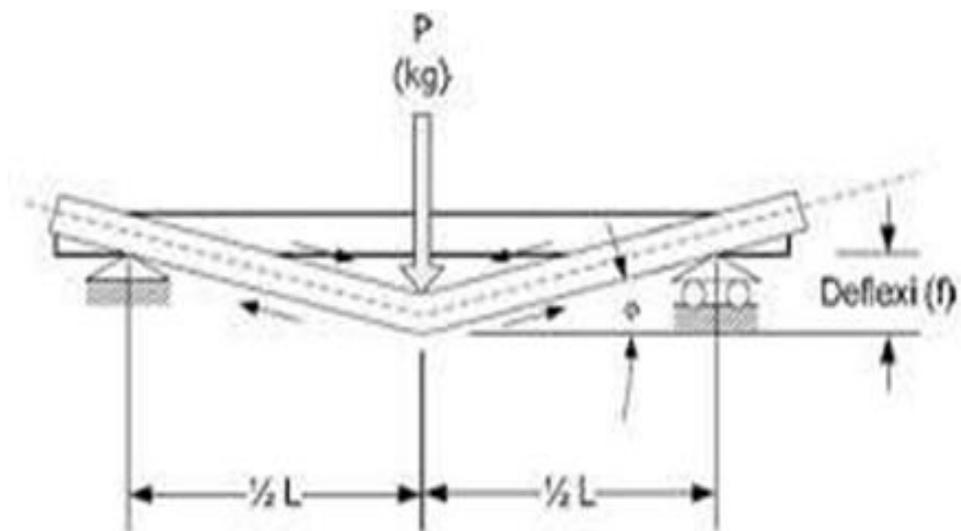
σ = Tegangan

ε = Regangan

2.1.3. Skema Uji *Bending*



Gambar 2.2 Spesimen baja karbon rendah.



Gambar 2.3 Pengaruh pembebanan terhadap spesimen(Lelah, 2016).

2.1.4. Metode Uji *Bending*

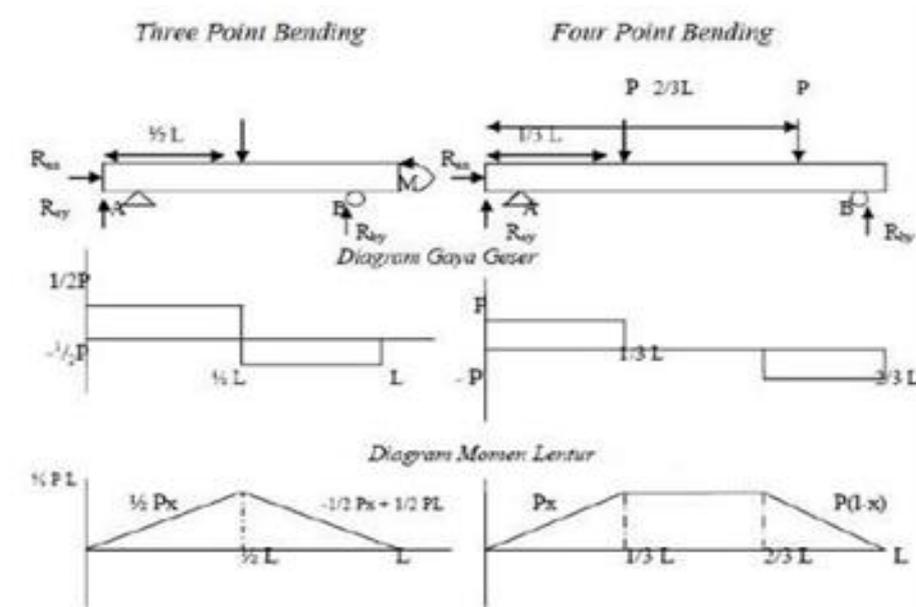
Pengujian *bending* biasanya dilakukan dengan dua metode :

1. Tiga *Point Bending*

Spesimen diberi beban pada satu titik, yaitu tepat pada bagian tengah batang ($0.5 L$). Pada metode ini, pembebanan harus tepat berada pada $0.5 L$ agar momen yang didapatkan adalah momen maksimum. (Lelah, 2016).

2. Empat *Point Bending*

Spesimen diberi beban pada dua titik, yaitu pada $1/3 L$ dan $2/3 L$. Pembebanan menggunakan metode ini jauh lebih baik daripada metode tiga *point bending*, hal ini dikarenakan pada empat *Point Bending*, momen maksimumnya berada pada satu titik, sehingga dapat menyebabkan kesalahan dalam penghitungan karena tidak tepat pada titik tersebut. Berbeda dengan metode empat *Point Bending* yang nilai momen maksimumnya berada dalam interval tertentu, sehingga kesalahan akibat ketidak presisian titik dapat dihindari. (Lelah, 2016).



Gambar 2.4 Perbandingan *Three Point Bending* dengan *Four Bending Point* (Lelah, 2016).

2.1.5. Faktor Yang Perlu Diperhatikan Dalam Uji *Bending*

Faktor yang harus diperhatikan dalam uji *bending* adalah sebagai berikut :

1. Titik pada pembebanan

Titik pembebanan pada pengujian *bending* dapat mempengaruhi data yang diperoleh. Dalam pengujian *bending*, nilai momen yang digunakan adalah nilai momen maksimum yang terjadi pada spesimen. Momen maksimum terjadi pada jarak tertentu pada spesimen. Oleh karena itu titik yang menjadi sasaran pembebanan haruslah titik dimana terjadinya momen maksimum pada spesimen agar momen yang didapatkan adalah momen maksimum.(Lelah, 2016).

2. Jarak tumpuan

Jarak tumpuan yang digunakan haruslah sesuai dengan standar, tidak terlalu jauh dan tidak terlalu dekat. Jarak tumpuan yang terlalu dekat dapat menyebabkan defleksi yang dapat terjadi terbatas karena bagian bawah spesimen telah lebih dulu menabrak bagian mesin. Jarak tumpuan yang terlalu jauh dapat memakan waktu yang lama.(Lelah, 2016).

2.1.6.Fenomena Yang Terjadi Pada Uji *Bending*

1. *Deformasi Plastis*

Deformasi plastis adalah perubahan bentuk suatu material secara permanen. Meskipun beban yang diberikan dihilangkan, material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula.

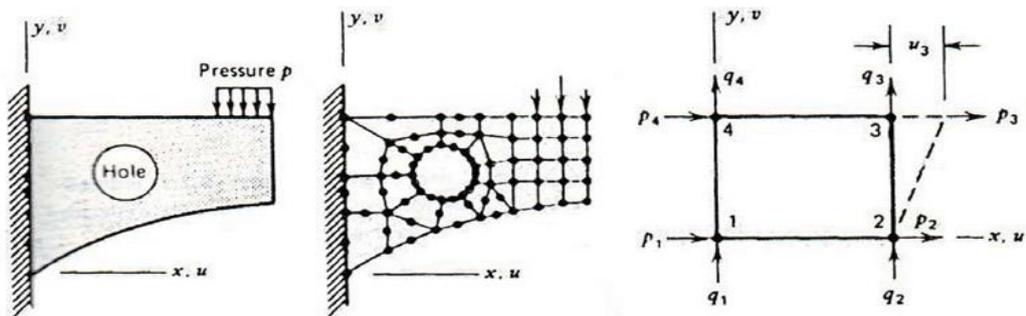
2. *Strain Hardening*

Pada pengujian *bending* terjadi fenomena *strain hardening*.*Strain hardening* adalah fenomena pada material yang menyebabkan material tersebut menjadi lebih keras dan kuat ketika mengalami *deformasi plastis*. (Lelah, 2016).

2.2. Metode Elemen Hingga

2.2.1. Pengertian metode elemen hingga

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan tingkat ketelitian yang dapat diterima. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.5, yaitu suatu struktur (bidang) dengan lubang, beban yang bekerja adalah tekanan (*pressure*). Untuk menyelesaikan masalah ini diperlukan solusi numerik. Gambar 2.5 memperlihatkan model elemen hingga. Elemen-elemen berbentuk segitiga (*triangle*) dan kuadrilateral (*quadrilateral*) baik linier maupun kuadratik merupakan beberapa contoh tipe elemen hingga. Titik-titik hitam disebut titik nodal (*node*). Suatu jaring (*mesh*) adalah susunan yang terdiri dari titik nodal dan elemen hingga. (Pranata, 2019).



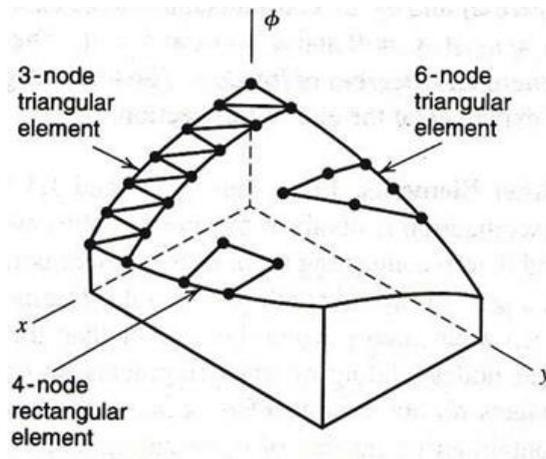
(a). Struktur aktual (b). Model elemen hingga. (c). Elemen segiempat bidang.

Gambar 2.5 Struktur aktual dan model elemen hingga (Pranata, 2019).

Pada dasarnya, elemen hingga merupakan bagian-bagian kecil dari struktur aktual (sebenarnya). Elemen hingga harus dapat berdeformasi dengan cara yang terbatas. Sebagai contoh apabila ujung-ujung elemen dikendalikan untuk tetap lurus, maka elemen yang bersebelahan dengannya tidak akan tumpang tindih maupun terpisahkan.

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan bagaimana permukaan suatu benda yang tidak datar, sebagai contoh permukaan 8 yang berubah secara halus (Gambar 2.5), ternyata dapat didekati dengan permukaan dengan permukaan yang datar. Elemen dengan jumlah empat titik nodal dan delapan titik nodal, yang masing-masing diperlihatkan dengan

permukaan terpilin dan lengkung, merupakan teknik pendekatan tersebut. Pendekatan akan semakin baik apabila elemen yang digunakan semakin banyak (Pranata, 2019).



Gambar 2.6 Fungsi kombinasi $8 = 8(x,y)$ dan elemen tipikal pendekatan (Pranata, 2019).

Didalam suatu elemen segiempat (Gambar 1.2), 8 adalah fungsi linier dari x dan y . elevasi dan inklinasi elemen dapat didefinisikan dengan tiga nilai titik nodal dari 8 . Dua elemen tidak harus mempunyai elevasi dan kemiringan yang sama. Ilustrasi ini memperlihatkan esensi dari metode elemen hingga, yaitu pendekatan bagian demi bagian untuk fungsi 8 dengan menggunakan polynomial, yang mana masing-masing terdefinisi pada elemen yang kecil dan dinyatakan dalam nilai-nilai titik nodal dari fungsi tersebut. Untuk permasalahan struktur dengan bentuk geometri dan pembebanan yang kompleks, hal ini tidak dapat diselesaikan dengan persamaan diferensial parsial, namun dapat diselesaikan dengan metode numerik pendekatan metode elemen hingga. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban, dan kondisi batas sembarang. Elemen-elemen kecilnya dapat terdiri atas elemen yang berbeda jenis, bentuk dan besaran fisiknya. Kemudahan penggunaan berbagai hal tersebut bisa saja tergabung pada satu program komputer, yaitu dengan menyiapkan data jenis, *geometri*, kondisi batas, elemen, dan sebagainya (Pranata, 2019).

2.2.2. Aplikasi metode elemen hingga

Metode elemen hingga (MEH) sering digunakan untuk menganalisis masalah fisika maupun teknik secara matematis. Proses perhitungannya Metode Elemen Hingga (MEH) melalui tiga step perhitungan. Yang pertama pre-proses, dalam proses awal ini model akan dibagi menjadi beberapa bagian untuk menganalisis matematik, kemudian ditentukan batasan lalu jenis material. Kedua, yaitu membuat matrik dari model dan menyelesaikan kuantitas utama. Ketiga, post-proses dengan menganalisis ulang untuk memvalidasi kuantitas utama (perpindahan dan tekan) dan kuantitas tambahan (tekanan kusus dan kegagalan).

Metode elemen hingga (*finite element method* atau FEM) dalam konteks dan aplikasi praktis sering pula disebut *finite element analysis* atau FEA. Metode elemen hingga merupakan teknik numerik untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*partial differential equations* atau PDE) seperti halnya persamaan integral. Pendekatan solusi berbasis mengeliminasi persamaan diferensial kompleks (permasalahan *steady state*), atau memberikan PDE menjadi sistem pendekatan persamaan diferensial biasa, yang mana selanjutnya dapat diintegrasikan secara numerik menggunakan teknik standar, sebagai contoh metode Euler, Runge-Kutta, dan lain-lain. Pada suatu penyelesaian persamaan diferensial parsial, tantangan utama adalah menciptakan persamaan pendekatan yang berhubungan dengan persamaan yang sedang dipelajari, yang mana stabil secara numerik, dalam arti kesalahan (*error*) yang dihasilkan atau yang mungkin terjadi tidak memberikan pengaruh secara signifikan. Metode elemen hingga merupakan pilihan yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan persamaan diferensial parsial dalam domain yang kompleks, ketika domain berubah, ketika presisi yang diinginkan bervariasi dari seluruh domain, atau ketika menghadapi kondisi kurang-halusnya suatu solusi pendekatan. Sebagai contoh, simulasi tabrakan frontal suatu mobil dalam kaitannya dengan uji keselamatan pengguna kendaraan dan kekuatan kendaraan, sangat memungkinkan menerapkan ilmu metode elemen hingga, dalam hal ini berupa simulasi numerik untuk mendapatkan prediksi yang akurat berkaitan dengan faktor-faktor penting yang sedang dipelajari. Dengan adanya simulasi numerik menggunakan komputer, maka biaya pengujian simulasi secara empiris (pengujian di laboratorium dengan

benda uji mobil yang sebenarnya) dapat dikurangi. Dapat dibayangkan apabila setiap pengujian harus menggunakan benda uji yang sebenarnya, maka berbagai percobaan berkaitan dengan keselamatan pengguna kendaraan dan kekuatan suatu kendaraan akan membutuhkan biaya yang sangat luar biasa tinggi. Peran simulasi numerik dalam hal ini dapat “mewakili” pengujian empiris tersebut, sehingga dapat diperoleh hasil-hasil penting berkaitan dengan permasalahan yang sedang ditinjau (Pranata, 2019).

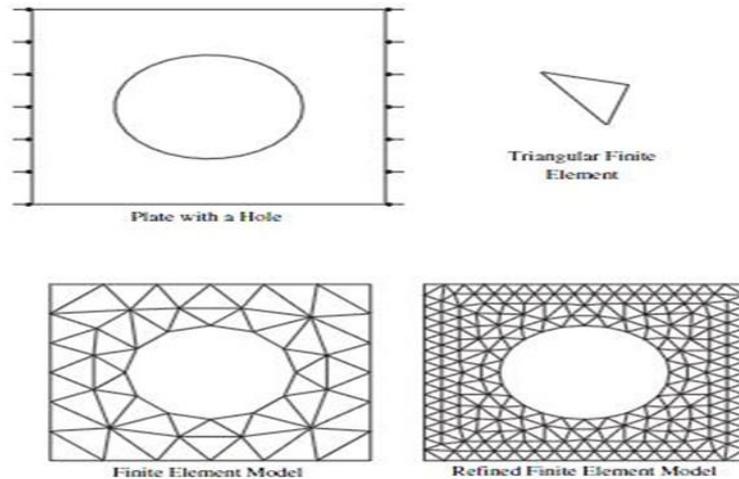
2.2.3. Perkembangan metode elemen hingga

Pada tahun 1906 dan tahun-tahun berikutnya, para ahli riset mengusulkan metode analogi lattice untuk memecahkan masalah kontinum. Disini suatu kontinum didekati dengan jaring yang teratur yang terbentuk oleh batang-batang elastis. Selanjutnya metode ini berkembang menjadi metode untuk menganalisis struktur rangka. Pada tahun 1941, seorang ahli matematik Courant (dalam publikasi yang ditulis tahun 1943) mengusulkan interpolasi polinomial bagian-demi-bagian pada daerah segitiga, sebagai cara untuk mendapatkan solusi numerik pendekatan. Courant memperkenalkan metodenya sebagai solusi Rayleigh-Ritz untuk masalah variasional. Pada mulanya metode ini dilupakan orang, sampai suatu saat kemudian para rekayasawan berhasil mengembangkannya. Pada waktu itu pendapat para ahli masih dianggap tidak praktis karena belum ada komputer yang dapat dipakai untuk melakukan perhitungan. Setelah tahun 1953, para rekayasawan menuliskan persamaan kekakuan dalam notasi matriks dan dapat memecahkan persamaan tersebut dengan menggunakan bantuan komputer digital. Makalah klasik yang ditulis oleh Turner, Clough, Martin, dan Topp diterbitkan pada tahun 1956. Sejak itu terjadi kemajuan pesat dalam pengembangan metode elemen hingga dalam bidang rekayasa. Nama elemen hingga disebutkan pertama kali pada tahun 1960. Pada tahun 1961 telah diterbitkan sepuluh makalah mengenai elemen hingga, pada tahun 1966 terbit 134 makalah, dan pada tahun 1971 terbit 844 makalah. Pada tahun 1979 jumlah publikasi elemen hingga mencapai lebih dari 7000 makalah (Pranata, 2019). Model element hingga dimensi dibuat dengan ukuran sama

dengan sempel eksperimen. Analisa dilakukan dengan pendekatan material non linier dan geometrik non linear.(Effendi, 2017).

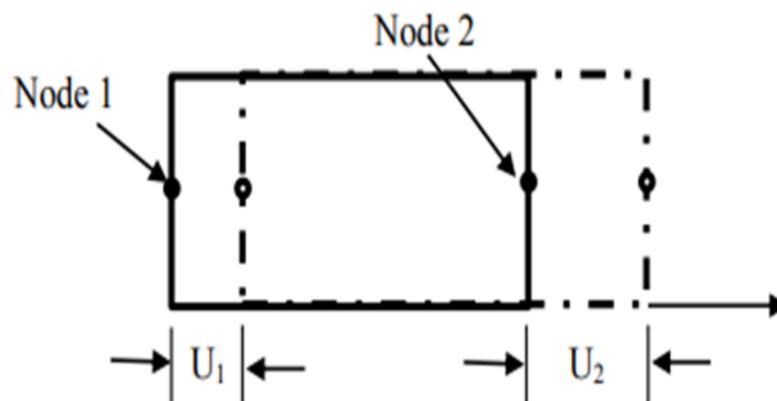
Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang di lakukan oleh Wowo Rossbandrio 2015 dalam jurnal Integrasi yang berjudul Analisa Tekan *Bending* Besi Bar Pada Alat *Planetary Bending*. Dapat disimpulkan bahwa Semakin besar diameter yang *dibending* maka semakin besar juga tekanan yang dibutuhkan. Pola peningkatannya bukan pola peningkatan yang linier sebab peningkatan yang didapat tidak sejajar dengan diameter besi bar yang *dibending*.peningkatang yang signifikan terjadi dari diameter 8 mm ke diameter 10 mm. Namun mereka tidak menggunakan metode elemen hingga dalam penelitian mereka, maka dari itu peneliti ingin melakukan penelitian analisa kekuatan *bending* baja dengan metode elemen hingga menggunakan *Software Solidwork*(Rossbandrio et al., 2015)

Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Untuk menggambarkan dasar pendekatan FEM perhatikan gambar. Gambar 2.7 adalah gambar sebuah *plate* yang akan dicari distribusi temperturnya. Bentuk geometri *plate* di "*meshing*" menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga untuk mencari solusi yang berupa distribusi temperatur *plate*. Sebenarnya kasus ini dapat diselsaikan dengan cara langsung yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (*heat balance equation*). Namun untuk geomtri yang rumit seperti *engine block* diperlukan FEM untuk mencari distribusi temperatur.



Gambar 2.7 Meshing pada plate.(Dolu, 2000).

Umurani telah melakukan analisa numerik suspensi dan simulasi dari pegas koilnya dengan beberapa variasi pitch and revolution, untuk memperoleh hasil berupa stress, displacement, dan strain (Umurani & Amri, 2018). Metode elemen hingga merupakan cara yang sangat baik dalam menentukan tegangan dan defleksi dalam konstruksi yang sulit diselesaikan dengan secara analitik. Pada metode ini konstruksi dibagi menjadi jaringan yang terdiri dari elemen kecil yang dihubungkan satu sama lain pada titik node. Analisa elemen hingga dikembangkan dari metode matriks untuk analisa struktur dan ditunjang oleh computer digital yang memungkinkan diselesaikannya sistem dengan ratusan persamaan simultan. Konsep yang disederhanakan dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Elemen persegi empat sederhana untuk menjelaskan analisa metode elemen hingga (Anggraini, 2016).

Setiap node memiliki satu derajat kebebasan bila bergeser sejauh U_1 dan U_2 . Persamaan yang menyatakan hubungan antara gaya yang bekerja pada node dan perpindahan yang diakibatkannya adalah sebagai berikut:

$$P_1 = K_{11}U_1 + K_{12}U_2$$

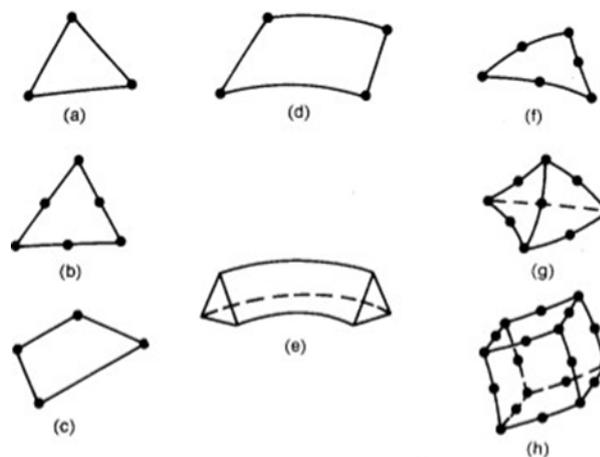
$$K_{21}U_1 + K_{22}U_2$$

Koefisien kekakuan K_{ij} dihitung dengan program komputer berdasarkan sifat elastik bahan dan geometri elemen hingga dengan bentuk matriksnya adalah.

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix}$$

Bila kedua elemen tadi digabungkan menjadi suatu konstruksi, dapat digunakan prinsip superposisi untuk menentukan kekakuan struktur dua elemen tadi.

Suatu konstruksi tiga dimensi akan mengakibatkan bertambahnya jumlah persamaan simultan; tetapi dengan memanfaatkan elem tingkat tinggi dan komputer yang lebih cepat, soal-soal tersebut dapat diselesaikan dengan FEM (*Finite Element Methode*). Pada gambar 2.9 tampak beberapa elemen yang digunakan dalam analisa FEM.



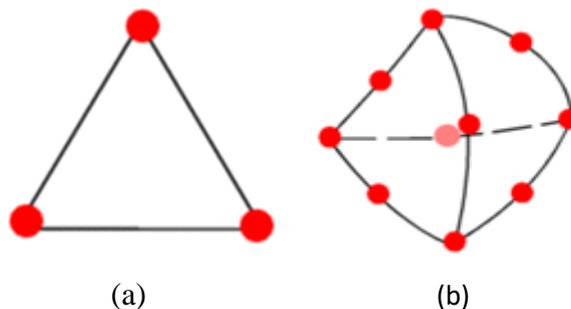
Gambar 2.9 Elemen yang Lazim digunakan pada Analisa FEM
(Anggraini, 2016)

- (a) Elemen dua dimensi paling sederhana.
- (b) Segitiga dengan enam node.
- (c) Elemen kuadrilateral.
- (d) Elemen cincin berdimensi satu.
- (e) Elemen segitiga berdimensi dua.
- (f) Segitiga isoparametrik.
- (g) Tetrahedron
- (h) Heksahedron (Anggraini, 2016).

Penyelesaian Elemen hingga mencakup perhitungan matriks kekakuan untuk setiap elemen dalam struktur. Elemen tersebut kemudian dirakit membentuk matriks kekakuan $[K]$ untuk seluruh konstruksi.

$$\{P\} = [K] \{u\}$$

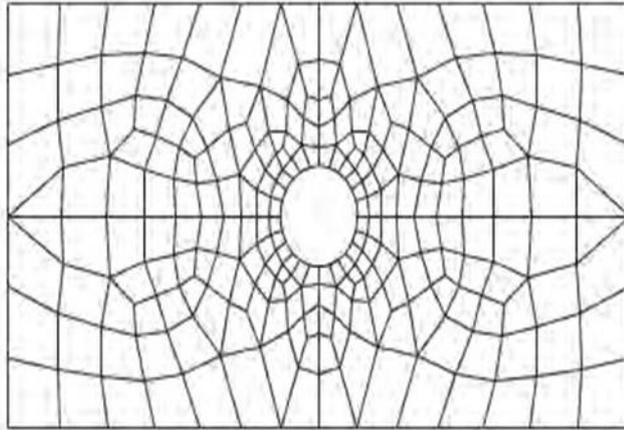
Secara umum teknis dan terminology finite element analysis digambarkan pada gambar 2.10. Gambar mewakili volume suatu material yang sudah diketahui properties fisiknya. Volume mewakili domain boundary yang akan dihasilkan. Untuk singkatnya diasumsikan dengan kasus 2-dimensi untuk menentukan setiap titik $P(x,y)$.



Gambar 2.10 (a) 3 node finite elemen didefinisikan dalam satu daerah (b) elemen tambahan yang menunjukkan finite elemen mesh (Akin, 2009).

Sebagai contoh penyelesaian permasalahan menggunakan metode *finite elemen methode* ditunjukkan pada gambar 2.11 yang menggambarkan persegi panjang dengan lubang dibagian tengah. Diasumsikan persegi panjang memiliki

tebal yang konstan pada arah z . Hasil meshing menunjukkan bentuk yang bermacam-macam (*triangles* dan *quadrilaterals*) dan ukuran yang berbeda-beda.



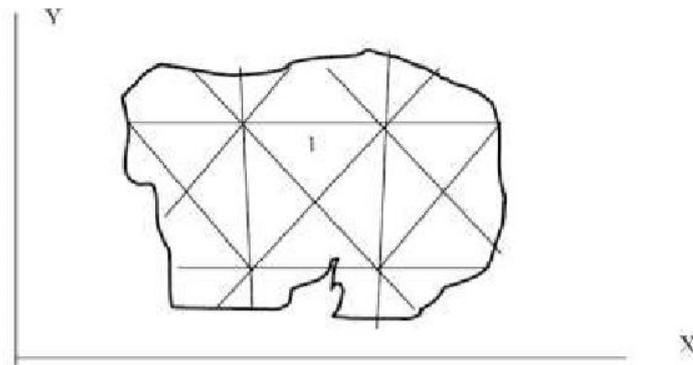
Gambar 2.11 Hasil meshing dengan menggunakan metode elemen hingga (Anggraini, 2016).

2.2.4. Elemen Dua Dimensi.

Bentuk yang sering dipergunakan elemen segitiga dan elemen segiempat. Linier elemen mempunyai sisi yang lurus. Elemen dengan order lebih tinggi (*quadratic*, *cubic*) dapat sisi lurus atau lengkung. Modeling untuk domain dengan batas sisi lengkung dimungkinkan dengan penambahan node tengah (*midside node*). Ketebalan elemen bisa sama (konstan) atau bisa sebagai fungsi dari koordinat.



Gambar 2.12 Type Grid dua dimensi (Mulyadi, 2011).



Gambar 2.11 Luasan elemen segitiga (Mulyadi, 2011).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Ellysa Kusuma Laksanawati & Alvin Adhita Gunawan (2018), yang berjudul “Pengujian Kekuatan Rig Untuk Uji Tarik Baja A36 Diameter 30 Mm Bentuk Standard Dengan Analisa Software Solidwork”. Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan dengan software solidworks, mereka mendapatkan hasil, Benda uji telah mengalami kerusakan karena yang terjadi pada daerah uji sebesar 321.695 N/mm^2 lebih besar dibandingkan dengan kekuatan yield dari bahan benda uji (250 N/mm^2), dan Rig dinyatakan kuat dimana Palang (Glagar), tiang dan baut kuat untuk melakukan pengujian dengan beban 200 kN dan untuk menopang actuator.

2.3 Software Solidwork

2.3.1 Pengertian Solidwork

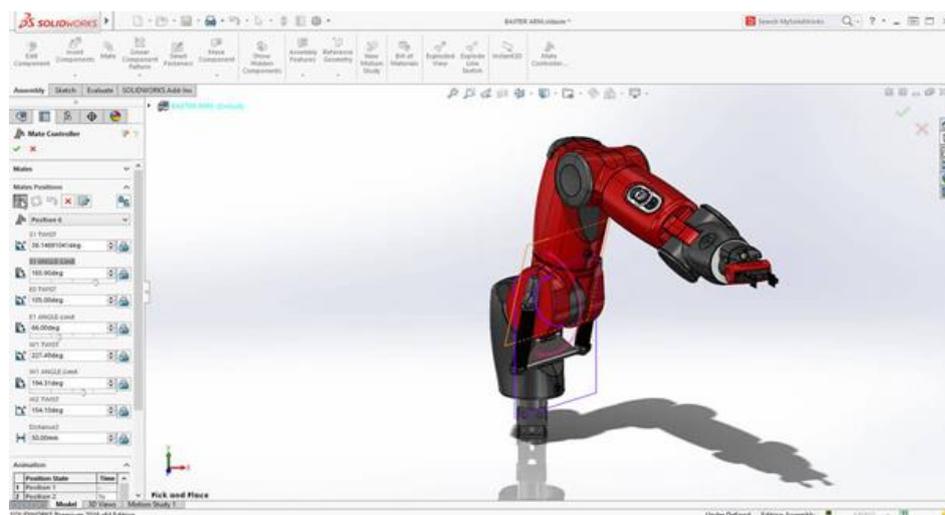
Mengutip dari Arisma Data *Solidwork* adalah apa yang kita sebut “parametrik” modelling yang solid yang diperuntukan untuk pemodelan desain 3-D. Parametrik sendiri itu berarti bahwa dimensi dapat memiliki hubungan antara satu dengan yang lainnya dan dapat diubah pada saat proses desain dan secara otomatis mengubah part solid dan dokumentasi terkait (*blueprint*).

Solidwork memiliki dasar sertifikasi internasional salah satunya yaitu Certified *Solidwork* professional (CSWP). Sertifikasi ini menjadi bukti kompetensi seseorang bisa menggunakan *Software Solidwork*. Salah satu modul yang menjadi requirement CSWP adalah Part Assembly. Part Assembly ini adalah

modul untuk perkaitan dari beberapa part, sehingga pembuatan benda yang terdiri dari beberapa part dapat dilakukan.(Indraswara et al., 2015).

Solidworks sendiri adalah *Software* program mekanikal 3D CAD (computer aided design) yang berjalan pada Microsoft Windows. file *Solidworks* menggunakan penyimpanan file format Microsoft yang terstruktur. Ini berarti bahwa ada berbagai file tertanam dalam setiap SLDDRW (file gambar), SLDPRT (part file), SLDASM (file assembly), dengan bitmap preview dan metadata sub-file.

Berbagai macam tools dapat digunakan untuk mengekstrak sub-file, meskipun sub-file dalam banyak kasus menggunakan format file biner. *Solidworks* adalah parasolid yang berbasis solid modelling, dan menggunakan pendekatan berbasis fitur-parametrik untuk membuat model dan assembly atau perakitan. Parameter mengacu pada pembatasan yang bernilai menentukan bentuk atau geometri dari model.



Gambar 2.7 Program Solidwork(Indraswara et al., 2015).

2.3.2 Fungsi *Solidwork*

Software yang digunakan sebagai alat bantu gambar teknik adalah *Solidwork*, yaitu 3D Mechanical CAD *program* yang dikembangkan oleh *Dassault Systemes Solidwork corp*. *Software* ini menawarkan peralatan 3D yang dapat membuat, mensimulasikan, mempublikasikan, dan mengatur data.

Solidwork menyediakan solusi 3D secara lengkap sehingga dapat menerjemahkan ide-ide menjadi kenyataan, mendorong batas-batas desain, dan mencapai tujuan yang diinginkan. (Indraswara et al., 2015).

Solidworks dipakai banyak orang untuk membantu desain benda atau bangunan sederhana hingga yang kompleks. *Solidworks* banyak digunakan untuk merancang roda gigi, mesin mobil, casing ponsel dan lain-lain. Fitur yang tersedia dalam *Solidworks* lebih *easy-to-use* dibanding dengan aplikasi CAD lainnya. Bagi mahasiswa yang sedang menempuh pendidikan di jurusan teknik sipil, teknik industri dan teknik mesin sangat disarankan untuk mempelajari *Solidworks*. Karena *Solidworks* sangat sesuai dengan kebutuhan mahasiswa yang mengambil tiga jurusan tersebut dan yang paling utama proses penggunaan *Solidworks* lebih cepat dibanding *vendor-vendor Software CAD* lain yang lebih dulu hadir. Anda juga dapat melakukan simulasi pada desain yang Anda buat dengan *Solidworks*. Analisi kekuatan desain juga dapat dilakukan secara sederhana dengan *Solidworks*. Dan yang paling penting, Anda dapat membuat desain animasi menggunakan fitur yang telah disediakan *Solidworks*.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Adapun proses pelaksanaan penelitian dan penulisan ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Kekuatan Material (MKM) Program Studi Teknik Mesin dan di Laboratorium Komputer Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri, Glugur Darat II.

3.1.2. Waktu

Proses pelaksanaan di lakukannya setelah di sahkannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan dikerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai dinyatakan selesai. Jadwal kegiatan dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Litelatur	■	■	■	■		
3	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3		■	■	■	■	
4	Pembuatan Desain Simulasi			■	■	■	
5	Seminar Proposal				■	■	
6	Pembuatan spesimen				■	■	
7	Pengujian spesimen					■	■
8	Pengolahan data simulasi						■
9	Sidang						■

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan untuk analisis kekuatan tarik baja dengan metode elemen hingga menggunakan *Software Solidwork* adalah sebagai berikut :

1. Baja Karbon Rendah.

Baja Karbon rendah ialah baja yang kandungan karbonnya memiliki kadar karbon antara 0,1% sampai dengan 0,3%.



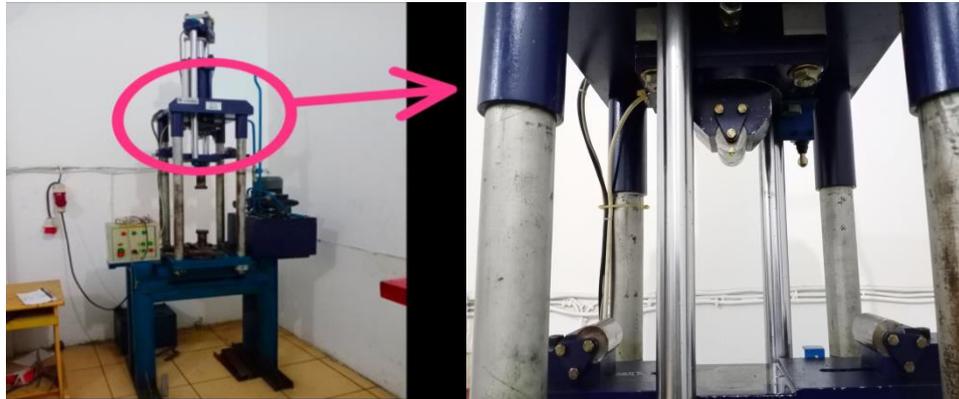
Gambar 3.1 Baja Karbon Rendah.

3.2.2 Alat

Adapun alat yang di gunakan untuk analisis kekuatan tarik baja dengan metode elemen hingga menggunakan *Software Solidwork* adalah sebagai berikut :

1. Mesin Uji *Bending*

Mesin uji *Bending* ini merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang bersumbu.[Askeland, 1985].



Gambar 3.2. *Universal Test Mesin Uji Bending.*

2. Jangka Sorong.

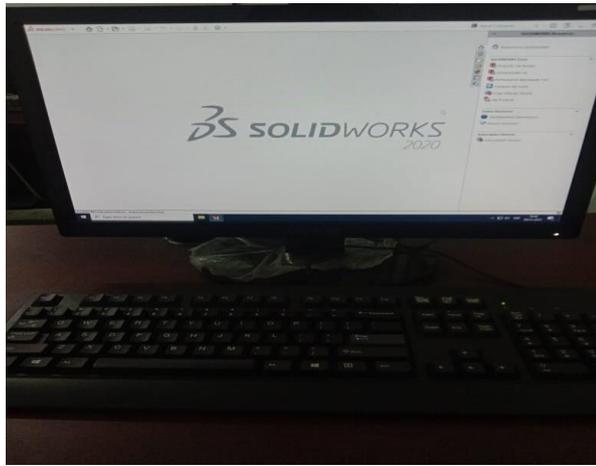
Jangka Sorong merupakan alat ukur yang mampu mengukur jarak, kedalaman, maupun diameter ketebalan. Alat ini dipakai secara luas berbagai bidang industri engineering, mulai dari proses desain/perancangan dan manufaktur/pembuatan, kami menggunakan jangka sorong ini untuk mengukur ketebelan spesimen.



Gambar 3.3. Jangka Sorong.

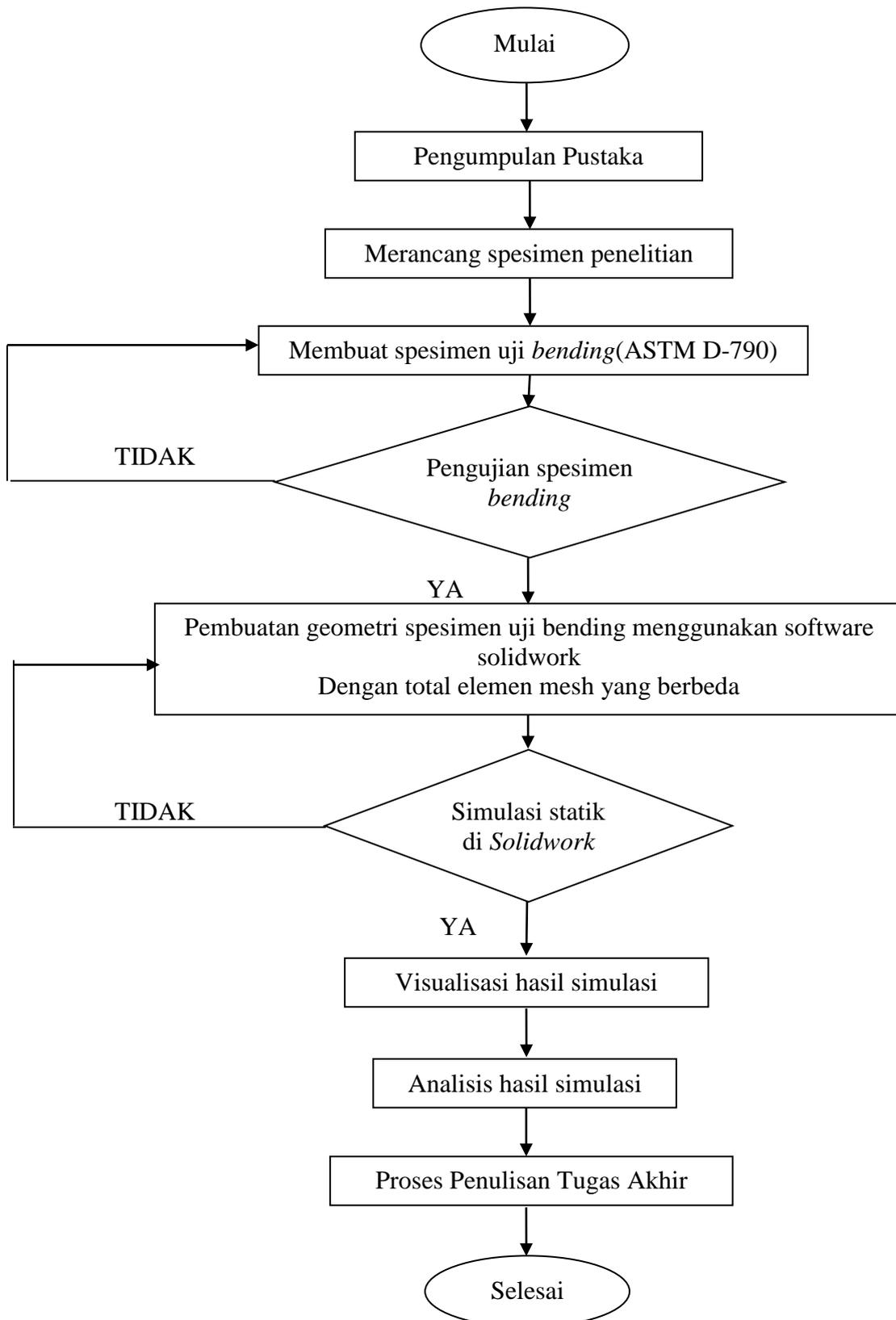
3. Komputer Laboratorium Umsu

Spesifikasi perangkat keras (komputer) yang digunakan dalam analisa kekuatan bending baja dengan metode elemen hingga menggunakan software solidwork ini adalah Proccesor Intel Xeon CPU E3-1246 v3@ 3.50GHz 3.50Hz (r.RAM 8,00GB) System Type 64-bit Operating System x64-based. Perangkat ini digunakan untuk mengetahui analisis kekuatan bending baja dengan metode elemen hingga menggunakan software solidwork.



Gambar 3.4. Personal Computer (PC)

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.5. diagram alir penelitian

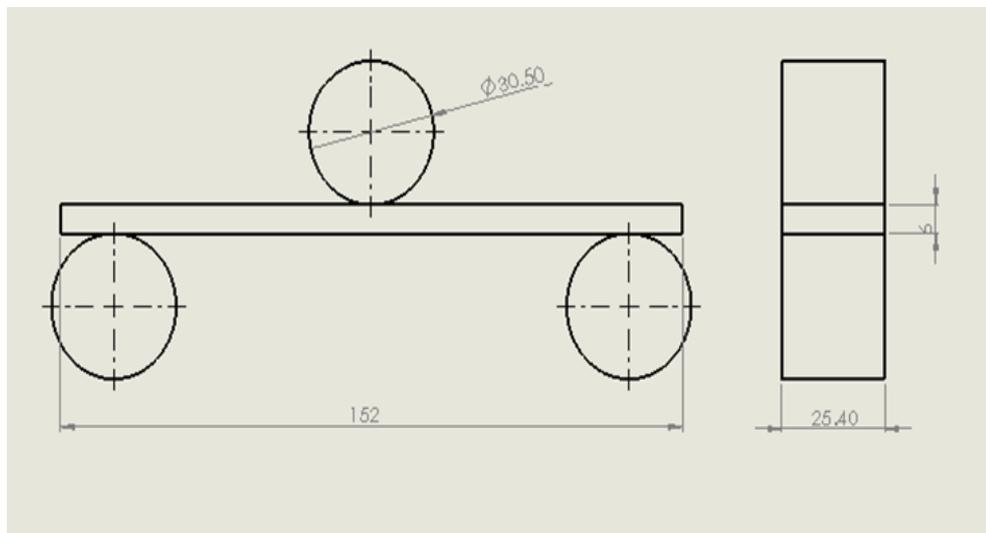
3.4. Prosedur Penelitian.

3.4.1 Pengumpulan Pustaka dan Merancang Spesimen Penelitian.

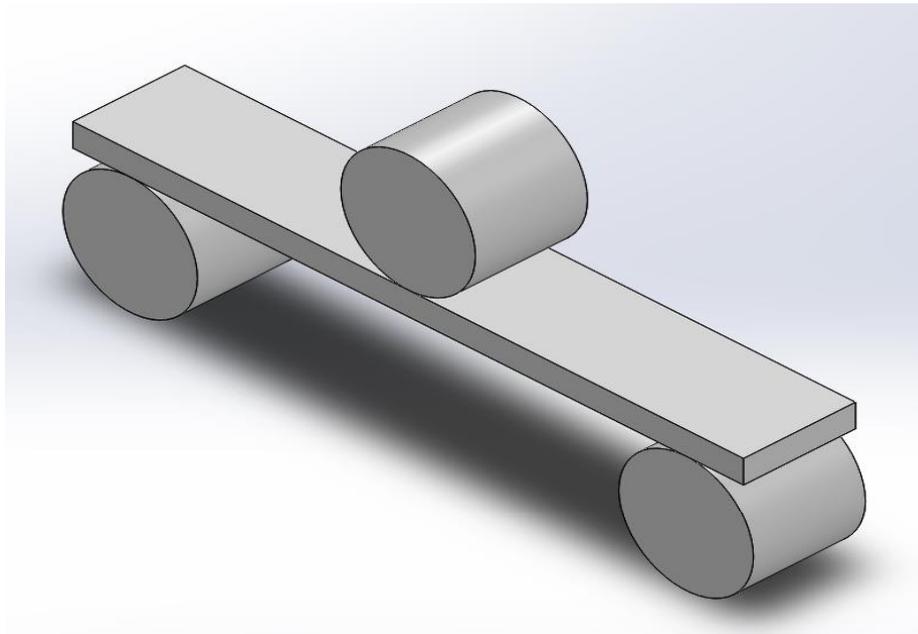
Penelitian ini diawali dengan melakukan pengumpulan pustaka dan merancang spesimen penelitian mengenai analisis kekuatan *bending* dengan metode elemen hingga menggunakan *Software (Solidwork)*. Kemudian data dikumpulkan dan menjadi pengumpulan pustaka yang diambil dari jurnal, buku, dan artikel yang digunakan pada penelitian.

3.4.2 Pemodelan dan geometri Spesimen Uji *Bending*(ASTM D-790)

Bentuk spesimen uji *bending* yang digunakan merujuk kepada standar ASTM-D790. Selanjutnya spesimen yang telah selesai dibuat akan di uji menggunakan mesin uji *bending*. Adapun model dan geometri pada spesimen uji dapat dilihat pada gambar.



(a) Geometri baja ; spesimen uji *bending* ASTM D-790



(b). Pemodelan baja ; spesimen uji *bending* ASTM D-790

Gambar 3.6 geometri dan pemodelan spesimen uji *bending* ASTM D-790

3.4.3 Simulasi Statik di Solid Works.

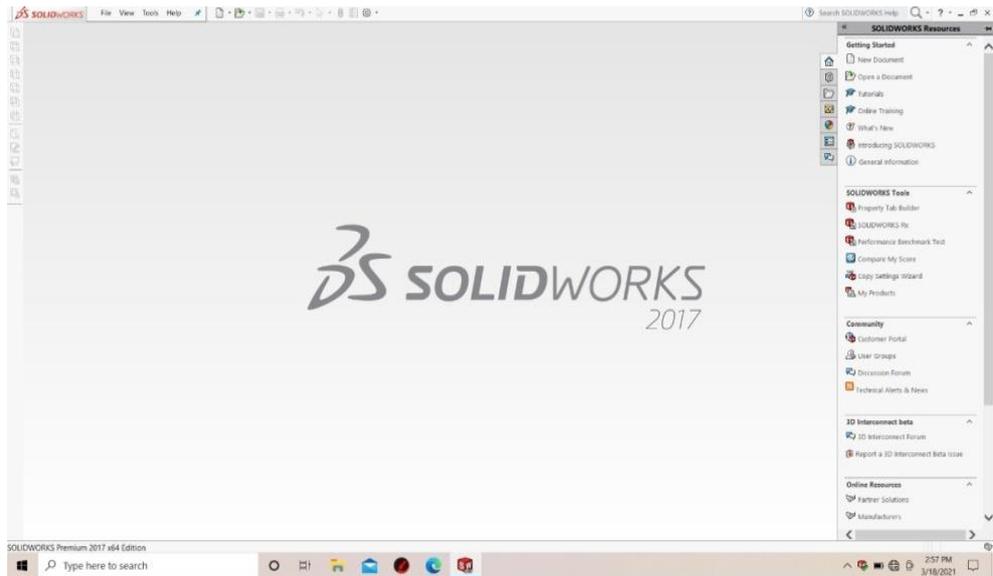
Tahapan setelah pengujian *bending* selesai ialah melakukan analisis numerik spesimen *bending* menggunakan *Software* solid works.pada saat simulasi dilakukan variasi panjang mesh yang dapat dilihat pada tabel.

3.4.4 Visualisasi Hasil Simulasi

Setelah selesai dilakukannya proses simulasi maka selanjutnya akan dilakukan proses Visualisasi dari hasil simulasi yang didapat.

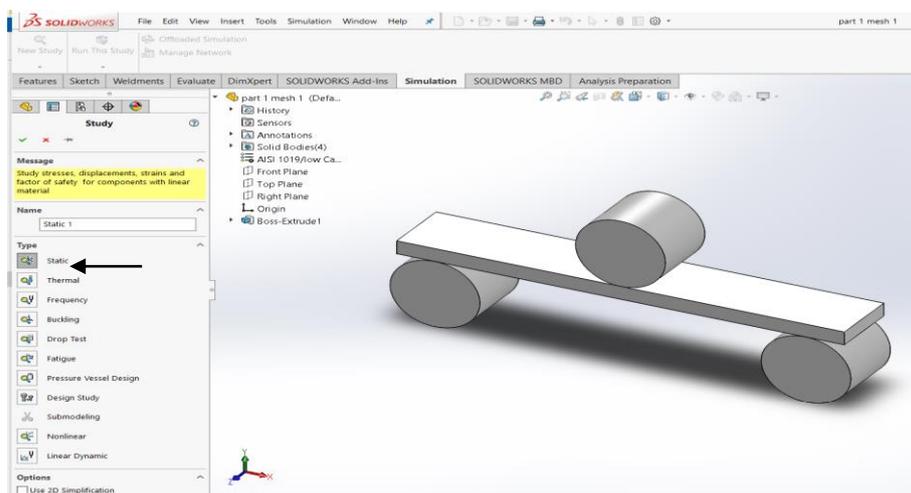
Berikut langkah-langkah dalam malakukan simulasi statik, analisis kekuatan bending baja pada (software solidwork 2017).

1. Langkah awal pada simulasi statik geometri uji bending, nyalakan laptop dan buka aplikasi solidwork 2017



Gambar 3.7. Solidworks 2017

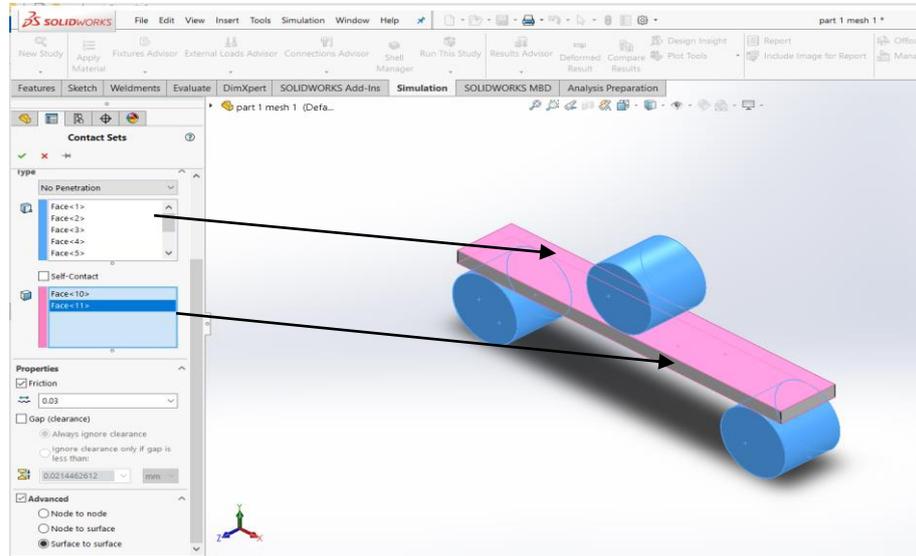
2. Buka *file* geometri yang sudah di *design* diaplikasi solidworks 2017.



Gambar 3.8. Geometri uji bending

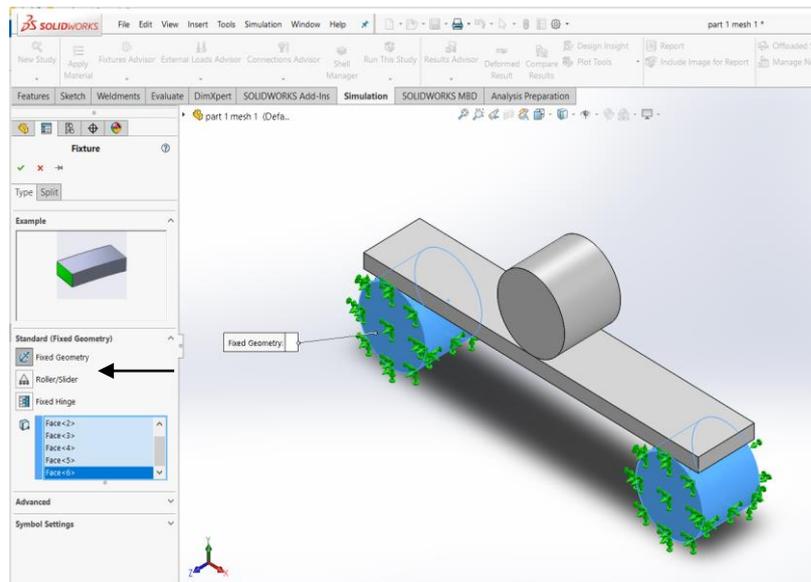
3. berikutnya klik connections lalu pilih contact sets berfungsi untuk memberikan kontak antara beban dan pemodelan uji bending dengan

gesekan yang sesuai. Solusi ini membutuhkan beberapa "pemijatan" pengaturan solver default karena ada tekuk lokal di pemodelan tempat dorong batang.



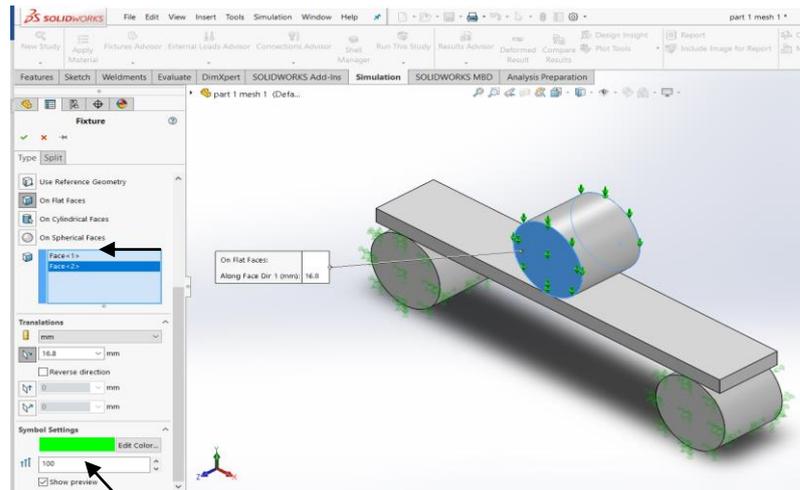
Gambar 3.9. Contact Sets

4. Berikutnya klik fixture lalu pilih fixed geometri dan klik pada dua penopang geometri, fixed geometri adalah menahan geometri pada saat *simulation*.



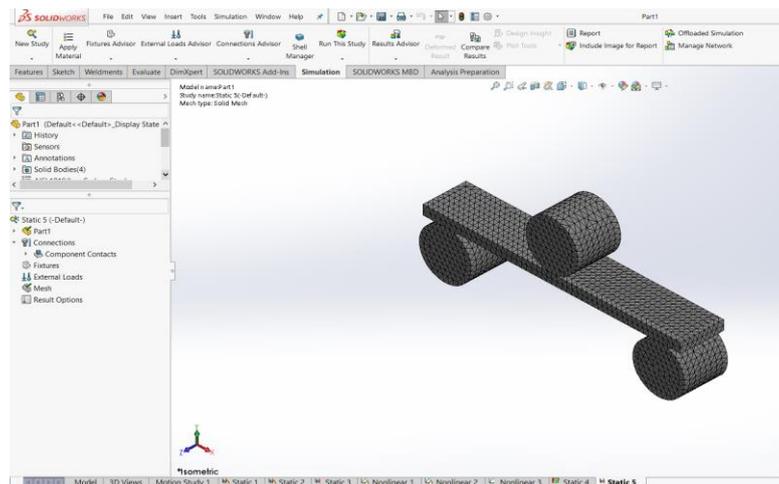
Gambar 3.10. fixed geometri

5. Setelah di beri contact seat pada pemodelan uji bending dan di klik fixed geometri pada dua penyanggah pemodelan, Langkah selanjutnya klik *on flat faces* pada sisi beban pemodelan uji bending kanan dan kiri. *on flat faces* ini berfungsi memberikan beban tekuk pada pemodelan datar uji bending dengan kedalaman tekuk yg sudah kita tentukan.



Gambar 3.11. on flat faces

6. Setelah di beri beban pada geometri uji lalu geometri di meshing dengan variasi *ratio mesh* yang sudah ditetapkan dan setelah selesai di meshing geometri langsung di Run this study.



Gambar 3.12. Meshing

3.4.5. Analisis data dan Penulisan Tugas akhir

Setelah selesai dilakukannya proses pengujian dan simulasi selanjutnya dilakukan analisis data, dari hasil data yang telah didapat akan dilakukan sebagai dari isi tugas akhir.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Spesimen *Bending*

4.1.1 hasil uji *bending* dengan mesin tensile test

Dari pengujian spesimen yang dilakukan di Laboratorium / *Workshop* Teknik Mesin Universitas Negeri Medan (UNIMED), hasil pengujian *bending* pada baja karbon rendah yang telah dilakukan uji komposisi dapat dilihat pada lampiran.

- a. Spesimen sebelum dilakukan pengujian.



Pada gambar 4.1 memperlihatkan foto spesimen baja karbon rendah yang telah diberikan ukuran sesuai dengan standart ASTM D790 yang siap untuk dilakukan pengujian menggunakan uji *bending* (*Bending Testing*).

b. Spesimen setelah dilakukan pengujian.

Setelah spesimen yang sudah memiliki ukuran sesuai standart ASTM D790 dan sudah dilakukan pengujian *bending* (*Bending Testing*), Didapat hasil pengujian *bending* yang dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Dari Gambar 4.2 menunjukkan hasil akhir spesimen yang telah dilakukan pengujian *bending* (*Bending Testing*) yang telah di lakukan pada spesimen baja karbon rendah, diperoleh hasil yaitu :

1. *Maximum force* : 195,59 Kgf
2. *Break force* : 192,93 Kgf
3. *Tensile strength* : 1,30 Kgf/mm².

4.2 Pembahasan.

4.2.1 Hasil Eksperimen Uji Bending

$$P \equiv 195,59\text{kgf} \equiv 1918088267,5\text{N} / \text{m}^2$$

$$L = 152\text{mm} = 0,000152\text{m}^2$$

$$b = 25,4\text{mm} = 0,000254\text{m}^2$$

$$d = 6\text{mm} = 0,000006\text{m}^2$$

$$\sigma = \frac{3P \times L}{2b \times d^2}$$

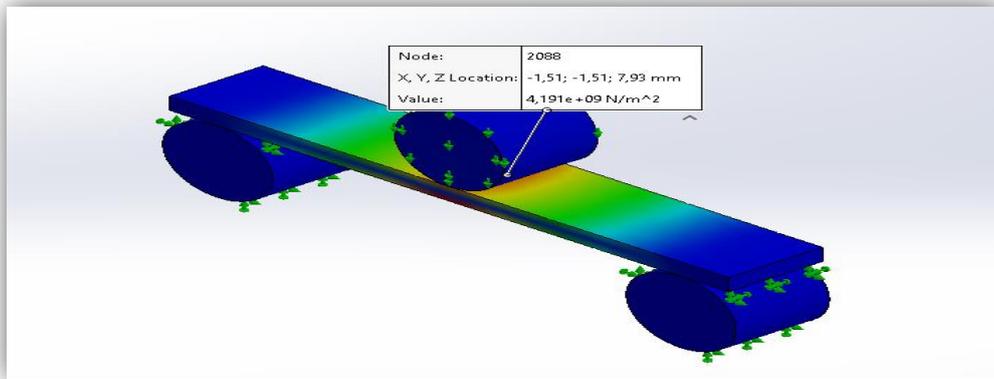
$$= \frac{3 \times 1918088267,35 \times 0,000152}{2 \times 0,000254 \times 0,000006^2}$$

$$= \frac{874.645,699}{1,8288^{-14}}$$

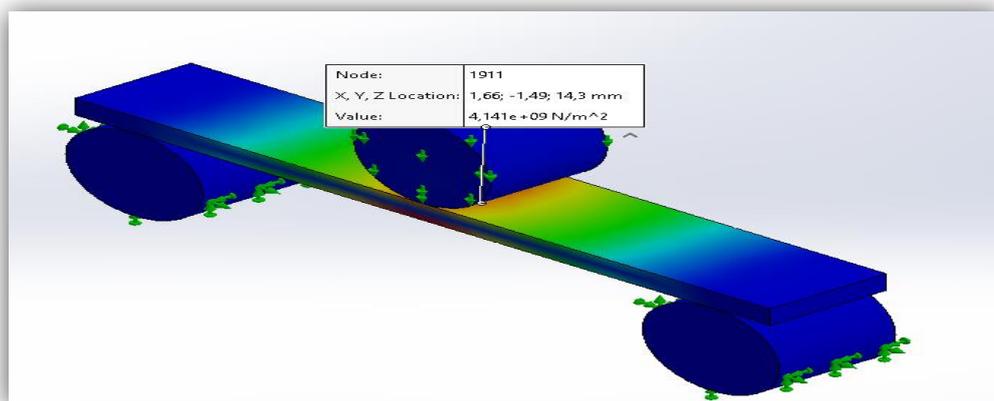
$$= 4,094 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

4.2.2 Hasil Simulasi.

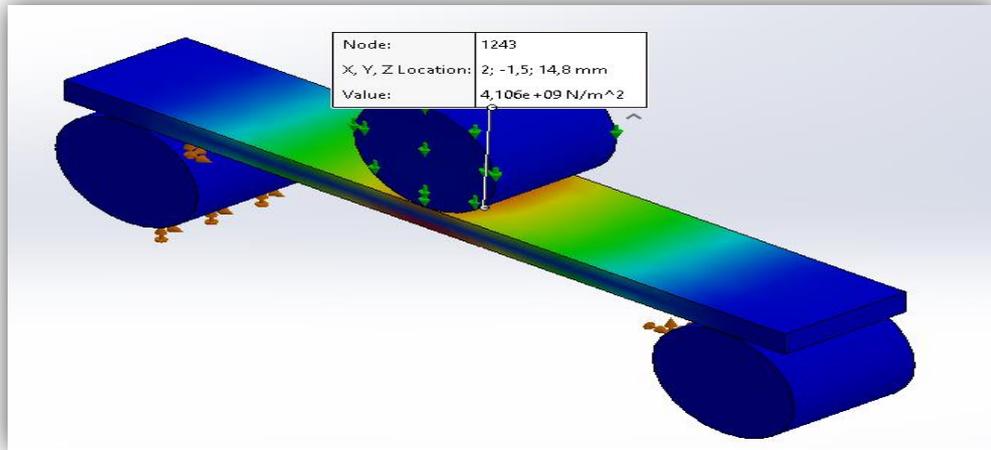
Berikut ini adalah hasil simulasi pengujian bending dengan nilai total elemen yang berbeda.



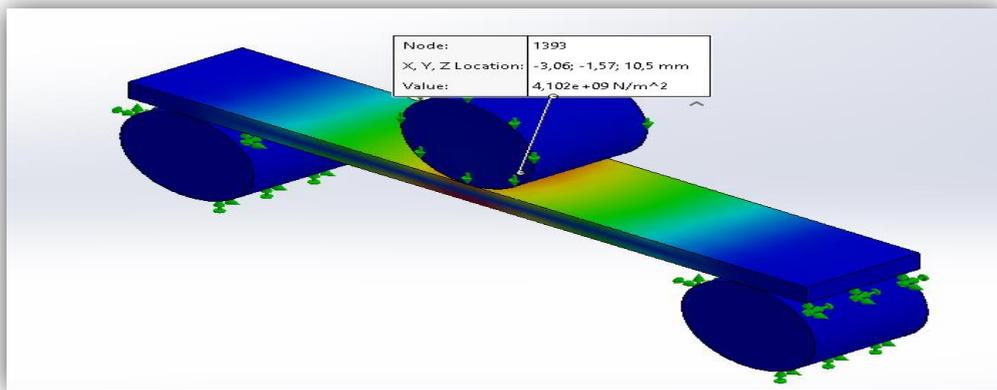
Gambar (a) Total elemen 2200.



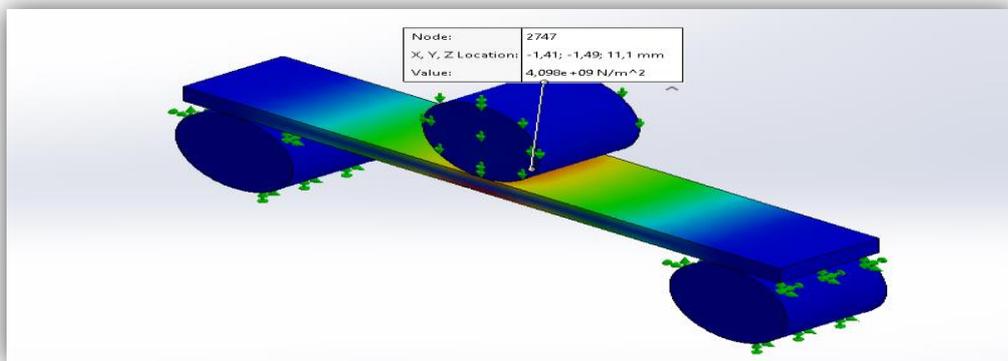
Gambar (b) Total elemen 1956



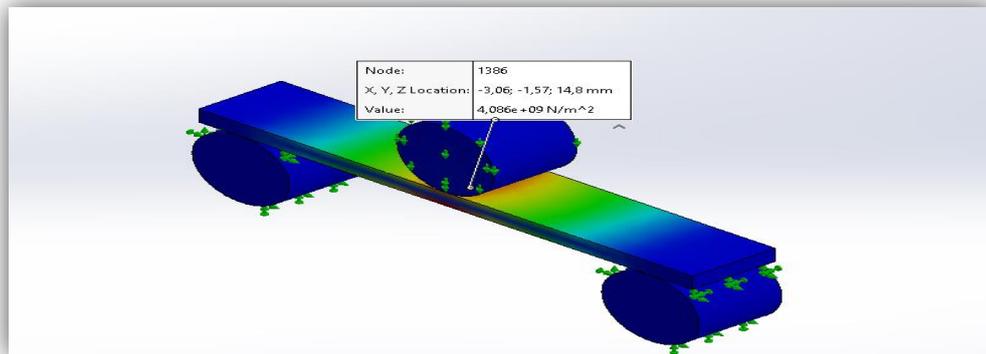
Gambar (c) Total elemen 1565



Gambar (d) Total elemen 1352.



Gambar (e) Total elemen 1280.



Gambar (f) Total elemen 1150.

Gambar 4.5 (a,b,c,d,e,f,) Hasil Simulasi tegangan bending dengan variasi elemen

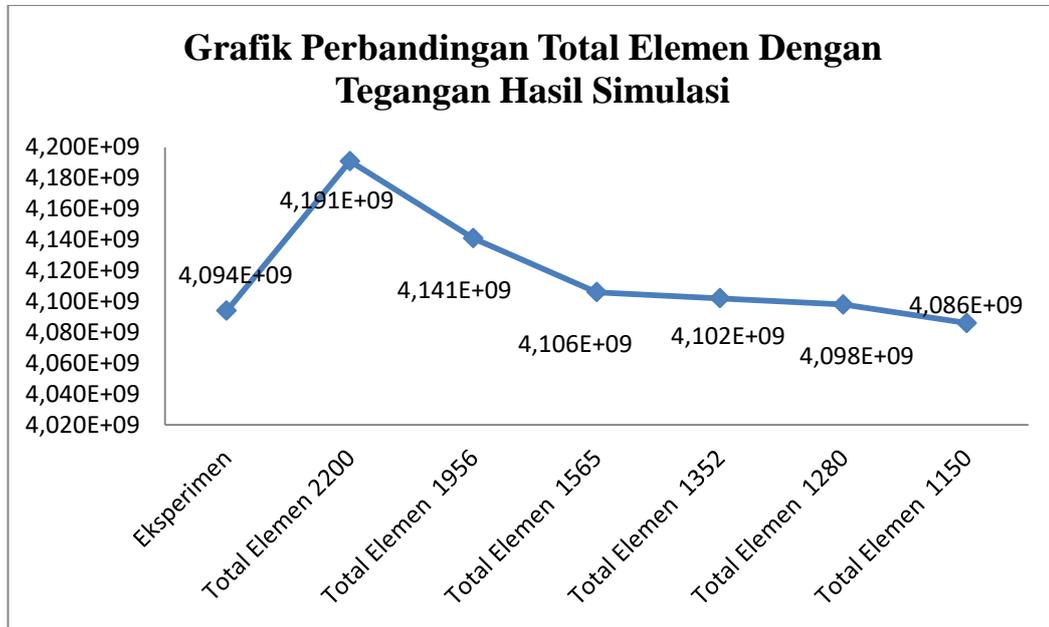
Hasil simulasi tegangan bending dengan variasi elemen *mesh* dapat dilihat pada Tabel 4.1. Hasil Simulasi Uji Bending. Nilai tegangan bending dengan elemen 2200. ($4,191e+09$ N/m²). Nilai tegangan bending elemen 1956. ($4,141e+09$ N/m²). Nilai tegangan bending elemen 1565. ($4,106e+09$ N/m²). Nilai tegangan bending elemen 1352. ($4,102e+09$ N/m²). Nilai tegangan bending, elemen 1280. memiliki hasil nilai ($4,098e+09$ N/m²). dan Nilai tegangan bending, elemen 1150. memiliki hasil nilai ($4,086e+09$ N/m²).

Nilai hasil simulasi tegangan bending pada seluruh variasi elemen *mesh* terlampir pada Tabel 4.1. Hasil Simulasi tegangan *bending*.

Tabel 4.1. Hasil Simulasi tegangan *Bending*

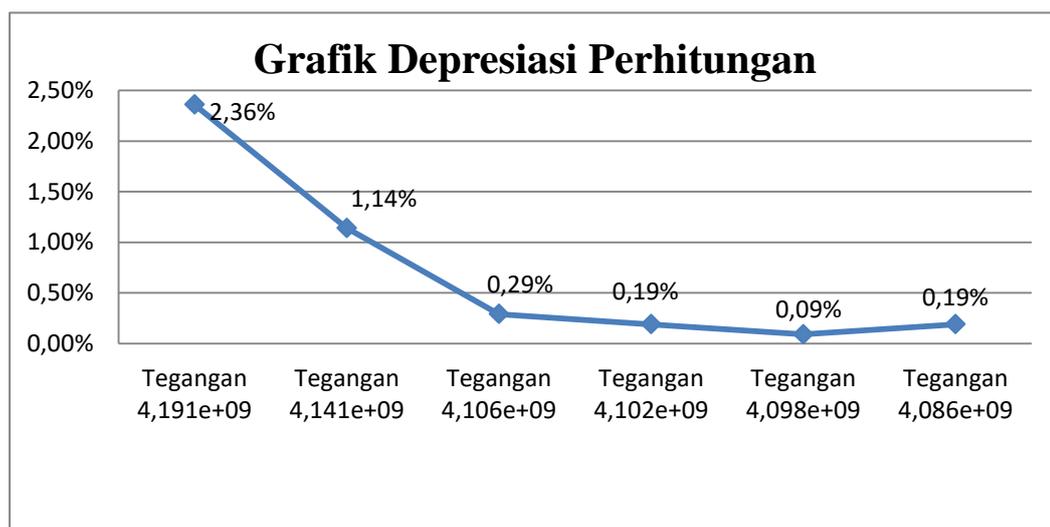
No	Total Node	Total Elemen	Simulasi	Eksperimen	Depresiasi Perhitungan
			Tegangan N/m ²	Tegangan N/m ²	
1	4068	2200	4,191e+09	4,094 e+09	2,36%
2	3688	1956	4,141,e+09		1,14%
3	2988	1565	4,106e+09		0,29%
4	2656	1352	4,102e+09		0,19%
5	2109	1280	4,098e+09		0,09%
6	2087	1150	4,086e+09		0,19%

Berdasarkan data-data yang ada didalam Tabel 4.1. Hasil Simulasi tegang *Bending* kemudian diperlihatkan kedalam bentuk grafik.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan total elemen dan tegangan simulasi.

Pada gambar grafik diatas menunjukkan nilai perbandingan eksperimen dan simulasi tegangan bending. Bedasarkan hasil simulasi tegangan bending maka di dapat depresiasi perhitungan yang dibuat dalam bentuk grafik agar lebih mudah untuk melihat depresiasi perhitungan.

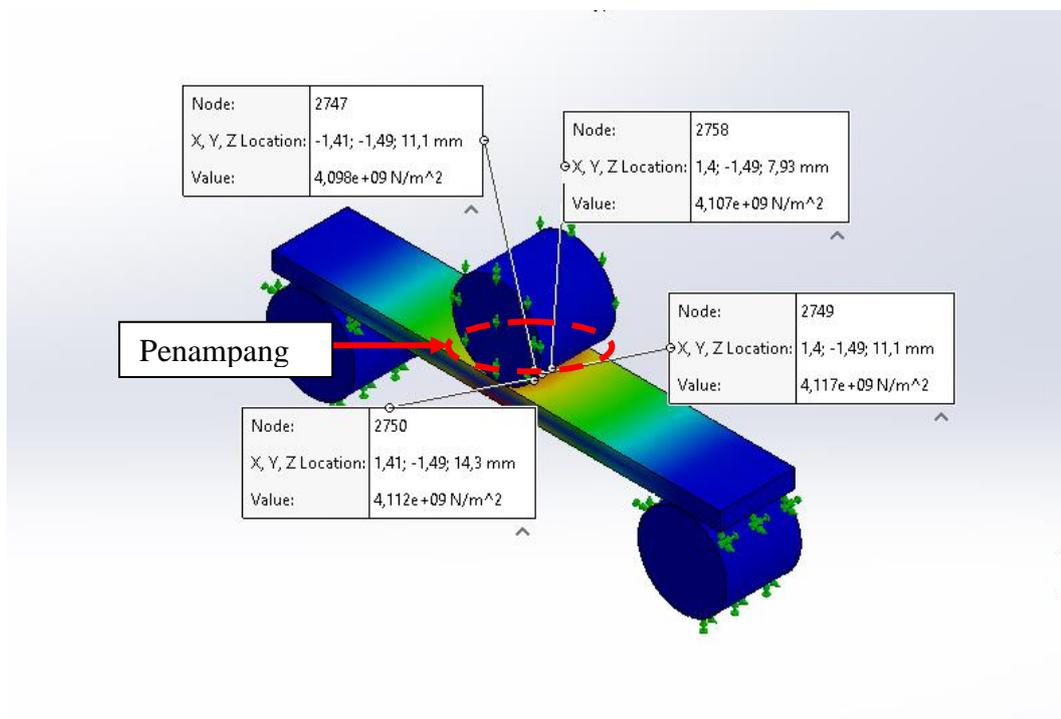


Gambar 4.5. Grafik Depresiasi Perhitungan

Berdasarkan gambar grafik diatas menunjukkan nilai perbandingan eksperimen dan simulasi tegangan bending memiliki selisih nilai rata-rata 0,71%.

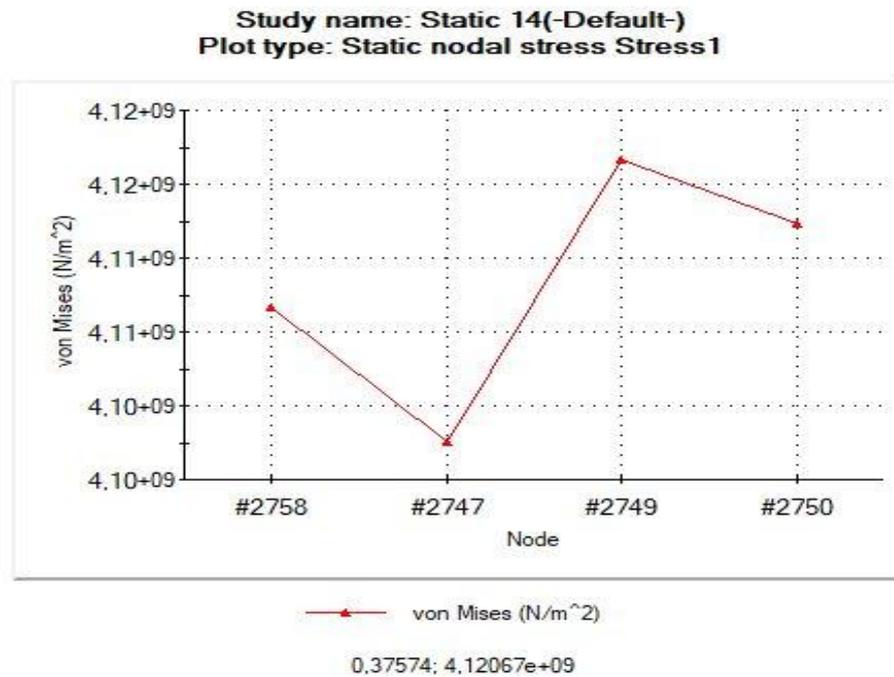
4.2.3. Konsentrasi Tegangan Bending

Berdasarkan hasil simulasi pada daerah tengah batang diberikan konsentrasi tegangan untuk mengetahui besar tegangan yang berada pada bagian tersebut. Pada gambar 4.6. dibrikan empat titik yang berada pada daerah tengah batang.



Gambar 4.6. Konsentrasi Tegangan *Bending* Penampang 1

Berdasarkan empat titik yang diambil mendapat nilai konsentrasi tegangan bending dan kemudian diplotkan kedalam bentuk grafik.



Gambar 4.7. Grafik Konsentrasi Tegangan *Bending*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini ialah telah berhasilnya melakukan simulasi kekuatan tekan (*bending*) pada spesimen baja karbon rendah dengan standart ASTM D790 .

Dari hasil akhir spesimen yang telah dilakukan pengujian *bending* (*Bending Testing*) yang telah di lakukan pada spesimen baja karbon rendah, diperoleh hasil yaitu *Maximum force* : 195,59 Kgf, *Break force* : 192,93 Kgf, *Tensile strength* : 1,30 Kgf/mm². Semantara hasil simulasi pengujian bending dapat disimpulkan hasil yang menggunakan elemen 2200 mendapat nilai tegangan : 4,191E+09 N/m², elemen 1956 nilai tegangan : 4,141E+09 N/m², elemen 1565 dengan nilai tegangan : 4,106E+09 N/m², elemen 1352 dengan nilai tegangan : 4,102E+09 N/m², elemen 1280 dengan nilai tegangan : 4,098E+09 N/m², dan elemen 1150 dengan nilai tegangan 4,086E+09. Setelah diamati dapat diperoleh nilai efesiensi depresiasi tegangan *bending* 0,71%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dari penulis ialah pengembangan riset atau penelitian ini agar bisa dikembangkan lagi oleh penelitian-penelitian selanjutnya dengan jenis baja yg berbedah atau pun ASTM yang berbeda dan juga penelitian ini bisa juga di jadikan sebagai referensi oleh penelitian-penelitian lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akin, J. E. (2009). *Finite Element Analysis Concepts via SolidWorks*.
- Anggraini, R. (2016). *Analisis frekuensi optimum pengujian horizontal fatigue pada berbagai rangka sepeda tipe trekking dengan metode elemen hingga*. Institut teknologi sepuluh nopember.
- Beliu, H. N., Pelle, Y. M., & Jarson, J. U. (2016). Analisa Kekuatan Tarik dan Bending pada Komposit Widuri - Polyester. *Lontar*, 03(02), 11–20.
- Dolu, A. (2000). *Metode elemen hingga dengan program matlab dan aplikasi sap 2000 untuk analisis struktur cangkang*.
- Effendi, M. K. (2017). Pengaruh Model Dan Sifat Material Pada Analisis Metode Elemen Hingga Balok Tabung Baja Bundar Diiisi Beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 19(2), 106–114. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v19i2.8785>
- Harsi, H., Sari, N. H., & Sinarep, S. (2015). Karakteristik Kekuatan Bending Dan Kekuatan Tekan Komposit Serat Hybrid Kapas/Gelas Sebagai Pengganti Produk Kayu. *Dinamika Teknik Mesin*, 5(2), 59–65. <https://doi.org/10.29303/d.v5i2.30>
- Indraswara, A. Y., Anugraha, R. A., & Nugroho, Y. (2015). Perancangan E-Learning Solidworks Modul Part Assembly Menggunakan Model Addie Sebagai Media Pembelajaran Gambar Teknik Yang Efektif. *Jurnal Rekayasa Sistem Dan Industri*, 2(02), 53–58.
- Lelah, M. E. U. (2016). *Laporan Praktikum Laboratorium Teknik Material 1*. 13712050, 1–16.
- Mulyadi, S. (2011). Analisa tegangan-regangan produk tongkat lansia dengan menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Rotor*, 4, 50–58.
- Nurdiansyah, A. D., Teknik, S., Manufaktur, M., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). *ANALISIS KERUSAKAN UJI BENDING PADA PROSES PELAPISAN NIKEL DENGAN VARIASI DENSITAS ARUS DAN LAMA PENCELUPAN BAJA ST 41 Abstrak*. 79–86.
- Pranata, Y. A. (2019). *Diktat Kuliah Metode Elemen Hingga*. 136. <https://apoyosafat.files.wordpress.com/2019/01/yap-meh-2019.pdf>
- Rosbandrio, W., Nugroho, C. B., Baharudin, B., & Simanjuntak, T. S. (2015). Analisa Tekanan Bending Besi Bar Pada Alat Planetary Bending. *Jurnal Integrasi*, 7(1), 36–39.
- Sasmito, A. (2018). Disain Kekuatan Sambungan Hoop Pillar Dan Floor Bearer Pada Struktur Rangka Bus Menggunakan Solidworks. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(1), 657–670. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i1.2023>

Umurani, K., & Amri, T. (2018). Desain dan simulasi suspensi sepeda motor dengan solidwork 2012. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 1(1), 131–139. <https://doi.org/doi.org/10.30596/rmme.v1i1.2435>

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI PROPOSAL TUGAS AKHIR

Analisa Kekuatan Bending Baja Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software (Solidwork)

Nama : Ludfy Amru
NPM : 1607230169

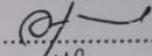
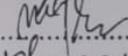
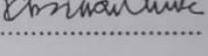
Dosen Pembimbing : Affandi ST.,MT

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Kamis 02/01/2019	Perbaiki isi dari latar belakang, dan mencari jurnal ISSN.	Of
2	Jum'at 07/02/2019	Lengkapi kembali rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat.	Of
3	Kamis 27/02/2020	Perbaiki bab 2 sesuai panduan.	Of
4	Jum'at 06/03/2020	Perbaiki bab 3 dan membuat diagram alir.	Of
5	Kamis 20/03/2020	Perbaiki bahan dan alat.	Of
6	Kamis 07/02/2021	Perbaiki susunan gambar, tabel dan grafik.	Of
7	Kamis 11/02/2021	Lengkapi narasi pada hasil penelitian dan pembahasan.	Of
8	Senin 08/03/2021	Perbaiki lampiran-lampiran dan di perjelas lagi lampiran-lampiran.	Of
9	selasa 16/03/2021	Ace Seminar lhasia	Of

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Ludfy Amru
 NPM : 1607230169
 Judul Tugas Akhir : Analisa Kekuatan Bending Baja Dengan Metode Elemen Hingga Meng-
 Gunakan Software (Solidwork)

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Affandi.S.T.M.T	: 
Pemanding – I : M.Yani.S.T.M.T	: 
Pemanding – II : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607230169	LUDFY AMRU	
2	1607230159	Rais Siptenadi Harahap	
3	1607230086	ANDRE IRFANLDI	
4	1607230074	M.ikhlas Alimawan	
5	1607230087	FIKRI ARDIANTO	
6	1607230074	AHMAD SOFYAN	
7			
8			
9			
10			

Medan, 10 Sya'ban 1442 H
24 Maret 2021 M

Ketua Prodi T. Mesin



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ludfy Amru
NPM : 1607230169
Judul T.Akhir : Analisa Kekuatan Bending Baja Dengan Metode Elemen Hingga Meng-
Gunakan Software (Solidwork)

Dosen Pembimbing - I : Affandi.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : M.Yani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Khairul Umurani.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*libat pada bagian draft skripsi untuk
revisi*

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....

Medan 10 Sya'ban 1442H
24 Maret 2021M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- I

M. Yani
M. Yani.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ludfy Amru
NPM : 1607230169
Judul T.Akhir : Analisa Kekuatan Bending Baja Dengan Metode Elemen Hingga Meng-
Gunakan Software (Solidwork)

Dosen Pembimbing - I : Affandi.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : M.Yani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Khairul Umurani.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

lihat pada bagian draft skripsi untuk
revisi

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....

Medan 10 Sya'ban 1442H
24 Maret 2021M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- I

M. Yani.S.T.M.T

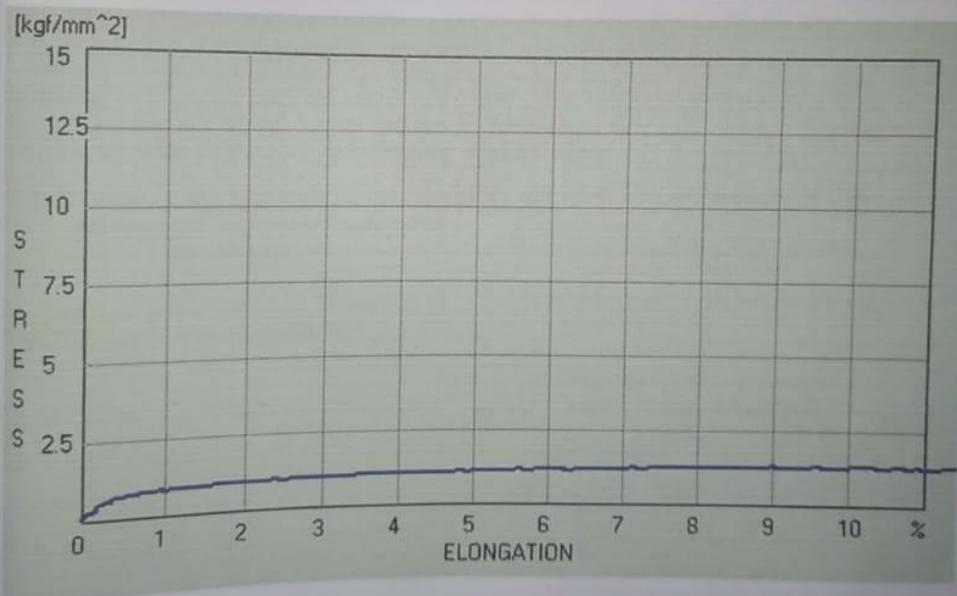


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	1	Max. Force :	195.59 (kgf)
Test Type :	3P-Bending	Break Force :	192.93 (kgf)
Date Test :	16-11-2020 ; 12:57:19	Yield Strength :	0.10 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	1.30 (kgf/mm ²)
Area :	150.00 (mm ²)	Elongation :	0.00 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material



UMSU
Pegawai (Guru & Tenaga)
Karyawan (Surat ini agar disebutkan
dan tanggalnya)

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 163/III.3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 1 Februari 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : LUDFY AMRIJ
Npm : 1607230169
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : IX (SEMBILAN)
Judul Tugas Akhir : ANALISA KEKUATAN BENDING BAJA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN SOFTWARE (SOLIDWORK)
Pembimbing : AFFANDI, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

3. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
4. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 19 Jumadil Akhir 1442 H
1 Februari 2021 M



Mungwar Alfansury Siregar, ST, MT
NIDN: 0101017202





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL

Jl. Willem Iskandar Pasar V Medan Estate 20221
Telp. (061) 6625971/081370000227



SURAT KETERANGAN

No. 012/UN.33.8/LL/2020

Tentang Pengujian Material

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir. Batumahadi Siregar, S.T.,M.T.,IPM
Jabatan : Kepala Laboratorium Pengujian Material
Teknik Mesin Unimed.

Menyatakan bahwa :

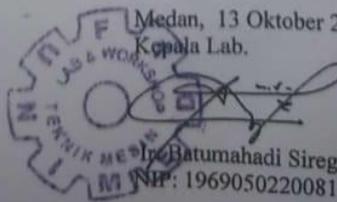
Nama : M. Ikhsan Himawan
NPM : 1607230074
Isntitusi : Fakultas Teknik Mesin UMSU

Adalah benar nama tersebut diatas telah melakukan pengujian bahan Metode Uji Komposisi (*Spectrometer*) di Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin UNIMED dalam pelaksanaan penelitian TUGAS AKHIR yang berjudul tentang "Analisa Kekuatan Tarik Baja Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Softwer Solidwork" di bawah bimbingan dengan dosen pembimbing, Affandi S.T.,M.T, dengan hasil telampir.

Demikian surat keterangan ini dibuat, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Medan, 13 Oktober 2020

Kepala Lab.



Batumahadi Siregar, S.T.,M.T.,IPM
NIP: 196905022008121001

LABORATORIUM/WORKSHOP TEKNIK MESIN
 UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
 Jl. Willem Iskandar Psr. V Medan Estate 20221
 Medan - Sumatera Utara
 Telp. (061) 6625971/085206008181

WORDLWIDE ANALYTICAL SYSTEMS AG
 WAS Sampel Testing of Different Qualities



Chemical Result

Sample ID	173		Material	Besi Plat ST37			
Costumer	Andre Irfandi		Dimension	62 mm x 254 mm x 6 mm			
Institution	FT Mesin UMSU		Filler Metal	-			
Lab No	-		Heat Treatment	-			
PTQ No	0		Heat No	-			

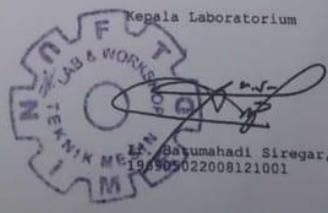
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	96.1	0.190	0.0452	1.24	0.0133	0.0120	0.0459	0.0474
2	96.2	0.199	0.0425	1.16	0.0140	0.0154	0.0461	0.0641
3	97.1	0.178	0.0506	1.14	0.0292	0.0125	0.0426	0.0428
Ave	96.5	0.189	0.0461	1.18	0.0188	0.0133	0.0449	0.0514

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	1.98	0.0508	< 0.0010	0.0272	0.0447	0.0067	0.0158	0.0489
2	1.98	0.0462	< 0.0010	0.0276	0.0432	0.0060	0.0096	0.0455
3	1.15	0.0453	< 0.0010	0.0269	0.0429	0.0062	0.0117	0.0517
Ave	1.70	0.0474	< 0.0010	0.0272	0.0436	0.0063	0.0124	0.0487

	Pb
1	0.0208
2	0.0200
3	0.0273
Ave	0.0227

Date 13/10/2020
 Tester
 Enginner Mhd. Agus Salim, S.T.
 University State University of Medan
 Foundry Master Grade 1.0421 St52.0S

Kepala Laboratorium
 Batumahadi Siregar, MT
 194905022008121001



3p-Bending
Others
16-11-2020
12:57:19

bensingLuthfi_1

1
300
140
0
25
6
0

1	0.00	0.000	0.00
2	8.53	0.059	0.01
3	20.47	0.059	0.01
4	35.07	0.118	0.02
5	45.68	0.237	0.02
6	53.64	0.296	0.03
7	70.88	0.296	0.04
8	77.52	0.355	0.04
9	80.17	0.415	0.05
10	90.78	0.533	0.05
11	98.74	0.533	0.06
12	105.38	0.593	0.06
13	106.70	0.712	0.07
14	108.03	0.771	0.07
15	113.34	0.830	0.08
16	110.68	0.830	0.08
17	113.34	0.949	0.09
18	119.97	1.008	0.09
19	127.93	1.068	0.10
20	125.28	1.127	0.10
21	122.62	1.186	0.11
22	123.95	1.246	0.11
23	126.60	1.305	0.12
24	126.60	1.424	0.12
25	125.28	1.424	0.13
26	133.24	1.483	0.13
27	133.24	1.602	0.14
28	126.60	1.602	0.14
29	131.91	1.720	0.15
30	133.24	1.720	0.15
31	134.56	1.839	0.16
32	134.56	1.898	0.17
33	134.56	1.958	0.17
34	138.54	1.958	0.18
35	134.56	2.077	0.18
36	135.89	2.136	0.19
37	139.87	2.255	0.19
38	142.52	2.314	0.20
39	141.20	2.373	0.20
40	138.54	2.433	0.21
41	139.87	2.492	0.21
42	139.87	2.611	0.22
43	139.87	2.611	0.22
44	141.20	2.729	0.23
45	145.18	2.789	0.23
46	143.85	2.907	0.24
47	141.20	2.967	0.24
48	142.52	3.026	0.25
49	139.87	3.085	0.25
50	145.18	3.204	0.26
51	145.18	3.204	0.26
52	145.18	3.323	0.27
53	147.83	3.323	0.27
54	146.50	3.441	0.28
55	145.18	3.560	0.28
56	147.83	3.620	0.29
57	147.83	3.738	0.30

58	151.81	3.798	0.30	bensingLuthfi_1
59	151.81	3.857	0.31	
60	149.15	3.916	0.31	
61	151.81	3.976	0.32	
62	151.81	4.035	0.32	
63	147.83	4.094	0.33	
64	153.13	4.154	0.33	
65	153.13	4.213	0.34	
66	154.46	4.332	0.34	
67	153.13	4.391	0.35	
68	154.46	4.510	0.35	
69	155.79	4.510	0.36	
70	154.46	4.628	0.36	
71	153.13	4.628	0.37	
72	155.79	4.747	0.37	
73	154.46	4.806	0.38	
74	158.44	4.866	0.38	
75	158.44	4.925	0.39	
76	155.79	4.985	0.39	
77	157.11	5.103	0.40	
78	157.11	5.163	0.40	
79	155.79	5.222	0.41	
80	155.79	5.281	0.41	
81	159.77	5.341	0.42	
82	163.75	5.400	0.43	
83	158.44	5.519	0.43	
84	157.11	5.578	0.44	
85	159.77	5.637	0.44	
86	159.77	5.697	0.45	
87	159.77	5.815	0.45	
88	162.42	5.875	0.46	
89	163.75	5.934	0.46	
90	162.42	5.993	0.47	
91	163.75	6.112	0.47	
92	161.09	6.171	0.48	
93	162.42	6.231	0.48	
94	163.75	6.409	0.49	
95	163.75	6.468	0.49	
96	162.42	6.468	0.50	
97	162.42	6.528	0.50	
98	169.05	6.706	0.51	
99	167.73	6.706	0.51	
100	165.07	6.765	0.52	
101	166.40	6.884	0.53	
102	163.75	7.002	0.53	
103	167.73	7.062	0.54	
104	167.73	7.121	0.54	
105	167.73	7.180	0.55	
106	170.38	7.299	0.56	
107	174.36	7.477	0.56	
108	171.71	7.477	0.57	
109	167.73	7.596	0.57	
110	167.73	7.655	0.58	
111	171.71	7.714	0.58	
112	173.03	7.833	0.59	
113	171.71	7.833	0.59	
114	177.01	7.952	0.60	
115	174.36	7.952	0.60	
116	175.69	8.071	0.61	
117	173.03	8.130	0.61	
118	170.38	8.189	0.62	
119	174.36	8.308	0.62	
120	175.69	8.367	0.63	
121	177.01	8.486	0.63	
122	175.69	8.486	0.64	
123	177.01	8.605	0.64	
124	178.34	8.664	0.65	
125	178.34			

			bensingLuthfi_1
126	177.01	8.783	0.65
127	173.03	8.783	0.66
127	174.36	8.901	0.66
128	178.34	8.961	0.66
129	182.32	9.020	0.67
130	178.34	9.079	0.67
131	180.99	9.139	0.68
132	179.67	9.258	0.69
133	180.99	9.317	0.69
134	179.67	9.436	0.70
135	177.01	9.495	0.70
136	180.99	9.495	0.71
137	179.67	9.673	0.71
138	186.30	9.732	0.72
139	180.99	9.792	0.72
140	182.32	9.851	0.73
141	184.97	9.970	0.73
142	183.65	10.029	0.74
143	186.30	10.088	0.74
144	182.32	10.266	0.75
145	180.99	10.266	0.75
146	186.30	10.326	0.76
147	190.28	10.444	0.76
148	188.95	10.504	0.77
149	187.63	10.563	0.77
150	186.30	10.623	0.78
151	187.63	10.741	0.78
152	188.95	10.801	0.79
153	187.63	10.860	0.79
154	186.30	10.979	0.80
155	186.30	11.038	0.80
156	190.28	11.097	0.81
157	190.28	11.157	0.82
158	188.95	11.275	0.82
159	187.63	11.394	0.83
160	184.97	11.453	0.83
161	188.95	11.513	0.84
162	187.63	11.631	0.84
163	187.63	11.631	0.85
164	187.63	11.750	0.85
165	190.28	11.809	0.86
166	190.28	11.869	0.86
167	190.28	11.987	0.87
168	188.95	12.047	0.87
169	190.28	12.166	0.88
170	187.63	12.284	0.88
171	190.28	12.284	0.89
172	186.30	12.403	0.89
173	184.97	12.462	0.90
174	194.26	12.581	0.91
175	192.93	12.581	0.91
176	194.26	12.700	0.92
177	190.28	12.818	0.92
178	188.95	12.818	0.93
179	191.61	12.996	0.93
180	191.61	13.056	0.94
181	190.28	13.115	0.95
182	190.28	13.174	0.95
183	191.61	13.293	0.96
184	192.93	13.352	0.96
185	194.26	13.412	0.97
186	194.26	13.531	0.97
187	191.61	13.590	0.98
188	191.61	13.709	0.98
189	188.95	13.887	0.99
190	192.93	13.946	0.99
191	191.61	14.065	1.00
192	195.59		1.00
193			

bensingLuthfi_1

194	192.93	14.124	1.01
195	196.91	14.183	1.01
196	194.26	14.302	1.02
197	192.93	14.421	1.02
198	196.91	14.421	1.03
199	192.93	14.539	1.03
200	195.59	14.539	1.04
201	191.61	14.658	1.04
202	191.61	14.777	1.05
203	195.59	14.836	1.05
204	198.24	14.896	1.06
205	195.59	15.014	1.06
206	194.26	15.074	1.07
207	191.61	15.133	1.08
208	194.26	15.252	1.08
209	195.59	15.370	1.09
210	190.28	15.489	1.09
211	191.61	15.548	1.10
212	190.28	15.548	1.10
213	195.59	15.726	1.11
214	195.59	15.786	1.11
215	194.26	15.845	1.12
216	192.93	15.964	1.12
217	192.93	16.082	1.13
218	194.26	16.142	1.13
219	192.93	16.201	1.14
220	192.93	16.320	1.14
221	194.26	16.379	1.15
222	195.59	16.439	1.15
223	196.91	16.498	1.16
224	196.91	16.617	1.16
225	192.93	16.735	1.17
226	195.59	16.795	1.17
227	192.93	16.854	1.18

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama	: Ludfy Amru
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Tempat Dan Tanggal Lahir	: Desa Lestari, 12 Juli 19998
Alamat	: Dusun II Perk. Dolok
Agama	: Islam
E-Mail	: Amruamru.bjm@gmail.com
No. Hp	: 081340425103

B. RIWAYAT HIDUP

1. Sdn 016514 : 2004-2010
2. Mtsn Lima Puluh : 2010-2013
3. Man Lima Puluh : 2013-2016
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara : 2016-2021