

TUGAS AKHIR

ANALISA NUMERIK KEKUATAN VELG SEPEDA MOTOR YANG DIBEKANI DENGAN BEBAN IMPACT

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

Disusun Oleh:

M. ADIMAS NUGRAHA
1407230266



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Adimas Nugraha
NPM : 1407230266
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Numerik Kekuatan *Velg* Sepeda Motor Yang Dibebeani Dengan Beban *Impact*
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Penguji I



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Penguji II



Chandra A. Siregar S.T., M.T

Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Penguji IV



Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,


Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. Adimas Nugraha
Tempat /Tanggal Lahir: Medan/12 Mei 1996
NPM : 1407230266
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

"Analisa Numerik Kekuatan *Velg* Sepeda Motor Yang Dibebani Dengan Beban *Impact*",

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, 12 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



M. Adimas Nugraha

ABSTRAK

Velg pada kendaraan sepeda motor merupakan komponen penting pada sebuah kendaraan dimana *velg* merupakan komponen kendaraan yang langsung bersinggungan dengan jalan raya. Pada masa ini banyak pengguna sepeda motor memakai *velg* jenis *casting wheel* karena memiliki nilai estetika tanpa mengesampingkan keselamatan bagi pengendara. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan dan analisis kekuatan *velg cast wheel* sepeda motor dengan jumlah *spoke* (palang) sebanyak 5 *spoke* dengan variasi kecepatan *impact* yang diberikan pada *velg cast wheel* sebesar 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h dan 35 km/h. Material *velg* yang digunakan adalah Aluminium Alloy 6063-T6 dan material proyektil yang digunakan adalah Aluminium Alloy 6063-O. *Velg* yang akan dirancang memiliki ukuran diameter 433,3 mm dan lebar 68 mm dan proyektil memiliki ukuran Panjang 77,45 mm dan lebar 68 mm. Untuk memudahkan proses desain model dan simulasi yang akan dilakukan pada *velg cast wheel*, dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang berbasis metode elemen hingga berupa *Solidworks*. Dengan menggunakan perangkat lunak tersebut kita dapat merancang serta menyimulasikan rancangan sehingga dapat diketahui tegangan dan regangan yang terjadi pada simulasi beban *impact* pada dasar bidang *spoke* dan simulasi beban *impact* pada dasar bidang antar *spoke velg cast wheel* yang telah dirancang. Dimana nilai tegangan dan regangan akan mengalami kenaikan seiring dengan perubahan variasi kecepatan dan distribusi tegangan tertinggi terjadi pada simulasi beban *impact* pada dasar bidang antar *spoke*.

Kata kunci: *Velg cast wheel, impact, spoke, tegangan, metode elemen hingga*

ABSTRACT

Rims on a motorcycle is important component on a vehicle which rim is component of vehicle that directly contact with the road. At this time, many users of motor cycle use rim type casting wheel because it has aesthetic value without set aside safety for the driver. In this research is planning and analyzing strength of cast wheel rim of motor cycle with amount of 5 spokes with variation of impact velocity that gave on cast wheel rim at 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h and 35 km/h. Material for rims that used is Aluminium Alloy 6063-T6 and material for projectile that used is Aluminium Alloy 6063-O. Rims that will build has 433,3 mm at diameter and 68 at width and projectile 77,45 mm at length and 68 mm at width.. To make design and testing easy on cast wheel rim, it can be done using software based by finite element method that is Solidworks. With that software, we can design and doing simulation on that design so we knew about stress and strain that occur on simulation of impact load at base of spoke and simulation of impact load at base of between spoke cast wheel rim that designed. Which the value of stress and strain will rise along with the changing from variation of velocity and the highest stress occur at simulation of impact load at base of between spoke.

Keywords: Cast wheel rim, impact, spoke, stress, finite element method

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 “Analisa Numerik Kekuatan *Velg* Sepeda Motor Yang Dibebeani Dengan Beban *Impact*” 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 Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Wakil Dekan III Program Studi Teknik Mesiin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Wakil Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Affandi, S.T, M.T, selaku Ketua Prodi Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumater Utara yang telah memberikan masukan kepada penulis.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Ir. Erwandi. Us. MM dan Nurhayati yang telah bersusah payah membesarkan, membiayai dan memberi semangat kepada penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: The Excalibur Class yang selalu memberikan semangat dan bantuan moril ketika penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
11. Kepada Drum Corps Safarina MAN 1 Medan yang selalu mendukung penulis dan menjadi tempat penulis untuk menuangkan kreatifitas dan kreasi disaat penulis mengerjakan Tugas Akhir.
12. Kepada teman penulis Agus Sulistiadi yang telah membantu penulis dalam mempelajari dan menjalankan perangkat lunak *Solidworks* sehingga penulis dapat memahami lebih perangkat lunak *Solidworks*.
13. Kepada teman penulis Kelas C-1 Pagi Teknik Mesin yang sama sama berjuang dalam mengerjakan Tugas Akhirnya masing-masing.
14. Kepada rekan-rekan Program Internship Jepang yang sama sama berjuang dalam mengerjakan Tugas Akhir dan tetap memberikan dukungan moral kepada penulis.
15. Sahabat-sahabat penulis: Dira Tamirza, Tiara Dwi Sartika dan Nura Afifah yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dan sahabat lain yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan 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, 12 Maret 2019

M. Adimas Nugraha

2.6.	Perencanaan dan Gambar Teknik	21
2.6.1.	Perancangan	22
2.6.2.	Metode Pembentukan Model 3D Solid dari 2D	23
2.7.	<i>Solidworks</i>	24
BAB 3	METODOLOGI	26
3.1	Tempat dan Waktu	26
3.2	Alat	27
3.3	Bagan Alir Penelitian	28
3.4	Perancangan Model dengan <i>software Solidworks 2014</i>	29
3.5	Pengujian Pada Struktur Model	29
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Proses Perancangan <i>velg</i> dengan <i>Software Solidworks 2014</i>	31
4.2	Proses Simulasi pada <i>velg</i>	35
4.3	Hasil Simulasi	39
4.3.1	Simulasi pada Dasar Bidang <i>Spoke</i>	39
4.3.2	Simulasi pada Dasar Bidang Antar <i>Spoke</i>	42
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47
	DAFTAR PUSTAKA	48
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ukuran <i>velg</i> tipe WM	4
Tabel 2.2	Ukuran diameter (D) dan keliling <i>velg</i> tipe WM	4
Tabel 2.3	Tipe-tipe elemen 3-dimensi yang populer digunakan	14
Tabel 2.4	Titik Gauss dan faktor bobot untuk integral 1-dimensi	18
Tabel 2.5	Titik Gauss dan faktor bobot untuk integral 2-dimensi	20
Tabel 3.1	Waktu pelaksanaan penelitian	26
Tabel 4.1	Sifat Aluminium Alloy 6063-T6	36
Tabel 4.2	Sifat Aluminium Alloy 6063-O	37
Tabel 4.3	Hasil simulasi <i>velg</i> pada dasar bidang <i>spoke</i>	41
Tabel 4.4	Hasil simulasi <i>velg</i> pada dasar bidang antar <i>spoke</i>	44
Tabel 4.5	Nilai <i>factor of safety</i> dari <i>velg cast wheel</i>	45
Tabel 4.6	Nilai <i>margin of safety</i> dari <i>velg cast wheel</i>	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk <i>velg</i> tipe WM	4
Gambar 2.2	Pembebanan metode Charpy dan metode Izod	6
Gambar 2.3	Mekanisme uji <i>impact</i>	6
Gambar 2.4	Kurva tegangan-regangan	8
Gambar 2.5	Persamaan <i>Von Mises</i>	10
Gambar 2.6	Elemen kuadratik sisi lekuk isoparametrik 6 node pada (a) sistem sumbu kartesian (fisikal); (b) sistem sumbu natural	13
Gambar 2.7	Elemen linear 3-dimensi (<i>hexahedron</i>) dalam sistem koordinat natural	13
Gambar 2.8	Elemen linear heksahedron isoparametrik pada (a) sistem kartesian (fisikal); (b) sistem sumbu natural	15
Gambar 2.9	Koordinat volume pada elemen linear tetrahedron	16
Gambar 2.10	Elemen kuadratik heksahedron serendipiti pada sumbu natural	17
Gambar 2.11	Gauss quadrature 1-dimensi	19
Gambar 2.12	Gauss quadrature 2-dimensi dengan 4 titik Gauss	20
Gambar 2.13	Gauss quadrature 2-dimensi dengan 3 titik Gauss	20
Gambar 2.14	Extrude	23
Gambar 2.15	Tampilan awal <i>Solidworks</i> 2014	24
Gambar 2.16	Tampilan <i>Solidworks</i> 2014	25
Gambar 3.1	Komputer laboratorium komputer fakultas Teknik	26
Gambar 3.2	Perangkat lunak <i>Solidworks</i> 2014	27
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian	28
Gambar 4.1	Desain dan ukuran bagian tengah <i>velg</i>	31
Gambar 4.2	Desain dan ukuran bagian luar <i>velg</i>	31
Gambar 4.3	Desain <i>velg</i> setelah di Revolve Boss/Base	32
Gambar 4.4	Desain bagian tengah <i>velg</i>	32
Gambar 4.5	Membuat <i>spoke velg</i>	33
Gambar 4.6	<i>Fillet</i> pada bagian <i>spoke</i>	33
Gambar 4.7	Membuat jumlah <i>spoke</i> pada <i>velg</i>	34
Gambar 4.8	Desain Projektil	34
Gambar 4.9	Proses <i>Assembly</i>	35
Gambar 4.10	Pembuatan bidang uji pada dasar bidang <i>spoke velg</i>	35
Gambar 4.11	Pembuatan bidang uji pada dasar bidang antar <i>spoke</i>	36
Gambar 4.12	Pemberian Fixed Geometry	37
Gambar 4.13	Pemberian bidang kontak	38
Gambar 4.14	Pemberian <i>mesh</i> pada benda kerja	38
Gambar 4.15	Distribusi tegangan pada dasar bidang <i>spoke</i> (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h	39
Gambar 4.16	Distribusi regangan pada dasar bidang <i>spoke</i> (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h	40
Gambar 4.17	Grafik hubungan: (a) kecepatan <i>impact</i> dan tegangan; (b) kecepatan <i>impact</i> dan regangan	41
Gambar 4.18	Distribusi tegangan pada dasar bidang antar <i>spoke</i> (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h	42
Gambar 4.19	Distribusi regangan pada dasar bidang antar <i>spoke</i> (a)	42

Gambar 4.20	15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h	43
	Grafik hubungan: (a) kecepatan <i>impact</i> dan tegangan;	
	(b) kecepatan <i>impact</i> dan regangan	44

DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Besaran	Satuan
1.	D	Diameter	mm
2.	F	Gaya	N
3.	m	Massa	Kg
4.	Em	Energi Mekanik	J
5.	Ep	Energi Potensial	J
6.	Ek	Energi Kinetik	J
7.	v	Kecepatan	km/h
8.	h	Ketinggian	m
9.	L	Panjang Lengan	m
10.	A	Luas Penampang	mm ²
11.	P	Tekanan	Pa
12.	g	Percepatan gravitasi	m/s ²
13.	r	Jari-jari	mm
14.	σ	Tegangan	N/m ²
15.	ε	Regangan	
16.	η	<i>Factor of safety</i>	

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aspek keselamatan dalam berkendara merupakan hal yang paling wajib diperhitungkan dalam dunia otomotif karena hal tersebut berkaitan erat dengan nyawa dari pengendara dan penumpang. Sehingga dalam pemodifikasian setiap komponennya haruslah melalui pertimbangan yang sangat matang, tepat dalam pemilihan material, desain yang baik dan melalui perhitungan yang benar. Dalam dunia otomotif telah banyak terjadi kecelakaan yang disebabkan oleh *velg* sepeda motor (*motor cycle cast wheel rim*) yang pecah. Dengan mempertimbangkan aspek keselamatan tersebut, maka masalah yang dibahas dalam analisis ini adalah tentang *velg cast wheel* pada sepeda motor jika diberi beban *impact*.

Velg merupakan komponen utama dalam sebuah kendaraan. Tanpa *velg*, kendaraan sepeda motor tidak akan dapat berjalan. Terdapat dua jenis *velg* yang dikenal di kalangan masyarakat yaitu *velg* ruji atau biasa disebut *velg* jari-jari dan *velg cast wheel* atau biasa dikenal dengan sebutan *velg racing*. *Velg* ruji tidak banyak disukai karena beberapa alasan, salah satunya adalah tidak sesuai perkembangan zaman (kuno). Oleh karena itu banyak yang menggantinya dengan *velg* yang lebih modern atau yang disebut dengan *velg cast wheel*

Velg cast wheel pada sepeda motor adalah kerangka dari sebuah ban yang menahan gaya dari luar akibat dari berat kendaraan dan *impact* atau pukulan dari permukaan jalan. *Impact* dari permukaan jalan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya tegangan dan regangan pada *cast wheel*.

Kerusakan yang terjadi pada *velg cast wheel* adalah pecahnya bibir *velg* atau pecahnya *spoke* pada *velg cast wheel* akibat gaya dan tegangan yang terjadi melebihi tegangan maksimum yang diizinkan. Dengan mempertimbangkan masalah ini maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh desain *velg* terhadap tegangan dan regangan dengan metode analisa numerik berbasis komputer yaitu perangkat lunak *Solidworks* untuk mempermudah proses desain dan perhitungan analisis.

Berdasarkan latar belakang di atas dibuatlah penelitian dengan judul: Analisa numerik kekuatan *velg* sepeda motor yang dibebani dengan beban *impact*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana menentukan ukuran *velg* yang akan dirancang?
1. Bagaimana mendesain *velg* menggunakan *software Solidworks*?
2. Bagaimana menyimulasikan dan mengevaluasi kekuatan *velg* setelah diberi beban *impact* melalui simulasi *Solidworks*?

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah

1. Perancangan dan simulasi 1 buah *velg* menggunakan *software Solidworks*.
2. Material *velg* berupa Aluminium Alloy 6063-T6 dan material proyektil berupa Aluminium Alloy 6063-O.
3. Ukuran *velg* yang dirancang memiliki diameter 433,3 mm dan lebar 68 mm dan ukuran proyektil yang dirancang dengan panjang 77,45 mm dan lebar 68 mm.
4. Variasi kecepatan beban *impact* yang dipakai adalah 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h dan 35 km/h.

1.4 Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah

1. Untuk mendesain, menyimulasi dan mengevaluasi kekuatan *velg* setelah diberi variasi beban *impact* menggunakan *software Solidworks*.
2. Untuk mengetahui distribusi tegangan dan regangan yang terjadi ketika diberi variasi beban *impact* antara simulasi pada dasar bidang *spoke* dan simulasi pada dasar bidang antar *spoke*.

1.5 Manfaat

Manfaat pada penelitian ini adalah

1. Dapat memberikan informasi tentang kekukatan tegangan dan regangan yang terjadi pada *velg* yang diberi beban *impact* kepada masyarakat.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembuatan model *velg* di masa yang akan datang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Velg*

2.1.1 Pengertian *Velg*

Velg merupakan salah satu komponen yang penting dalam kendaraan motor roda dua, yang berguna untuk menerima berat dan semua beban (gaya) yang ditimbulkan oleh kondisi jalan. *Velg* merupakan lingkaran luar desain logam yang tepi bagian dalam pada ban sudah terpasang pada kendaraan seperti motor. Sebagai contohnya, pada roda sepeda di tepi lingkaran yang besar menempel pada ujung luar dari jari-jari roda yang memegang ban dan tabung. Kegunaannya adalah sebagai tempat menempelnya ban pada ujung luar dari jari-jari roda agar ban dapat mengesek ketika berputar serta *velg* ini dapat menghasilkan lebih banyak getaran dan kurang nyaman karena dinding samping ban tidak cukup kelengkungan yang fleksibel mengemudi dengan benar di atas permukaan yang kasar.

2.1.2 Spesifikasi *Velg*

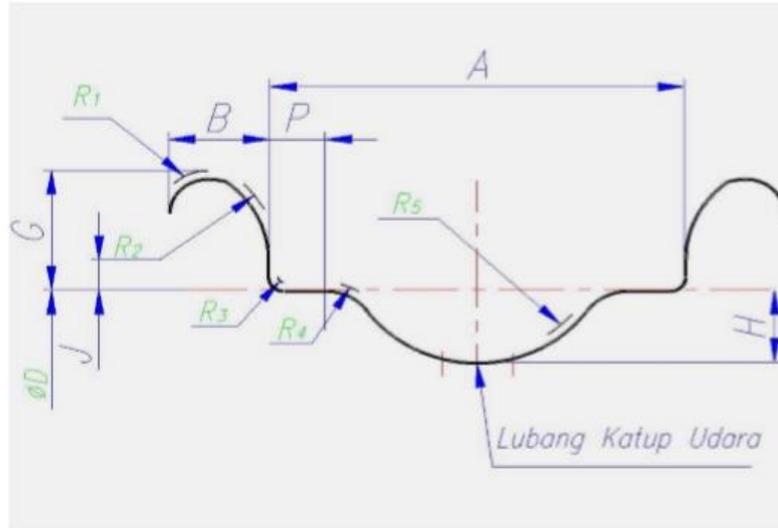
Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), *velg* untuk kendaraan bermotor kategori L adalah dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Untuk menyesuaikan tuntutan perkembangan teknologi.
- b. Untuk meningkatkan mutu produk yang beredar.
- c. Untuk menunjang perkembangan industri komponen otomotif dalam negeri, dan
- d. Untuk memberikan jaminan perlindungan pada konsumen dan produsen.

Velg diklasifikasikan menjadi tiga macam tipe, yaitu tipe WM, tipe MT, dan tipe LF. Namun pada tugas akhir ini digunakan *velg* tipe WM dengan spesifikasi:

1. Bentuk *Velg*

Bentuk *velg* tipe WM dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bentuk *velg* tipe WM

2. Ukuran *Velg*

Ukuran *velg* tipe WM lebih rincinya terdapat dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

Tabel 2.1 Ukuran *velg* tipe WM

Lebar <i>velg</i> nominal (inch)	A		B		G		H		P		R ₁		R ₃	R ₄	R ₅
	Dimensi	Toleransi	Min	Dimensi	Toleransi	Dimensi	Toleransi	Dimensi	Toleransi	J	Min	R ₂	Maks	Min	
1,10	28,0		5,0	7,0		7,0		3,0		2,0	1,5	5,5			7,0
1,20	30,5		5,5	9,0		8,0		3,5		3,5		6,0	1,5	5,0	10,0
1,40	36,0		6,5	10,0		8,0		4,0		4,0		6,5			11,5
1,50	38,0		7,5	10,5		8,0		4,0		4,0		7,0		5,5	13,0
1,60	40,5		7,5	12,5		9,0	+1,0	4,5	+2,0	4,5		8,0		6,0	15,0
1,85	47,0	+1,0	8,5		±0,5	9,0	-0,5	5,0		5,0	2,0		2,0	6,0	18,5
2,15	55,0	-0,5	8,5			9,0		7,5		7,5					18,5
2,50	63,5		9,5	14,0											
2,75	70,0		10,5			12,0		11,0			3,5	12,5		7,0	19,0
											3,0		3,0		

Satuan dalam milimeter

Tabel 2.2 Ukuran diameter (D) dan keliling *velg* tipe WM

Diameter <i>velg</i> nominal (inch)	D (mm)	Keliling <i>velg</i>	
		Dimensi (mm)	Toleransi
14	357,1	1121,9	
15	382,5	1201,7	
16	405,6	1274,2	
17	433,3	1361,2	
18	458,7	1441,0	+2,0
19	484,1	1520,8	-0,5
20	509,5	1600,6	
21	534,9	1680,4	
22	558,8	1755,5	
23	584,2	1835,3	

2.2 Teori Beban *Impact*

Menurut Dieter, George E (1987) uji *impact* digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji *impact* juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian *impact* ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.

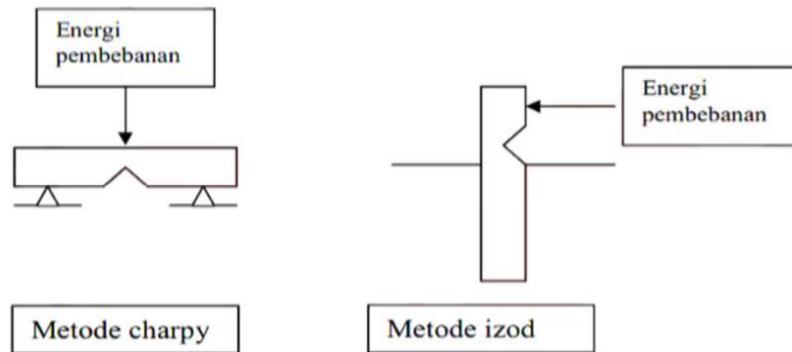
2.2.1 Pengujian *Impact*

Pengujian bahan adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pengujian *impact* menurut Malau (2008), bertujuan untuk mengetahui kemampuan spesimen menyerap energi yang diberikan. Pengujian *impact* merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan. Sifat keuletan atau *toughness* dari suatu bahan yang tidak dapat terdeteksi oleh pengujian lain jika dua buah bahan akan memiliki sifat yang mirip sama namun jika diuji dengan *impact test* itu akan berbeda. Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap pembebanan kejut (*shock resistance*), seperti kerapuhan yang disebabkan oleh perlakuan panas atau sifat kerapuhan dari produk tuangan (*casting*) serta pengaruh bentuk dari produk tersebut.

Pengujian *impact* merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba. Pengujian ini dilakukan pada mesin uji yang dirancang dengan memiliki sebuah pendulum dengan berat tertentu yang mengayun dari suatu ketinggian untuk memberikan beban kejut, dalam pengujian ini terdapat dua macam cara pengujian yakni cara “Izod” dan cara “Charpy” yang berbeda menurut arah pembebanan terhadap bahan uji serta kedudukan bahan uji (Sudjana, 2008).

Metode Charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode Izod lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode Charpy memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji *impact* pada metode Charpy dan metode Izod dengan sudut 45°, kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm. Batang uji Charpy kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi takik oleh pendulum berat berayun (kecepatan pembebanan ± 5

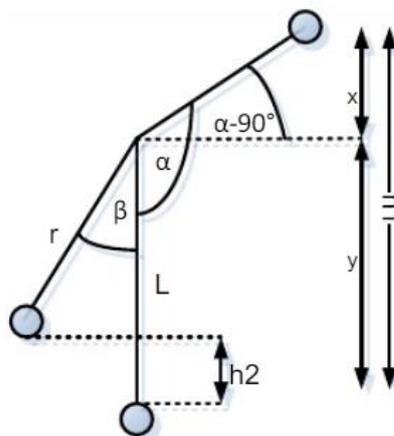
m/s). Batang uji diberi energi untuk melengkung sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi hingga orde 10^3 s^{-1} . Batang uji Izod, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, George E., 1987)



Gambar 2.2 Pembebanan metode Charpy dan metode Izod

2.2.2 Rumus Pembebanan *Impact*

Parameter yang diperoleh dari alat uji *impact* adalah energi *impact* (E) yakni besar energi yang diserap untuk mematahkan benda kerja (spesimen). Harga *impact* (K) adalah energi *impact* tiap satuan luas penampang (A) di daerah takikan. Berdasarkan keterangan gambar berikut ini dapat diturunkan rumus untuk mendapatkan nilai E , sehingga nilai K juga dapat dihitung.



Gambar 2.3 Mekanisme uji *impact*

Turunan rumus harga *impact* (K) berdasarkan gambar di atas adalah:

$$\begin{aligned} x &= F \cdot \sin(\alpha - 90^\circ) \\ &= r \cdot \sin(-\cos\alpha) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$y = r$$

$$\begin{aligned} h_1 &= y + x \\ &= r + r \cdot (-\cos\alpha) \\ &= r(1 - \cos\alpha) \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\cos = \frac{L}{r}$$

$$L = r \cdot \cos\beta$$

$$r = L + h_2$$

$$\begin{aligned} h_2 &= r - L \\ &= r - r \cdot \cos\beta \\ &= r(1 - \cos\beta) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Pada uji *impact* ini berlaku hukum kekekalan energi, sehingga:

$$Em_1 = Em_2$$

$$Ep_1 + Ek_1 = Ep_2 + Ek_2 + E$$

$$\begin{aligned} m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 &= m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + E \\ E &= m \cdot g \cdot h_1 + m \cdot g \cdot h_2 \\ &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= m \cdot g (r(1 - \cos\alpha)) - (r(1 - \cos\beta)) \\ &= m \cdot g \cdot r (\cos\beta - \cos\alpha) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Jadi, berdasarkan turunan rumus di atas, didapatkan persamaan berikut:

$$E = m \cdot g \cdot r (\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$K = \frac{E}{A} \quad (2.5)$$

2.3 Teori Analisis Struktur

2.3.1 Tegangan

Apabila sebuah batang atau plat dibebani suatu gaya maka akan terjadi gaya reaksi yang sama dengan arah yang berlawanan. Gaya tersebut akan diterima sama rata oleh setiap molekul pada bidang penampang batang tersebut Jadi tegangan

adalah suatu ukuran intensitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dan dibagi oleh luas ditempat gaya tersebut bekerja. Tegangan ada bermacam-macam sesuai dengan pembebanan yang diberikan. Komponen tegangan pada sudut yang tegak lurus pada bidang ditempat bekerjanya gaya disebut tegangan langsung. Pada pembebanan tarik akan terjadi tegangan tarik maka pada beban tekan akan terjadi tegangan tekan.

Persamaan tegangan adalah:

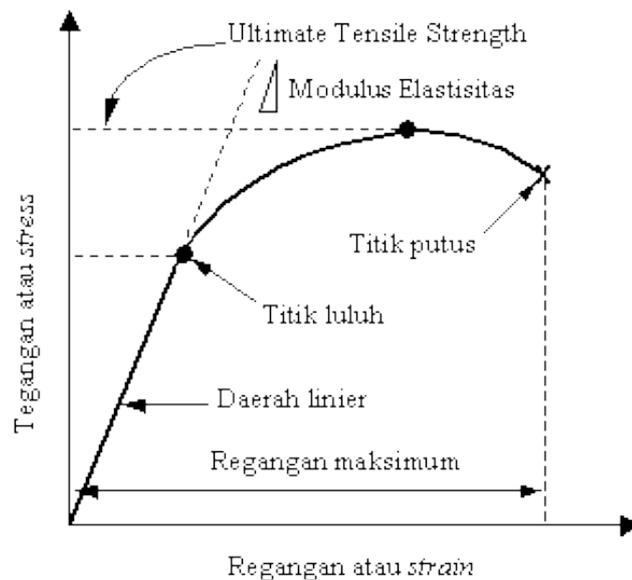
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

2.3.2 Regangan

Regangan adalah suatu bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan perubahan bentuk. Biasanya dinyatakan dalam bentuk persentasi atau tidak dengan persentasi. Besarnya regangan menunjukkan apakah bahan tersebut mampu menahan perubahan bentuk sebelum patah. Makin besar regangan suatu bahan maka bahan itu mudah dibentuk.

Persamaan untuk regangan adalah:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.7)$$



Gambar 2.4 Kurva tegangan-regangan

Tegangan serta regangan senantiasa berhubungan, walaupun hubungan ini dapat berubah karena suhu, laju pembebanan, dan sebagainya. Perubahan tegangan langsung dibagi oleh regangan merupakan suatu konstanta yang dinamakan modulus *Young* (E atau modulus elastisitas).

2.3.3 Teori Elastisitas

Setiap bahan akan berubah bentuk kalau mengalami pembebanan, dan regangan yang timbul dapat diukur. Bila setelah pembebanan dihilangkan, bahan tersebut kembali ke bentuk asalnya, maka kejadian tersebut disebut elastis atau kenyal. Suatu beban batas dimana beban yang menyebabkan adanya regangan sisa setelah beban dihilangkan dapat ditentukan. Besarnya tegangan akibat beban tersebut disebut batas elastis.

2.3.4 Deformasi

Semua struktur bila mendapat beban luar akan berubah sedikit dari bentuk awalnya, baik berubah bentuk maupun ukurannya atau berdeformasi. Bertambahnya ukuran dari sebuah struktur disebut perpanjangan atau elongasi, sedangkan sebaliknya disebut pemendekan atau kontraksi. Pada struktur yang mendapatkan deformasi yang normal dari masing-masing elemennya yang berada pada sifat elastis, maka kondisi tersebut disebut kondisi kekakuan (*condition of rigidity*). Perubahan bentuk yang kecil sudah tentu dihasilkan oleh beban kerja yang normal (tanpa kejutan). Tapi dalam keseimbangan dan gerak, struktur dari suatu konstruksi tidak dipengaruhi oleh perubahan bentuk yang relatif kecil dan menurut teori mekanis dapat diabaikan.

Meskipun demikian tanpa mempelajari perubahan bentuk (deformasi) tersebut, akan sulit untuk menyelesaikan masalah yang penting, yaitu dalam kondisi kapan kegagalan atau kerusakan dari susunan konstruksi akan terjadi atau dapat pula kapan kondisi yang aman dari konstruksi yang dirancang. Harga batas deformasi yang terjadi dapat dipakai sebagai perbandingan untuk ukuran atau dimensi dari konstruksi tersebut. Kemampuan suatu konstruksi atau elemen bangunan untuk bertahan terhadap perubahan bentuknya adalah sangat penting atau sangat diperlukan. Kemampuan ini disebut kekakuan atau *stiffness*.

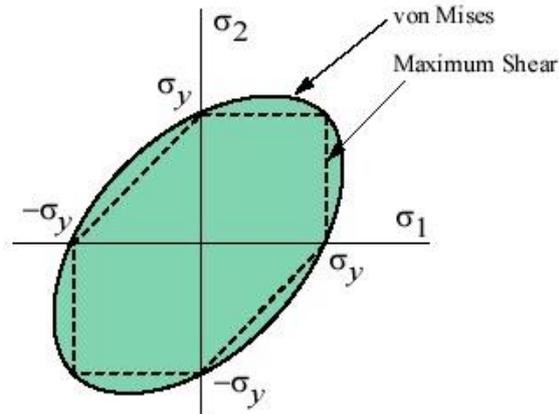
2.3.5 Teori *Von Mises*

Von Mises menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana tegangan normal

itu tidak bergantung dari orientasi atau sudut θ (*invariant*) kedua *deviator* tegangan J2 melampaui harga kritis tertentu.

Bentuk kriteria luluh *Von Mises*:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (2.8)$$



Gambar 2.5 Persamaan *Von Mises*

Dari persamaan diatas dapat diduga bahwa luluh akan terjadi apabila selisih tegangan pada sisi kanan persamaan melampaui tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial σ_v .

2.3.6 *Factor of Safety*

Pada umumnya kekuatan suatu struktur akan mengacu pada beban *ultimate* dari material pembentuk struktur tersebut. Tetapi dalam hal ini tidak terdapat batasan yang jelas. Pada karakteristik mekanis jika suatu material mengenai beban, maka beban *yield* dapat diasumsikan sebagai beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu struktur sehingga mencapai kondisi kritis yang besarnya tergantung kepada material pembentuk struktur. Dengan adanya suatu tuntutan yang mengharuskan suatu desain struktur *velg cast wheel* memiliki jaminan bahwa tidak akan terjadi suatu kegagalan struktural selama struktur tersebut menerima beban, maka diperlukan suatu metode yang handal yang dapat digunakan untuk menentukan kekuatan struktur secara aman. Berbagai macam teori mengenai struktur telah banyak dikembangkan dan telah banyak diterapkan sehingga dapat

menentukan secara akurat kekuatan struktur dalam menerima suatu jenis pembebanan.

Ditinjau dari faktor keamanan pada material yang digunakan struktur *velg cast wheel* sepeda motor haruslah lebih besar dari pada 1,0 jika harus dihindari kegagalan. Bergantung pada keadaan, maka faktor keamanan yang harganya sedikit diatas 1,0 hingga 14 yang dipergunakan. Faktor keamanan yang digunakan pada *velg cast wheel* dihitung berdasarkan perbandingan tegangan luluh pada material yang digunakan dengan hasil analisis tegangan *Von Mises* maksimum seperti dibawah ini.

$$\text{Factor of Safety} = \frac{S_y}{\sigma_\varepsilon} \quad (2.9)$$

Dari faktor keamanan yang didapat pada perhitungan analisis akan merujuk pada nilai *Margin of Safety* pada kekuatan statik struktur *velg* tersebut, batas keamanan *Margin of Safety* dalam terminologi kekuatan statik struktural didefinisikan sebagai suatu ukuran besarnya kemampuan atau kapasitas yang masih tersedia dalam suatu struktur untuk menerima beban statik secara aman, pada kondisi dimana terdapat beban statik yang bekerja pada struktur tersebut. Adapun bentuk perhitungan *Margin of Safety* (MS) adalah:

$$\text{Margin of Safety} = (n) - 1 \quad (2.10)$$

2.4 Metode Numerik

2.4.1 Pengertian Metode Numerik dan Kegunaannya

Metode numerik adalah teknik-teknik yang digunakan untuk merumuskan masalah-masalah matematika agar dapat diselesaikan dengan operasi-operasi aritmatika (hitungan) biasa (tambah, kurang, kali, dan bagi). Secara harfiah metode numerik berarti cara berhitung dengan menggunakan angka-angka. Perhitungan ini melibatkan sejumlah besar operasi-operasi hitungan yang berulang-ulang, melelahkan, dan menjemukan. Tetapi dengan adanya komputer digital yang semakin lama semakin cepat dalam melakukan hitungan dan dengan adanya penemuan metode-metode baru dan beberapa modifikasi dari metode-metode lama, maka penggunaan metode numerik dalam menyelesaikan masalah-masalah matematika mengalami kenaikan secara dramatis. Kemajuan yang cepat pada

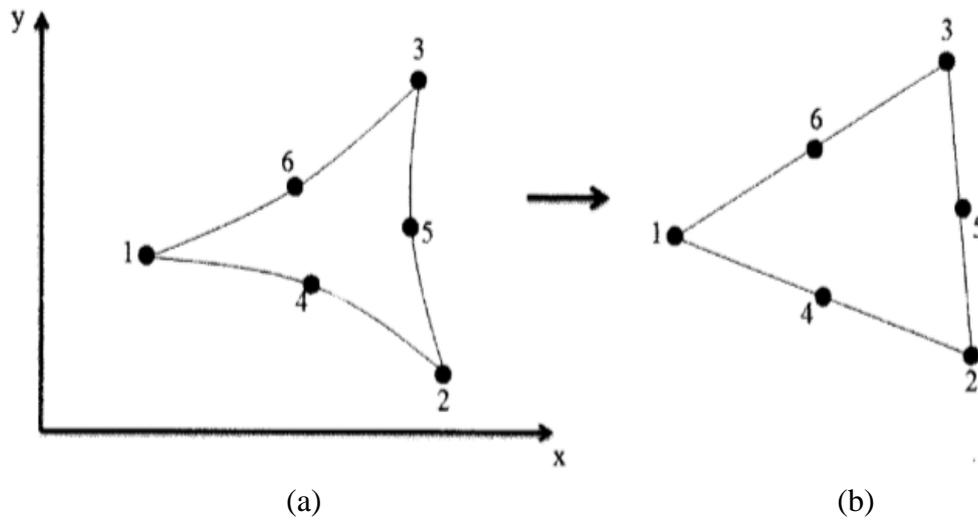
bidang metode numerik dikarenakan perkembangan komputer itu sendiri. Kita melihat perkembangan teknologi komputer tidak pernah berakhir. Keunggulan tiap generasi baru komputer dalam hal waktu, memori, ketelitian, dan kestabilan perhitungan menyebabkan pengembangan algoritma numerik yang lebih baik.

Ada beberapa alasan mengapa mempelajari metode numerik, yaitu:

- 1) Metode numerik merupakan alat untuk memecahkan masalah matematika yang sangat handal. Banyak permasalahan teknik yang mustahil dapat diselesaikan secara analitik, karena kita sering dihadapkan pada sistem-sistem persamaan yang besar, tidak linear dan cakupan yang kompleks, dapat diselesaikan dengan metode numerik.
- 2) Program paket numerik, misalnya *MATLAB*, *MAPLE*, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah matematika dengan metode numerik dibuat oleh orang yang mempunyai dasar-dasar teori metode numerik.
- 3) Banyak masalah matematika yang tidak dapat diselesaikan dengan memakai program paket atau tidak tercakup dalam program paket. Oleh karena itu kita perlu belajar metode numerik untuk dapat membuat program paket (*software*) untuk masalah sendiri.
- 4) Metode numerik merupakan suatu sarana yang efisien untuk mempelajari penggunaan komputer. Belajar pemrograman secara efektif adalah menulis program komputer. Metode numerik mengandung bagian yang dirancang untuk diterapkan pada komputer, misalnya membuat algoritma.
- 5) Metode numerik merupakan suatu sarana untuk lebih memahami matematika. Karena fungsi metode numerik adalah menyederhanakan matematika yang lebih tinggi dengan operasi-operasi hitungan dasar. Metode numerik sudah baku dan telah luas pemakaiannya. Metode numerik yang baru pada hakekatnya bertujuan menemukan cara perhitungan yang dapat membuat galat (*error*) sekecil mungkin.

2.4.2 Elemen 3-Dimensi

Elemen 3-dimensi yang umum digunakan adalah elemen empat sisi (*tetrahedron*). Sama dengan elemen 2-dimensi, jumlah node pada elemen menentukan fungsi aproksimasi pada elemen terkait.

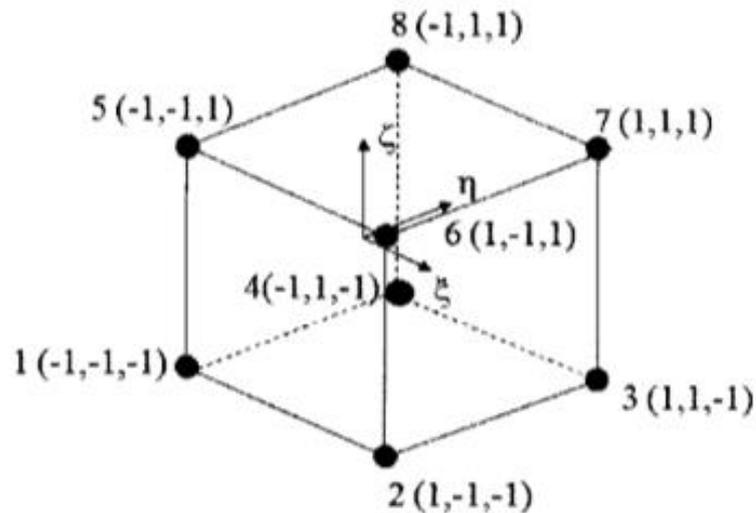


Gambar 2.6 Elemen kuadratik sisi lekuk isoparametrik 6 node pada
 (a) sistem sumbu kartesian (fisikal); (b) sistem sumbu natural

2.4.2.1 Elemen Linear Heksahedron

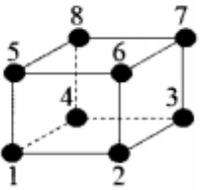
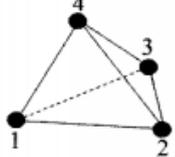
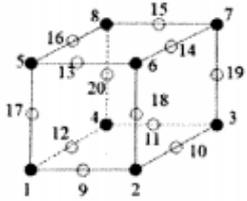
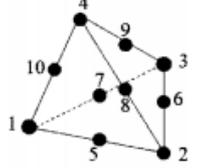
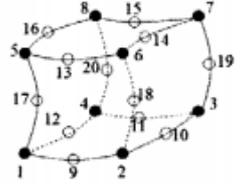
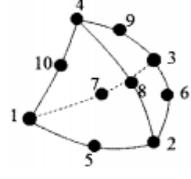
Gambar 2.7 menggambarkan elemen 3-dimensi linear heksahedron. Elemen dengan semua sisi sejajar dengan koordinat sistem x, y dan z dikenal sebagai elemen heksahedral atau elemen enam sisi. Solusi untuk elemen ini diberikan oleh persamaan interpolasi berikut,

$$u^{(e)}(\xi, \eta, \zeta) = S_1 u_1 + S_2 u_2 + S_3 u_3 + S_4 u_4 + S_5 u_5 + S_6 u_6 + S_7 u_7 + S_8 u_8 \quad (2.11)$$



Gambar 2.7 Elemen linear 3-dimensi (*hexahedron*) dalam sistem koordinat natural

Tabel 2.3 Tipe-tipe elemen 3-dimensi yang populer digunakan

Fungsi interpolasi	Elemen enam sisi	Elemen empat sisi
Linear	<p>Hexahedron</p>  <p>8 Node</p>	 <p>Tetrahedron 4 node</p>
Kuadratik	 <p>Heksahedron serendipiti 20 node</p>	 <p>Tetrahedron 10 node</p>
	 <p>Heksahedron isoparametrik 20 node (jarang digunakan)</p>	 <p>Tetrahedron isoparametrik 10 node (jarang digunakan)</p>

Fungsi-fungsi bentuk elemen dapat diturunkan dengan cara yang sama pada elemen linear rectangular. Fungsi-fungsi ini adalah:

$$S_1 = \frac{1}{8}(1 - \xi)(1 - \eta)(1 - \zeta) \quad (2.12)$$

$$S_2 = \frac{1}{8}(1 - \xi)(1 - \eta)(1 + \zeta) \quad (2.13)$$

$$S_3 = \frac{1}{8}(1 - \xi)(1 + \eta)(1 - \zeta) \quad (2.14)$$

$$S_4 = \frac{1}{8}(1 - \xi)(1 + \eta)(1 + \zeta) \quad (2.15)$$

$$S_5 = \frac{1}{8}(1 + \xi)(1 - \eta)(1 - \zeta) \quad (2.16)$$

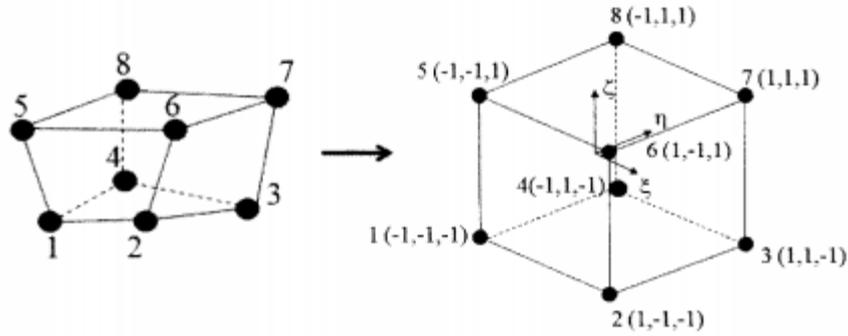
$$S_6 = \frac{1}{8}(1 + \xi)(1 - \eta)(1 + \zeta) \quad (2.17)$$

$$S_7 = \frac{1}{8}(1 - \xi)(1 - \eta)(1 - \zeta) \quad (2.18)$$

$$S_8 = \frac{1}{8}(1 - \xi)(1 - \eta)(1 - \zeta) \quad (2.19)$$

2.4.2.2 Elemen Linear Heksahedron Isoparametrik

Elemen linear heksahedron isoparametrik berbeda dengan elemen linear heksahedron pada permukaan elemen di mana pada elemen ini permukaan dari elemen tidak sejajar dengan sumbu kartesian. Ilustrasi elemen ini dengan menggunakan sumbu natural (*natural coordinate system*) diberikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Elemen linear heksahedron isoparametrik pada (a) sistem kartesian (fisikal); (b) sistem sumbu natural

Untuk elemen ini fungsi dari elemen transformasi dari koordinat sistem (ξ, η, ζ) ke (x, y, z) pada sumbu fisikal diberikan oleh persamaan yang sama dengan fungsi aproksimasi untuk $u^{(e)}$.

$$x^{(e)}(\xi, \eta, \zeta) = S_1 x_1 + S_2 x_2 + S_3 x_3 + S_4 x_4 + S_5 x_5 + S_6 x_6 + S_7 x_7 + S_8 x_8 \quad (2.20)$$

$$y^{(e)}(\xi, \eta, \zeta) = S_1 y_1 + S_2 y_2 + S_3 y_3 + S_4 y_4 + S_5 y_5 + S_6 y_6 + S_7 y_7 + S_8 y_8 \quad (2.21)$$

$$z^{(e)}(\xi, \eta, \zeta) = S_1 z_1 + S_2 z_2 + S_3 z_3 + S_4 z_4 + S_5 z_5 + S_6 z_6 + S_7 z_7 + S_8 z_8 \quad (2.22)$$

2.4.2.3 Elemen Linear Tetrahedron

Fungsi linear elemen linear tetrahedron diberikan oleh

$$u^{(e)} = S_1 u_1 + S_2 u_2 + S_3 u_3 + S_4 u_4 \quad (2.23)$$

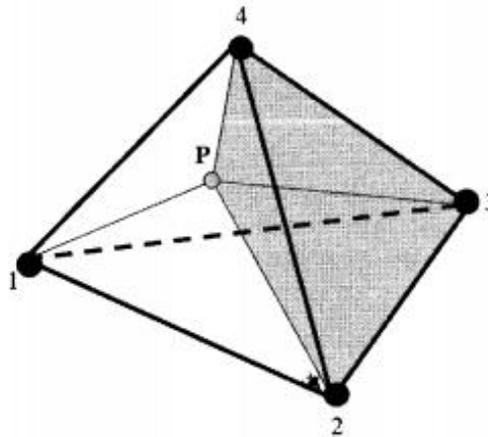
Sama seperti elemen linear triangular, fungsi-fungsi bentuk S_1 , S_2 , S_3 , dan S_4 oleh koordinat volume (Gambar 2.9) seperti:

$$L_1 = \frac{\text{volume } p-2-3-4}{\text{volume } 1-2-3-4} = \frac{V_1}{V} \quad (2.24)$$

$$L_2 = \frac{\text{volume } p-2-3-4}{\text{volume } 1-2-3-4} = \frac{V_2}{V} \quad (2.25)$$

$$L_3 = \frac{\text{volume } p-2-3-4}{\text{volume } 1-2-3-4} = \frac{V_3}{V} \quad (2.26)$$

$$L_4 = \frac{\text{volume } p-2-3-4}{\text{volume } 1-2-3-4} = \frac{V_4}{V} \quad (2.27)$$



Gambar 2.9 Koordinat volume pada elemen linear tetrahedron

Dari observasi Gambar 2.9 dapat dipahami bahwa jumlah dari ketiga koordinat ini adalah:

$$\frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} + \frac{V_3}{V} + \frac{V_4}{V} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 1 \quad (2.28)$$

Dapat dibuktikan juga bahwa koordinat penampang L_1 , L_2 , L_3 , dan L_4 , adalah fungsi-fungsi bentuk S_1 , S_2 , S_3 dan S_4 yaitu:

$$S_1 = L_1 \quad (2.29)$$

$$S_2 = L_2 \quad (2.30)$$

$$S_3 = L_3 \quad (2.31)$$

$$S_4 = L_4 \quad (2.32)$$

2.4.2.4 Elemen Kuadratik Heksahedron Serendipiti 20 Node

Elemen kuadratik heksahedron mempunyai 20 node dan posisi-posisi node dilukiskan pada Gambar 2.10. Fungsi-fungsi bentuk S_i , $i = 1, 2, \dots, 20$ diberikan oleh persamaan-persamaan berikut:

Untuk nodal-nodal sudut:

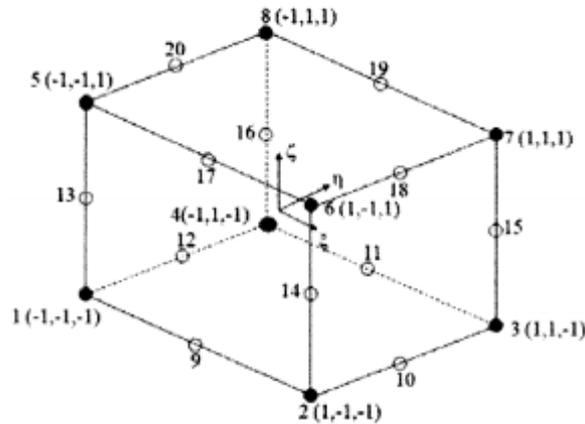
$$S_i = \frac{1}{8} (1 + \xi \xi_i) (1 + \eta \eta_i) (1 + \zeta \zeta_i) (\xi \xi_i + \eta \eta_i + \zeta \zeta_i - 2) \quad i=1, 2, \dots, 8 \quad (2.33)$$

Node-node tengah isi:

$$S_i = \frac{1}{4} (1 - \xi^2) (1 + \eta \eta_i) (1 + \zeta \zeta_i) \quad i=10, 12, 18, 20 \quad (2.34)$$

$$S_i = \frac{1}{4} (1 - \eta^2) (1 + \xi \xi_i) (1 + \zeta \zeta_i) \quad i=9, 11, 17, 19 \quad (2.35)$$

$$S_i = \frac{1}{4} (1 - \zeta^2) (1 + \xi \xi_i) (1 + \eta \eta_i) \quad i=13, 14, 15, 16 \quad (2.36)$$



Gambar 2.10 Elemen kuadratik heksahedron serendipiti pada sumbu natural

2.4.2.5 Elemen Kuadratik Tetrahedron 10 Node

Elemen kuadratik heksahedron mempunyai 20 node. Fungsi-fungsi bentuk S_i , $i = 1, 2, \dots, 20$ diberikan oleh persamaan-persamaan berikut:

Untuk nodal-nodal sudut:

$$S_i = (2L_i - 1) L_i \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (2.37)$$

$$S_5 = 4L_2 L_3 \quad (2.38)$$

$$S_6 = 4L_1 L_3 \quad (2.39)$$

$$S_7 = 4L_1L_2 \quad (2.40)$$

$$S_8 = 4L_1L_4 \quad (2.41)$$

$$S_9 = 4L_2L_4 \quad (2.42)$$

$$S_{10} = 4L_3L_4 \quad (2.43)$$

di mana L_1 , L_2 , dan L_3 , adalah koordinat volume yang didefinisikan pada elemen linear tetrahedron.

2.4.3 Integritas Numerik

Dalam metode elemen hingga, kita sering mengintegrasikan elemen integrasi ini lebih mudah bila dihitung secara numerik. Pada bagian ini akan dipelajari bagaimana integrasi secara numerik pada elemen 1-, 2- dan 3-dimensi. Metode numerik yang kita gunakan adalah metode *Gaussian quadrature* (Kosasih, 2012). Integrasi ini dilakukan pada koordinat ξ untuk elemen 1-dimensi, ξ, η untuk elemen 2-dimensi, dan ξ, η, ζ untuk elemen 3-dimensi.

2.4.3.1 Elemen 1-Dimensi

Pada masalah 1-dimensi, umumnya integral dilakukan dari ξ antara -1 dan

1. Bentuk integral 1-dimensi adalah:

$$I = \int_{-1}^1 f(\xi) d\xi \quad (2.44)$$

Aproksimasi dari integral ini dapat diperoleh dengan menggunakan nilai $f(\xi)$ pada beberapa titik Gauss (*Gauss point*) yang digambarkan pada Gambar 2.9. Secara umum integrasi numerik ini diberikan oleh:

$$I = \int_{-1}^1 f(\xi) d\xi \approx \sum_{i=1}^N W_i f_i \quad (2.45)$$

di mana f_i adalah nilai f pada titik Gauss, W_i adalah fungsi pemberat (*weighting function*) dan N adalah jumlah titik Gauss. Tabel 2.4 memberikan lokasi dari titik-titik Gauss beserta nilai-nilai fungsi bobotnya.

Tabel 2.4 Titik Gauss dan faktor bobot untuk integral 1-dimensi

Jumlah titik	Lokasi dari titik-titik Gauss (ξ)	Faktor bobot (W_i)
1	0	2
2	-0,57735, +0,57735	1, 1
3	-0,77460, 0, +0,77460	5/9, 8/9, 5/9

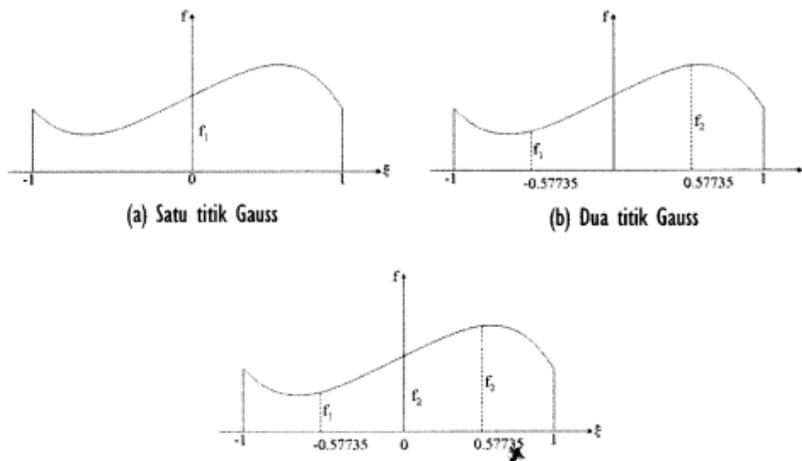
2.4.3.2 Elemen 2-Dimensi

Untuk elemen 2-dimensi, integral dilakukan pada ξ antara -1 dan 1, dan pada η antara -1 dan 1. Bentuk integral 2-dimensi adalah:

$$I = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (2.46)$$

Aproksimasi dari integral ini umumnya diperoleh dengan melakukan integrasi pada ξ dan kemudian pada η . Secara umum bentuk integrasi numerik ini diberikan oleh:

$$I = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(\xi, \eta) d\xi d\eta \approx \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_i W_j f_{i,j} \quad (2.47)$$



Gambar 2.11 Gauss Quadrature 1-dimensi

Integrasi 2-dimensi untuk elemen quadrilateral umumnya dilakukan dengan menggunakan 1 atau 4 titik Gauss. Dengan menggunakan 1 titik Gauss, integral ini diberikan oleh:

$$I = (2)(2) f(0,0)$$

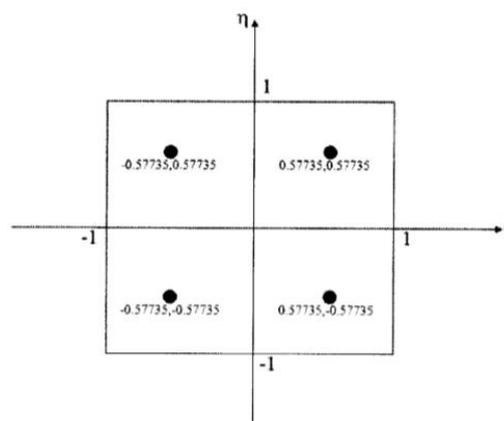
Dengan menggunakan 4 titik Gauss, integral ini diberikan oleh:

$$I = (1)(1) f(-0,57725, -0,57735) + (1)(1) f(0,57725, -0,57735) + (1)(1) f(0,57725, 0,57735) + (1)(1) f(-0,57725, 0,57735)$$

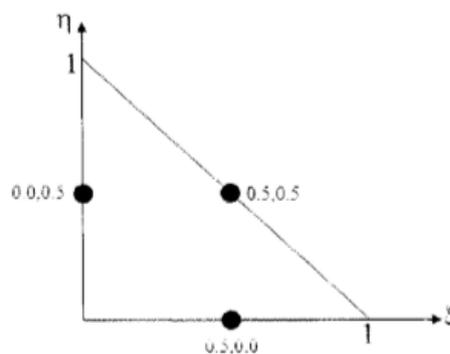
Gambar 2.12 memberikan lokasi 4 titik Gauss pada elemen quadrilateral. Integral pada elemen segitiga dilakukan dengan cara yang sama. Tabel 2.5 memberikan lokasi dan faktor bobot (W) untuk elemen segitiga. Untuk 3 titik, Lokasi titik-titik ini diberikan pada Gambar 2.13

Tabel 2.5 Titik Gauss dan faktor bobot untuk integral segitiga 2-dimensi

Jumlah titik	Lokasi dari titik-titik Gauss (L_1, L_2)		Faktor bobot (W_i/luas)
	L_1	L_2	
1	0,333333	0,333333	1
3	0,5	0	0,33333
	0	0,5	0,33333
4	0,5	0,5	0,33333
	0,33333	0,33333	0,56250
	0,73333	0,13333	0,52083
	0,13333	0,73333	0,52083



Gambar 2.12 Gauss quadrature 2-dimensi dengan 4 titik Gauss



Gambar 2.13 Gauss quadrature 2-dimensi segitiga dengan 3 titik Gauss

2.5 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*Finite Element Method*) adalah suatu alat numerik yang digunakan dalam menyelesaikan masalah teknik seperti persamaan diferensial dan integral dengan metode pendekatan. Metode itu mula – mula dikembangkan untuk mempelajari tentang struktur, dan tekanan. Kemudian berkembang pada

masalah mekanika kontinu. Sebagaimana sebutan elemen hingga, analisis Metode Elemen Hingga didasarkan pada sistem struktur yang dirakit dari elemen – elemen badan struktur. Elemen – elemen ini akan membentuk suatu sistem jaringan melalui hubungan/sambungan titik – titik nodal elemen. Umumnya, fungsi pendekatan variasi perpindahan disetiap elemen adalah fungsi polinomial. Persamaan kesetimbangan bagi elemen mengacu pada prinsip energi potensial minimum.

Langkah – langkah dasar dalam metode elemen hingga sebagai berikut:

1. Processing Phase

- Membuat dan menentukan daerah yang akan diselesaikan dengan menggunakan elemen hingga, kemudian menguraikan masalah menjadi nodal – nodal dan elemen.
- Mengasumsikan bentuk fungsi untuk menggambarkan sifat fisik dari sebuah elemen, yang merupakan pendekatan fungsi kontinu yang diasumsikan untuk menggambarkan dari sebuah elemen.
- Menyelesaikan persamaan untuk sebuah elemen.
- Menyatukan elemen – elemen untuk mengetahui masalah, membentuk matrik kekakuan global discretize.
- Terapkan kondisi batas, kondisi awal, dan pembebanan.

2. Solution Phase

- Memecahkan satu set persamaan aljabar linier atau non-linier secara cepat untuk mendapatkan hasil nodal seperti nilai perpindahan pada nodal – nodal yang berbeda atau nilai temperatur pada nodal – nodal yang berbeda dalam masalah perpindahan panas.

3. Post-processing Phase

- Dalam sesi ini akan mendapat informasi penting lainnya. Seperti nilai tegangan (stress) dalam analisa statik, distribusi kecepatan mekanika fluida, distribusi temperatur, dan lain – lain.

2.6 Perencanaan dan Gambar Teknik

Perencanaan produksi suatu produk merupakan bagian yang sangat besar dan sangat menentukan kualitas produk. Perencanaan merupakan kegiatan awal dari rangkaian kegiatan sampai ke proses pembuatan produk sehingga dalam tahap ini

juga ditentukan apa yang harus dilakukan dan bagaimana cara melakukannya termasuk merencanakan tahapan pembuatan produk agar mendapatkan kualitas yang bagus juga ditentukan disini, apabila pada tahap perencanaan sudah ditentukan kemudian dilanjutkan ketahap perancangan, dimana pada tahap perancangan akan dimulai dengan eksplorasi bentuk desain. Sedangkan untuk proses desain itu sendiri adalah kemampuan untuk menggabungkan gagasan, prinsip-prinsip ilmiah, sumber daya, dan sering produk yang telah ada dalam penyelesaian suatu masalah, kemampuan untuk menyelesaikan masalah dalam desain ini merupakan hasil pendekatan yang terorganisasi dan teratur atas masalah tersebut (Giesecke et al., 2001).

Menurut Harsokusoemo (1999) gambar hasil rancangan produk adalah hasil akhir proses perancangan dan sebuah produk barulah dibuat setelah dibuat gambar-gambar rancangannya, gambar rancangan produk berupa gambar teknik yang dibuat pada kertas dua dimensi yang distandarkan. Dalam bentuk modern, gambar rancangan produk berupa informasi digital yang disimpan dalam memori komputer.

2.6.1 Perancangan

Menurut Harsokusoemo (1999) perancangan itu sendiri terdiri dari serangkaian kegiatan yang berurutan karena itu perancangan kemudian disebut sebagai proses perancangan yang mencakup seluruh kegiatan yang terdapat dalam perancangan tersebut. Sedangkan untuk Perancangan juga adalah penentuan akhir ukuran yang dibutuhkan untuk membentuk struktur atau komponen sebagai suatu keseluruhan dalam menentukan konstruksi sesungguhnya yang dapat dikerjakan. Masalah utama dalam proses perancangan struktur adalah masalah beban yang dapat ditahan oleh struktur tersebut. Oleh karena itu, suatu struktur atau komponen harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan tegangan maksimum yang ditimbulkan oleh beban baik dalam bentuk tegangan aksial, lentur maupun geser.

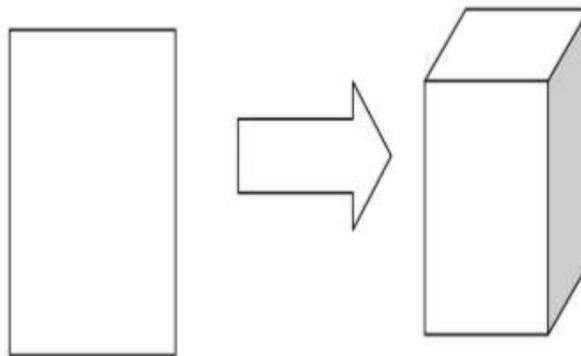
Dalam merancang suatu struktur, ditetapkan prosedur pemilihan suatu material yang sesuai dengan kondisi aplikasinya. Kekuatan bahan bukan kriteria satu-satunya yang harus dipertimbangkan dalam perancangan struktur. Kekakuan suatu bahan sama dengan pentingnya dengan derajat lebih kecil, sifat seperti kekerasan, ketangguhan merupakan penetapan pemilihan bahan.

Beberapa sifat yang menentukan kualitas bahan struktur antara lain:

- Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa terjadi kerusakan.
- Elastisitas (*elasticity*) adalah kemampuan bahan untuk kembali ke ukuran dan bentuk asalnya, setelah gaya luar dilepas. Sifat ini sangat penting pada semua struktur yang mengalami beban berubah-ubah.
- Kekakuan (*stiffness*) adalah sifat yang didasarkan pada sejauh mana bahan mampu menahan perubahan bentuk.
- Keuletan (*ductility*) adalah sifat dari bahan yang memungkinkan biasa dibentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa terjadi kerusakan. Sifat ulet sangat diperlukan untuk bahan yang mengalami beban secara tiba-tiba.

2.6.2 Metode Pembentukan Model 3D Solid dari 2D

Metode yang paling umum untuk membentuk 3D solid dari gambar 2D adalah dengan cara meng-*extrude* suatu profil yang terletak pada sebuah bidang datar 2D. Dengan demikian gambar 2D yang semula terletak pada bidang datar tersebut sekarang mempunyai tebal dan menjadi model 3D solid.



Gambar 2.14 Extrude

Gambar 2D yang ada dibentuk menjadi solid, bisa berasal dari file yang telah dibuat oleh CAD (*softcopy*). Tidak ada perbedaan dalam proses pembentukan dari model *solid* dari bentuk kedua sumber tadi. Sampai saat ini beberapa CAD berbasis Pc dapat membentuk model 3D *solid* dari bentuk geometri, kemudian diberi

ketebalan secara manual. Sedangkan beberapa feature lain yang ada pada model tersebut (seperti lubang, *fillet*, dan sebagainya) ditambahkan kemudian pada model dasar solid tadi dengan operasi *Boolean* atau operasi *feature*.

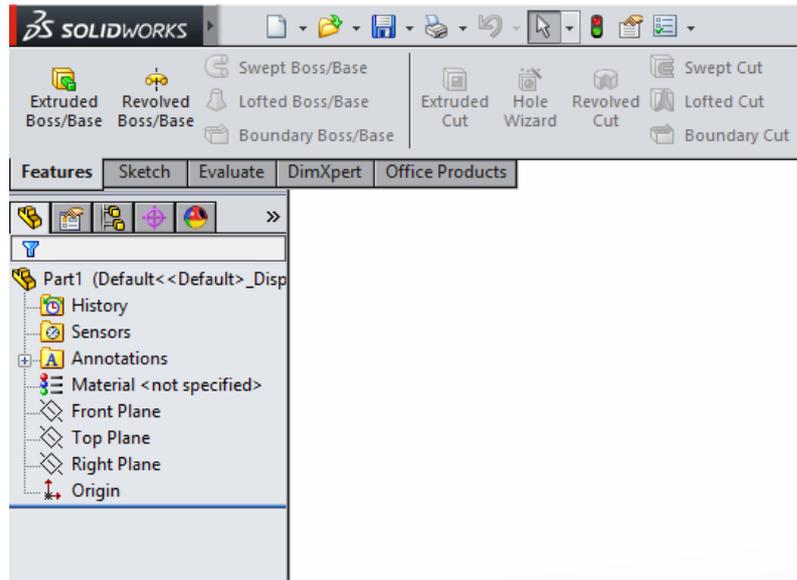
2.7 *Solidworks*

Program *Solidworks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, waktu market dari benda pun dapat dipercepat. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga. Parameter mengacu pada kendala yang nilainya menentukan bentuk atau geometri dari model atau perakitan. Parameter dapat berupa parameter numerik, seperti panjang garis atau diameter lingkaran, atau parameter geometris, tangen paralel, paralel konsentris, horizontal atau vertikal, parameter (Prabowo, 2010).

Program ini relatif lebih mudah digunakan dibandingkan program-program sejenisnya. Selain digunakan untuk menggambar komponen 3D, *Solidworks* juga biasa digunakan untuk menggambar 2D dari komponen tersebut dan bisa dikonversi ke format dwg yang dapat dijalankan pada program CAD. Dibawah ini adalah contoh gambar tampilan dari *SolidWorks* 2014.



Gambar 2.15 Tampilan awal *Solidworks* 2014



Gambar 2.16 Tampilan *Solidworks* 2014

Solidworks merupakan *software* yang digunakan untuk membuat produk dari yang sederhana sampai yang rumit. *File* dari *Solidworks* ini bisa diekspor ke *software* analisis seperti *Ansys* dan *FLOVENT*. Desain yang telah dibuat dapat juga dianalisis dan disimulasikan sesuai keinginan. Tampilan *Solidworks* tidak jauh berbeda dengan tampilan *software* lainnya dan *Solidworks* menyediakan 3 template utama yaitu:

- a) *Part* adalah sebuah object 3D yang terbentuk dari *feature–feature*. Sebuah *part* bisa menjadi sebuah komponen pada suatu *assembly*, dan juga bisa digambarkan dalam bentuk 2D pada sebuah *drawing*. *Feature* adalah bentuk dan operasi–operasi yang membentuk *part*. *Base feature* merupakan *feature* yang pertama kali dibuat. *Extension* file untuk *part Solidworks* adalah SLDPRT.
- b) *Assembly* adalah sebuah dokumen dimana *part*, *feature* dan *assembly* lain (*sub Assembly*) dipasang/disatukan bersama. *Extension* file untuk *Solidworks Assembly* adalah SLDASM.
- c) *Drawing* adalah tempat yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2D/3D *engineering Drawing* dari *single component (part)* maupun *Assembly* yang sudah kita buat. *Extension file* untuk *Solidworks Drawing* adalah SLDDRW.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu

A. Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Komputer Gedung D Lantai 3 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan.

B. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan setelah mendapat persetujuan dari pembimbing, dan terlihat pada tabel 3.1

Tabel. 3.1. Waktu pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)			
		1	2	3	4
1.	Pengajuan judul	■			
2.	Penyediaan alat dan bahan		■		
3.	Studi Literatur		■		
4.	Perancangan desain <i>velg</i> menggunakan <i>software Solidworks</i>		■		
5.	Pengujian pada desain <i>velg</i> menggunakan <i>Software Solidworks</i>			■	
6.	Penyelesaian Skripsi				■

3.2 Alat

1. Komputer dengan spesifikasi:

- Prosesor Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1246 v3 @3.50Ghz 3.50Ghz
- Memori 8.00 GB
- Sistem Operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.1 Komputer Laboratorium Komputer Fakultas Teknik

2. Perangkat Lunak *Solidworks* 2014

Program *Solidworks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan Analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, waktu market dari benda pun dapat dipercepat. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga.

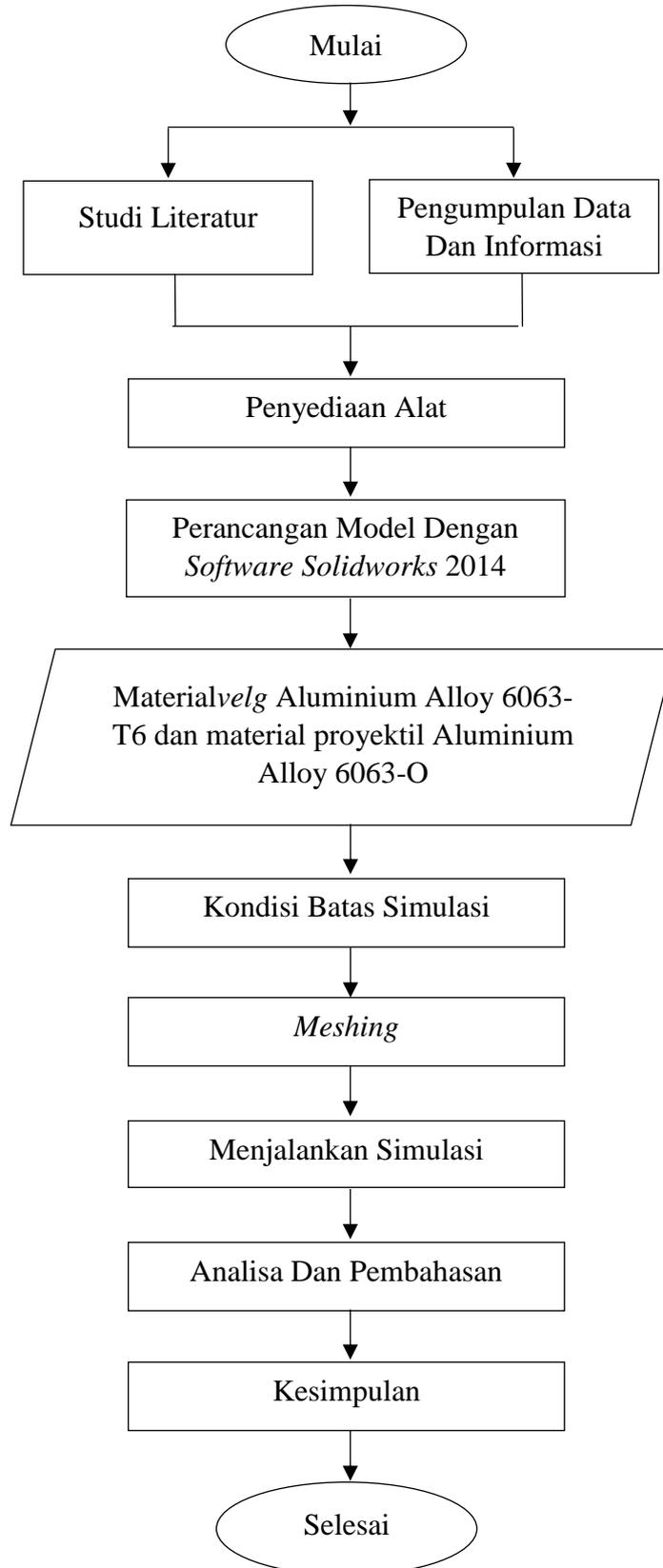
Spesifikasi minimum untuk menjalankan perangkat lunak *Solidworks* 2014:

- Prosesor Intel atau AMD dengan SSE2 support
- Memori 8.00 GB
- Sistem Operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.2 Perangkat Lunak *Solidworks* 2014

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.4 Perancangan Model dengan *Software Solidworks 2014*

Model *velg* yang akan dirancang adalah *velg 5 spoke*, berikut ini adalah langkah-langkah perancangan model dengan menggunakan *software Solidworks 2014*.

1. Nyalakan komputer yang akan digunakan untuk merancang desain *velg* yang akan dibuat,
2. Buka *software Solidworks 2014* pada komputer,
3. Pilih “New Document” pada sudut kanan atas tampilan *software Solidworks 2014*, kemudian pilih “Part” dan pilih “OK”
4. Pilih “Insert” pada menu bar kemudian pilih “Sketch” dan kemudian pilih bagian “Top Plane”.
5. Membuat desain *velg*.
6. Setelah desain *velg* dibuat, pilih “Features” kemudian pilih “Revolved Boss/Base”.
7. Membuat desain pada bagian tengah *velg*.
8. Membuat *spoke* pada *velg* yang berfungsi sebagai jari-jari *velg*.
9. Kemudian pilih “Fillet” pada “Features” agar bagian pinggir palang tidak siku.
10. Membuat *spoke* pada *velg*, pilih “Linear Pattern” kemudian pilih “Circular Pattern”. Selanjutnya pada kotak “Features to Pattern” pilih *spoke* yang sudah dibuat sebelumnya dan pada kotak “Parameters” pilih bagian permukaan tengah *velg* sebagai acuan, dan buat jumlah 5 *spoke* pada “Number of Instances”, centang pada bagian “Equal spacing”.
11. Selanjutnya membuat desain proyektil yang nantinya akan di*impact* dengan *velg* dimana akan dibuka halaman kerja baru yang nantinya akan diinput pada *Assembly*.
12. Buka halaman kerja baru yaitu *Assembly* untuk membuat desain *velg* dan proyektil menjadi 1 halaman kerja baru.

3.5 Pengujian pada Struktur Model

1. Pilih “Top Plane” kemudian pilih “Reference Geometry” dan pilih “Plane”
 - a) Pengujian pada dasar bidang *spoke*

Pilih *plane* yang sudah dibuat sebelumnya kemudian pilih “Edit Sketch”, kemudian buat bidang segi empat untuk bidang pemberian beban *impact* pada dasar bidang *spoke velg*.

b) Pengujian pada dasar bidang antar *spoke*

Langkahnya sama seperti sebelumnya namun pada pemberian bidang segi empat dibuat pada dasar bidang antar *spoke*.

2. Selanjutnya pilih “Solidworks Simulation” dan pilih “New Study” dan pilih “Nonlinear” kemudian pilih “Dynamic”
3. Klik kanan pada tab “Nonlinear” dan pilih “Properties”. Kemudian set waktu pengujian mulai dari 0 sampai 0,1 detik.
4. Pilih material *velg* yang telah di desain. Pada penelitian ini kita menggunakan material berupa Aluminium Alloy 6063-T6.
5. Pilih material proyektil yang telah di desain. material proyektil tersebut berupa Aluminium Alloy 6063-O.
6. Pilih “Fixture” kemudian pilih “Fixed Geometry” lalu pilih bagian tengah yang menjadi poros pada *velg*.
7. Kemudian pilih bidang kontak antara *velg* dan proyektil dengan cara pilih “Connection” lalu “Contact Set” lalu kemudian pilih bidang yang akan saling berbenturan.
8. Selanjutnya pilih kembali “External Loads” lalu pilih “Initial Condition” untuk memberikan besarnya kecepatan proyektil yang akan bertabrakan dengan bidang uji yang telah dibuat.
9. Kemudian pilih “Mesh” lalu “Create Mesh”.
10. Selanjutnya pilih “Run” untuk menjalankan simulasi *impact* yang akan di uji pada desain *velg* yang telah dibuat lalu tunggu hingga proses selesai.
11. Ulangi simulasi dengan variasi kecepatan sebesar 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, dan 35 km/h.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Perancangan *velg* dengan *Software Solidworks 2014*

Model *velg* yang akan dirancang adalah *velg 5 spoke*, berikut ini adalah langkah-langkah perancangan *velg* dengan *software Solidworks 2014*.

1. Membuat desain *velg* dengan ukuran:

Diameter *velg* : 433,3 mm

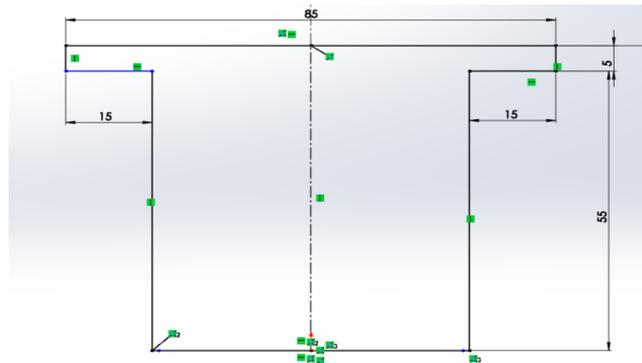
Lebar *velg* : 68 mm

Ketebalan : 3 mm

a) Membuat bagian dalam *velg* dengan ukuran:

Diameter : 120 mm

Lebar : 85 mm



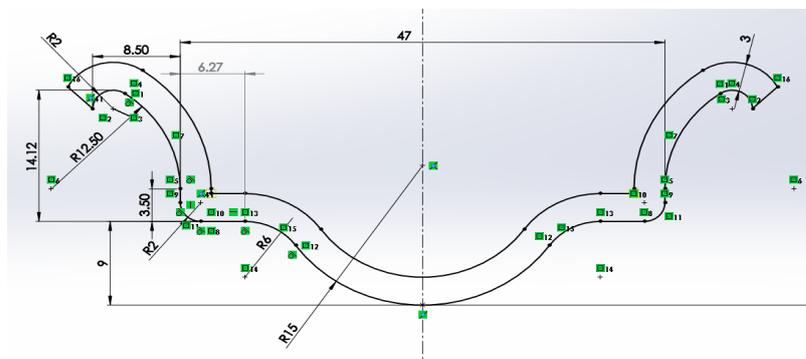
Gambar 4.1 Desain dan ukuran bagian tengah *velg*

b) Membuat bagian luar *velg* dengan ukuran:

Lebar *velg* : 68 mm

Tinggi : 23,12 mm

Ketebalan : 3 mm



Gambar 4.2 Desain dan ukuran bagian luar *velg*

2. Setelah desain *velg* dibuat, pilih “Features” kemudian pilih “Revolved Boss/Base”.



Gambar 4.3 Desain *velg* setelah di Revolved Boss/Base.

3. Membuat desain pada bagian tengah *velg*.



Gambar 4.4 Desain bagian tengah *velg*

4. Membuat *spoke* pada *velg* yang berfungsi sebagai jari-jari *velg*.



Gambar 4.5 Membuat *spokevelg*

5. Kemudian pilih “Fillet” pada “Features” agar bagian pinggir palang tidak siku.



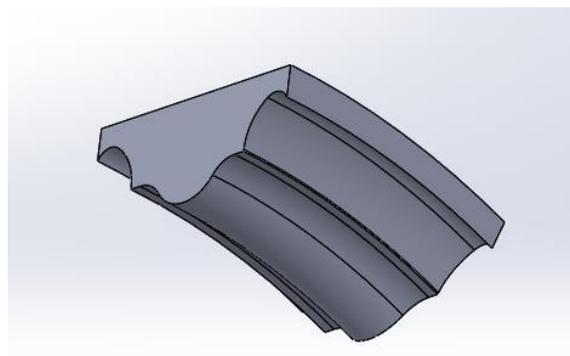
Gambar 4.6 *Fillet* pada bagian *spoke*

6. Membuat *spoke* pada *velg*, pilih “Linear Pattern” kemudian pilih “Circular Pattern”. Selanjutnya pada kotak “Features to Pattern” pilih *spoke* yang sudah dibuat sebelumnya dan pada kotak “Parameters” pilih bagian permukaan tengah *velg* sebagai acuan, dan buat jumlah 5 *spoke* pada “Number of Instances”, centang pada bagian “Equal spacing”.



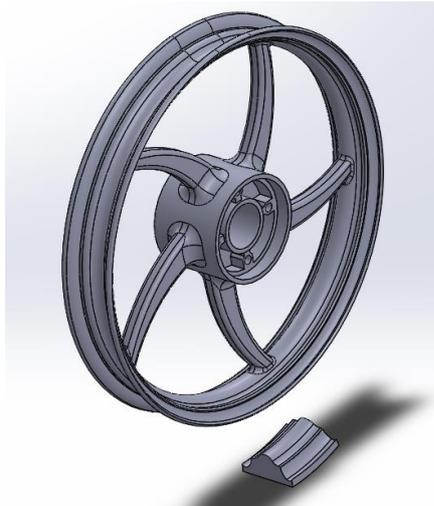
Gambar 4.7 Membuat jumlah *spoke* pada *velg*

7. Selanjutnya membuat desain proyektil yang nantinya akan di*impact* dengan *velg* dimana akan dibuka halaman kerja baru yang nantinya akan diinput pada *Assembly*. Massa proyektil adalah 92,53 gram, panjang 77,45 mm dan lebar 68 mm.



Gambar 4.8 Desain Proyektil

8. Buka halaman kerja baru yaitu *Assembly* untuk membuat desain *velg* dan proyektil menjadi 1 halaman kerja baru.



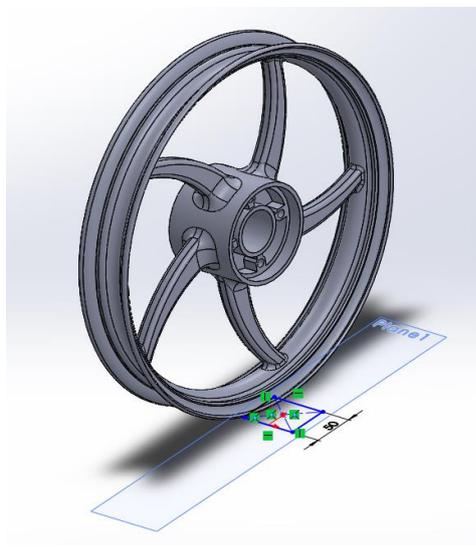
Gambar 4.9 Proses *Assembly*

4.2 Proses Simulasi pada *velg*

1. Pilih “Top Plane” kemudian pilih “Reference Geometry” dan pilih “Plane”

b) Simulasi pada dasar bidang *spoke*

Pilih *plane* yang sudah dibuat sebelumnya kemudian pilih “Edit Sketch”, kemudian buat bidang segi empat untuk bidang pemberian beban *impact* pada dasar bidang *spokevelg*.



Gambar 4.10 Pembuatan bidang uji pada dasar bidang *spoke velg*.

c) Simulasi pada dasar bidang antar *spoke*

Langkahnya sama seperti sebelumnya namun pada pemberian bidang segi empat dibuat pada dasar bidang antar *spoke*.



Gambar 4.11 Pembuatan bidang uji pada dasar bidang antar *spoke*

2. Selanjutnya pilih “Solidworks Simulation” dan pilih “New Study” dan pilih “Nonlinear” kemudian pilih “Dynamic”
3. Klik kanan pada tab “Nonlinear” dan pilih “Properties”. Kemudian set waktu pengujian mulai dari 0 sampai 0,1 detik.
4. Pilih material *velg* yang telah di desain. Pada penelitian ini kita menggunakan material berupa Aluminium Alloy 6063-T6. Berikut ini tabel sifat dari material Aluminium Alloy 6063-T6.

Tabel 4.1 Sifat Aluminium Alloy 6063-T6

Property	Value	Units
Elastic modulus	6,9e+010	N/m ²
Poisson's ratio	0,33	N/A
Shear modulus	2,58e+010	N/m ²
Mass density	2700	Kg/m ³
Tensile strength	240.000.000	N/m ²
Yield strength	215.000.000	N/m ²
Thermal expansion coefficient	2,34e-005	/K
Thermal conductivity	209	W/(m.K)
Specific heat	900	J/(Kg/K)

5. Pilih material proyektil yang telah di desain. material proyektil tersebut berupa Aluminium Alloy 6063-O. Berikut ini tabel sifat dari material Aluminium Alloy 6063-O.

Tabel 4.2 Sifat Aluminium Alloy 6063-O

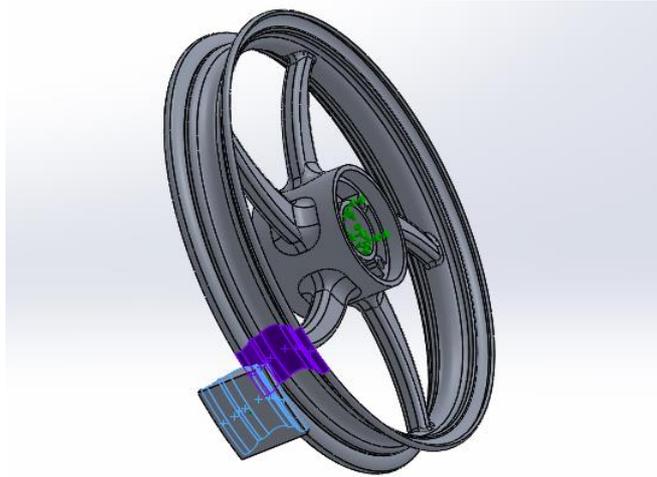
Property	Value	Units
Elastic modulus	6,9e+010	N/m ²
Poisson's ratio	0,33	N/A
Shear modulus	2,58e+010	N/m ²
Mass density	2700	Kg/m ³
Tensile strength	90.000.000	N/m ²
Yield strength	50.000.000	N/m ²
Thermal expansion coefficient	2,34e-005	/K
Thermal conductivity	218	W/(m.K)
Specific heat	900	J/(Kg/K)

- Pilih "Fixture" kemudian pilih "Fixed Geometry" lalu pilih bagian tengah yang menjadi poros pada *velg*.



Gambar 4.12 Pemberian Fixed Geometry

- Kemudian pilih bidang kontak antara *velg* dan proyektil dengan cara pilih "Connection" lalu "Contact Set" lalu kemudian pilih bidang yang akan saling berbenturan.



Gambar 4.13 Pemberian bidang kontak

8. Selanjutnya pilih kembali “External Loads” lalu pilih “Initial Condition” untuk memberikan besarnya kecepatan proyektil yang akan bertabrakan dengan bidang uji yang telah dibuat.
9. Pilih “Mesh” lalu “Create Mesh”. Pada skala “Mesh Density” pilih skala sesuai yang diinginkan lalu tunggu hingga proses *meshing* selesai.



Gambar 4.14 Pemberian *mesh* pada benda kerja

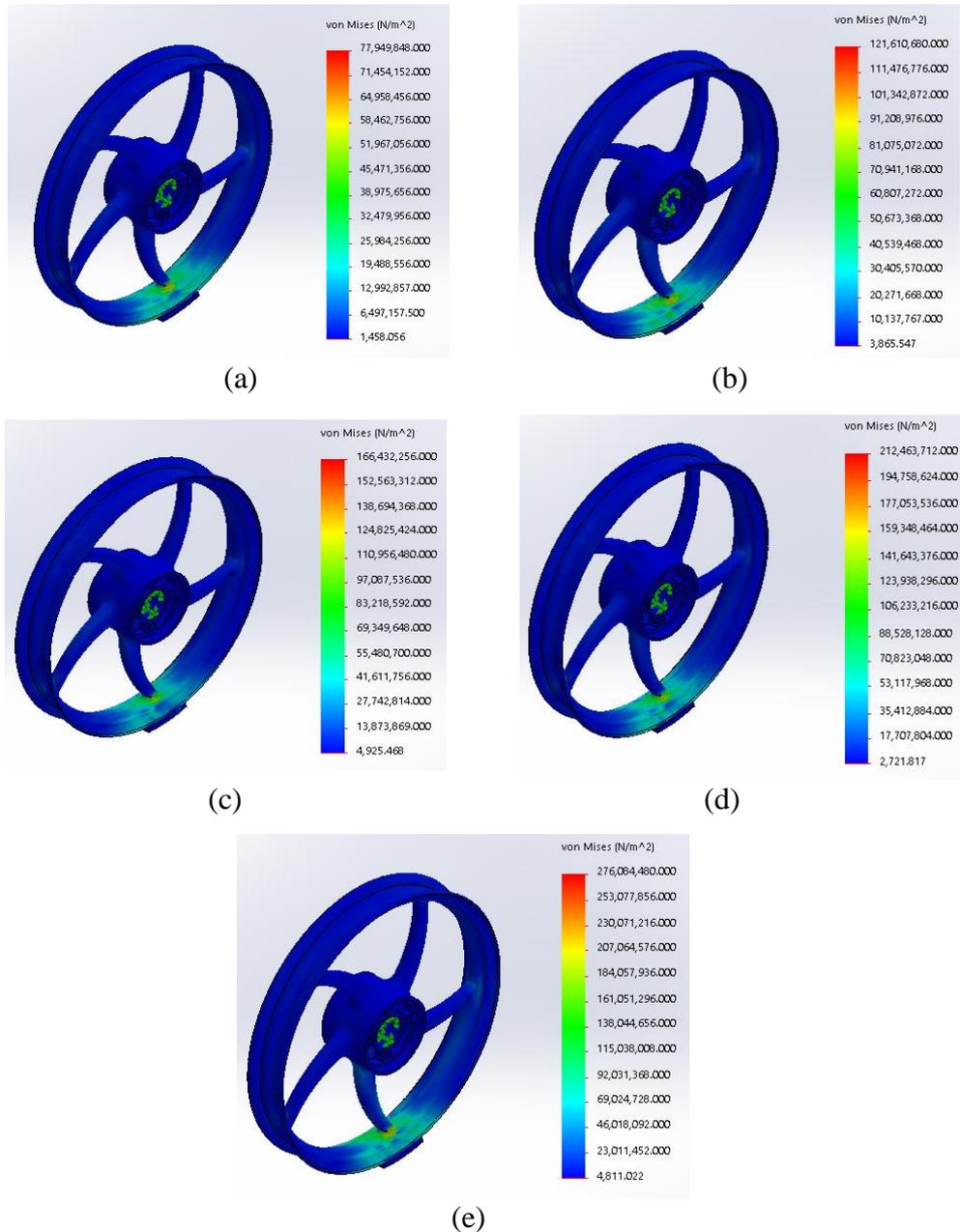
10. Selanjutnya pilih “Run” untuk menjalankan simulasi *impact* yang akan di uji pada desain *velg* yang telah dibuat lalu tunggu hingga proses selesai.
11. Ulangi simulasi dengan variasi kecepatan sebesar 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, dan 35 km/h.

4.3 Hasil Simulasi

4.3.1 Simulasi pada Dasar Bidang *Spoke*

a) Distribusi Tegangan pada Dasar Bidang *Spoke*

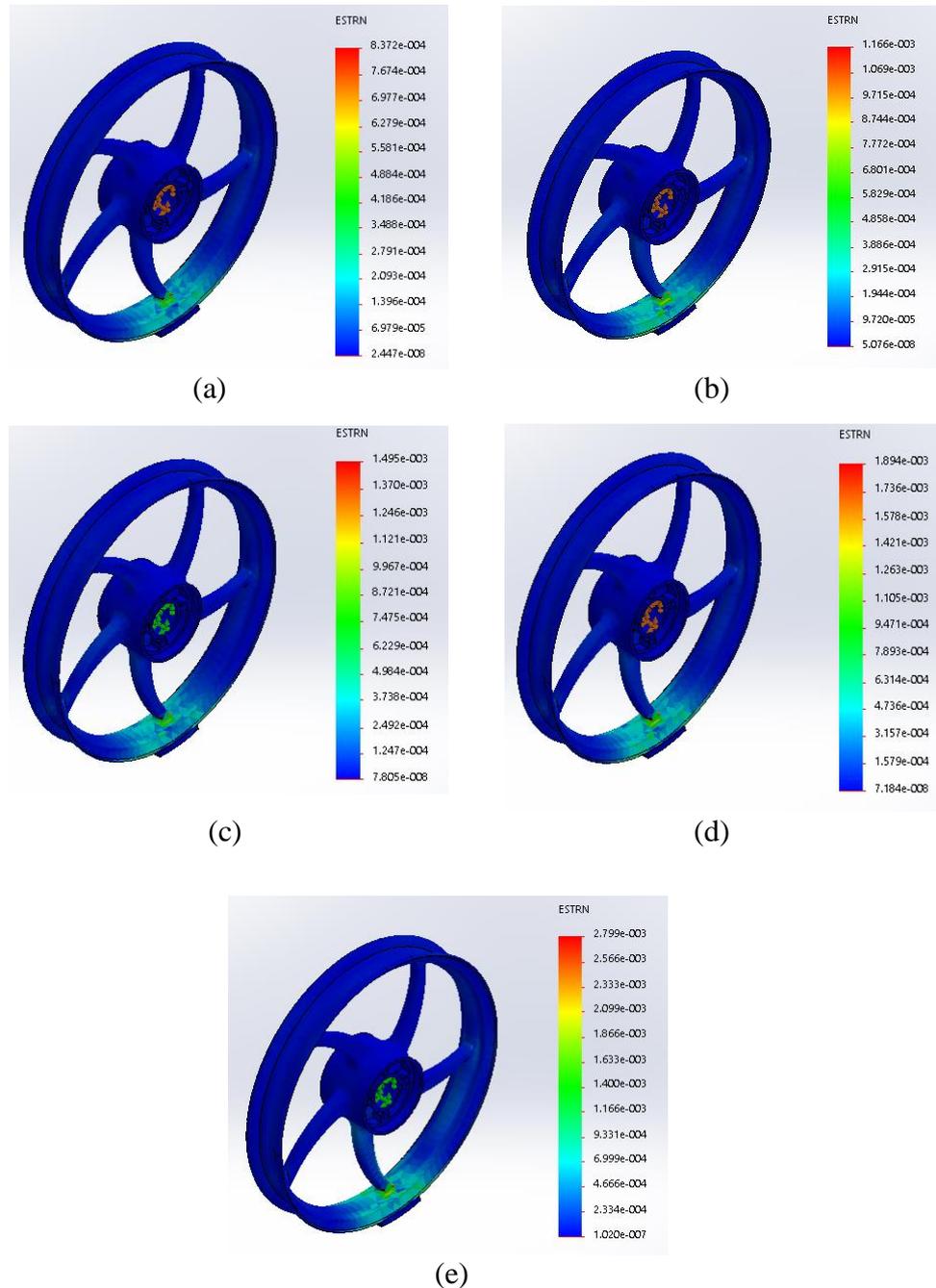
Pada pengujian ini, kita akan melihat distribusi tegangan yang terjadi pada dasar bidang *spoke* ketika terjadi benturan dengan proyektil. Variasi kecepatan *impact* yang digunakan yaitu 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, dan 35 km/h.



Gambar 4.15 Distribusi tegangan pada dasar bidang *spoke* (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h

b) Distribusi Regangan pada Dasar Bidang *Spoke*

Pada pengujian ini, kita akan melihat distribusi regangan yang terjadi pada dasar bidang *spoke* ketika terjadi benturan dengan proyektil. Variasi kecepatan *impact* yang digunakan yaitu 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, dan 35 km/h.



Gambar 4.16 Distribusi regangan pada dasar bidang *spoke* (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h

Berdasarkan pemberian variasi kecepatan *impact* pada dasar bidang *spoke* menggunakan *software Solidworks*, diperoleh nilai-nilai tegangan dan regangan dialami oleh *velg* ketika terjadi benturan dengan proyektil.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi *velg* pada dasar bidang *spoke*

No.	Kecepatan <i>impact</i> (km/h)	Tegangan (N/m ²)	Regangan
1	15	$7,794 \times 10^7$	$8,372 \times 10^{-4}$
2	20	$1,216 \times 10^8$	$1,166 \times 10^{-3}$
3	25	$1,664 \times 10^8$	$1,495 \times 10^{-3}$
4	30	$2,124 \times 10^8$	$1,894 \times 10^{-3}$
5	35	$2,760 \times 10^8$	$2,799 \times 10^{-3}$



(a)



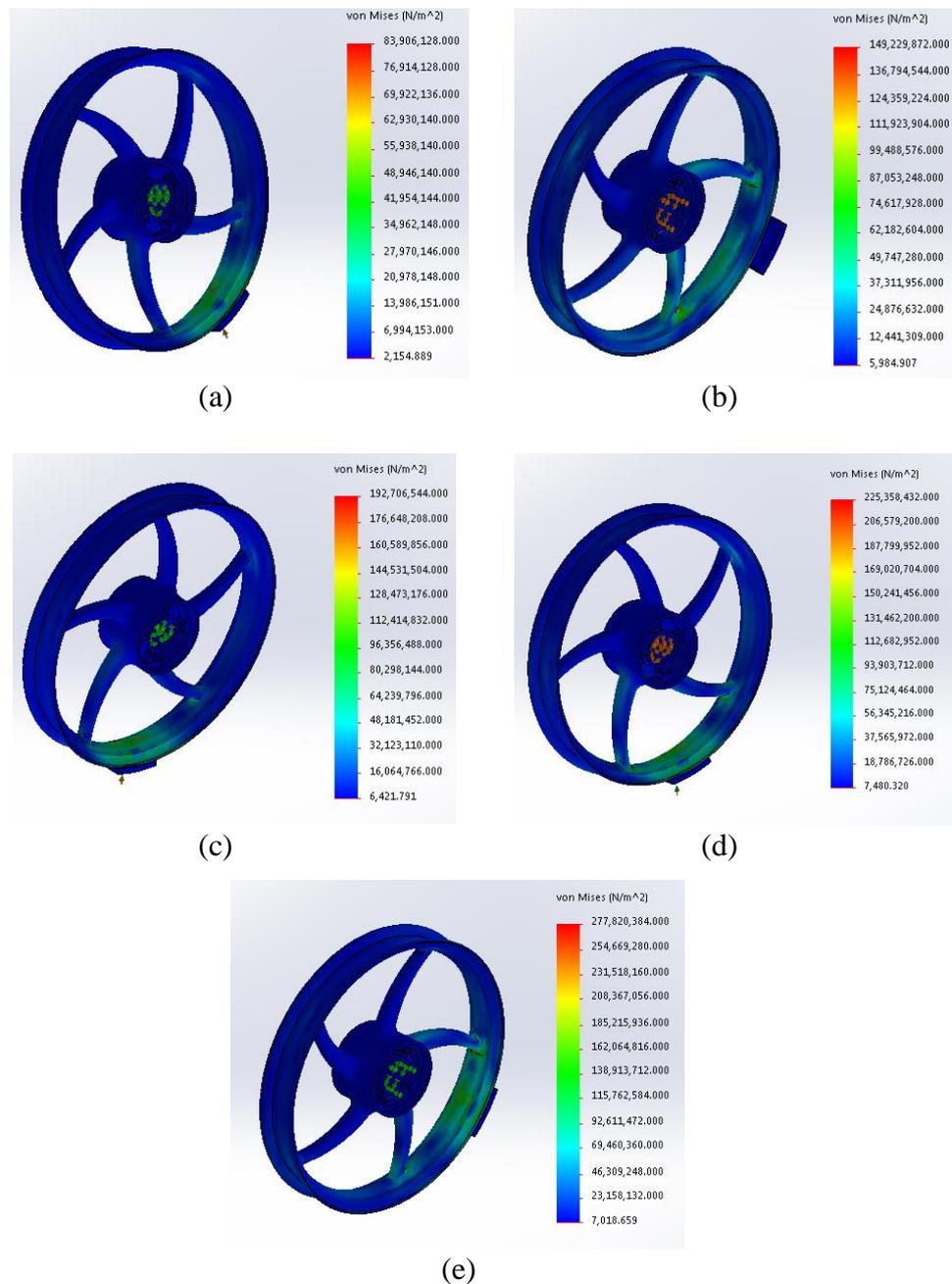
(b)

Gambar 4.17 Grafik hubungan: (a) kecepatan *impact* dan tegangan; (b) kecepatan *impact* dan regangan

4.3.2 Simulasi pada Dasar Bidang Antar *Spoke*

a) Distribusi Tegangan pada Dasar Bidang Antar *Spoke*

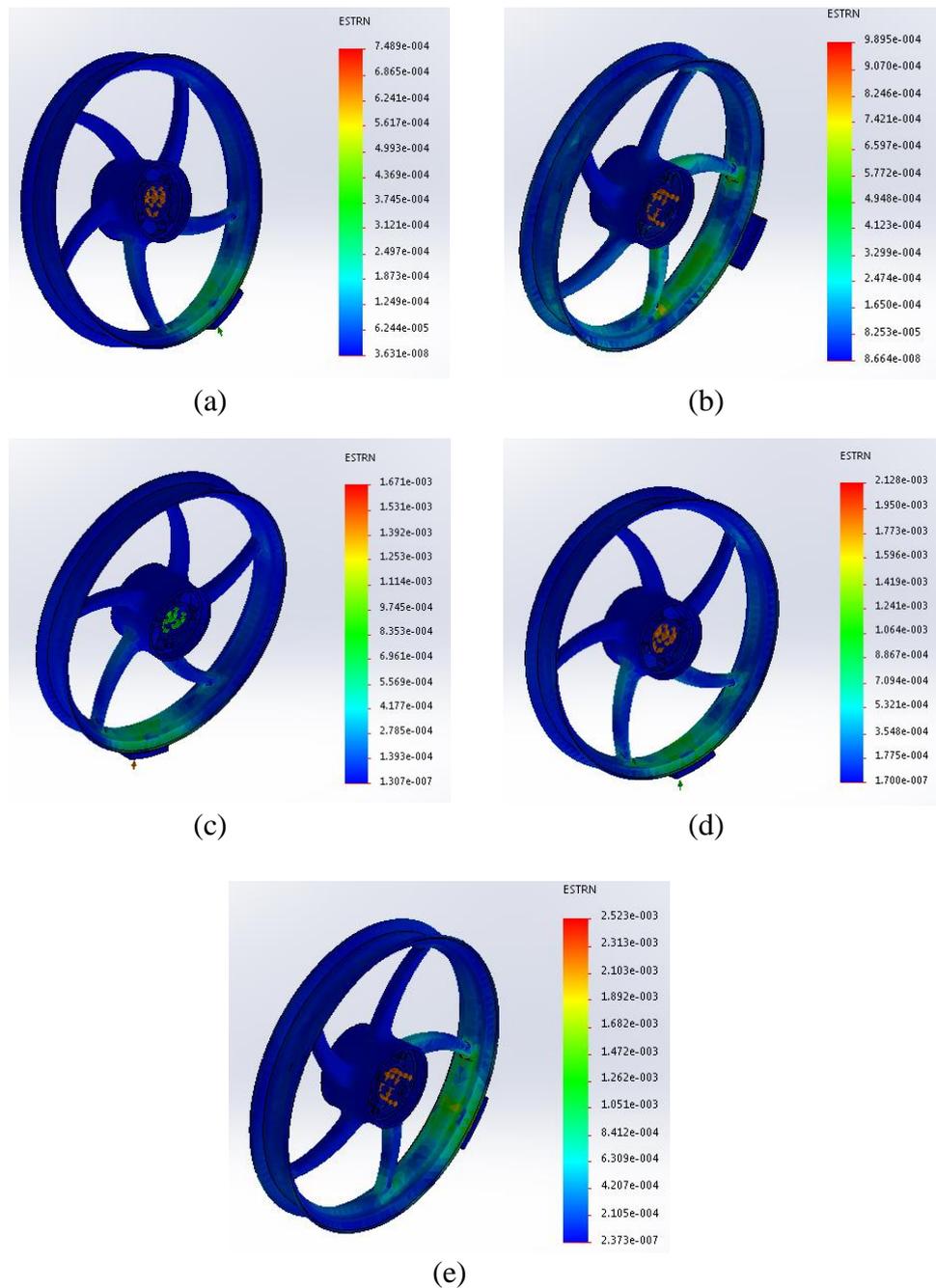
Pada pengujian ini, kita akan melihat distribusi tegangan yang terjadi pada dasar bidang antar *spoke* ketika terjadi benturan dengan proyektil. Variasi kecepatan *impact* yang digunakan yaitu 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, dan 35 km/h.



Gambar 4.18 Distribusi tegangan pada dasar bidang antar *spoke* (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h

b) Distribusi Regangan pada Dasar Bidang Antar *Spoke*

Pada pengujian ini, kita akan melihat distribusi regangan yang terjadi pada dasar bidang antar *spoke* ketika terjadi benturan dengan proyektil. Variasi kecepatan *impact* yang digunakan yaitu 15 km/h, 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h, dan 35 km/h.

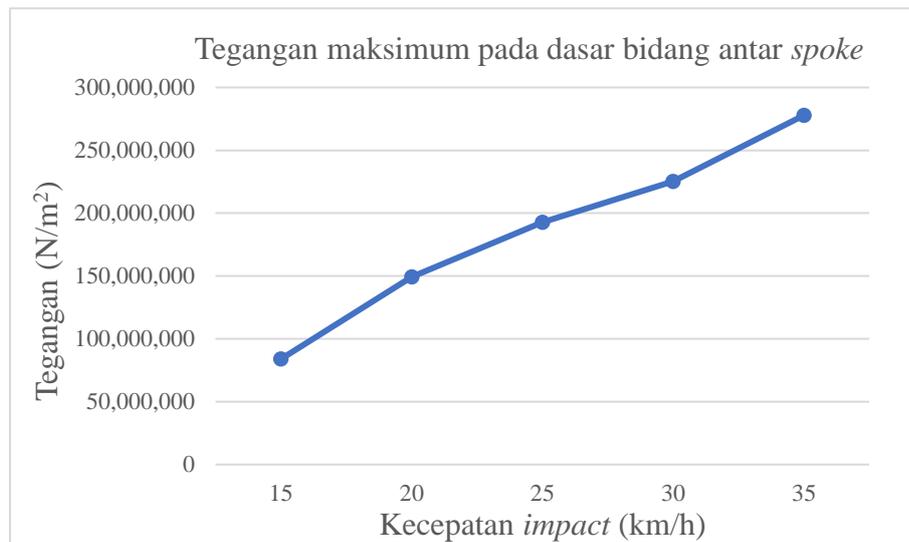


Gambar 4.19 Distribusi regangan pada dasar bidang antar *spoke* (a) 15 km/h; (b) 20 km/h; (c) 25 km/h; (d) 30 km/h; (e) 35 km/h

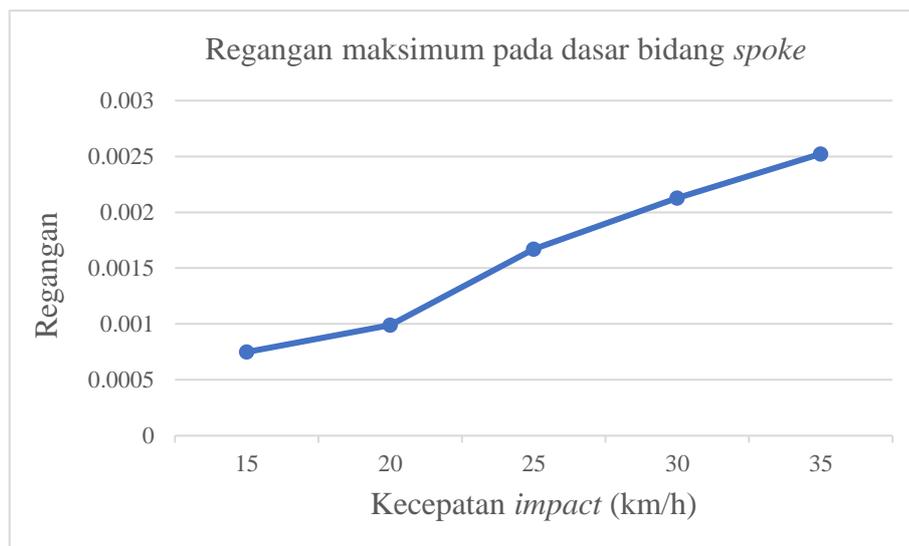
Berdasarkan pemberian variasi kecepatan *impact* pada dasar bidang antar *spoke* menggunakan *software Solidworks*, diperoleh nilai-nilai tegangan dan regangan yang dialami oleh *velg* ketika terjadi benturan dengan proyektil.

Tabel 4.4 Hasil simulasi *velg* pada dasar bidang antar *spoke*

No.	Kecepatan <i>impact</i> (km/h)	Tegangan (N/m ²)	Regangan
1	15	$8,390 \times 10^7$	$7,489 \times 10^{-4}$
2	20	$1,492 \times 10^8$	$9,895 \times 10^{-4}$
3	25	$1,927 \times 10^8$	$1,671 \times 10^{-3}$
4	30	$2,253 \times 10^8$	$2,128 \times 10^{-3}$
5	35	$2,778 \times 10^8$	$2,523 \times 10^{-3}$



(a)



(b)

Gambar 4.20 Grafik hubungan: (a) kecepatan *impact* dan tegangan; (b) kecepatan *impact* dan regangan

Factor of safety dari *velg cast wheel* dengan material yang digunakan adalah Aluminum Alloy 6063-T6, material ini memiliki *yield strength* $2,15 \times 10^8$ N/m², nilai hasil analisis faktor keamanan disajikan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Nilai *factor of safety* dari *velg cast wheel*

No.	Analisis	Kecepatan <i>impact</i> (Km/h)	Tegangan maksimum (N/m ²)	<i>Yield strength</i> (N/m ²)	<i>Factor of safety</i>	Keterangan
1	Pada dasar bidang <i>spoke</i>	15	$7,794 \times 10^7$	$2,15 \times 10^8$	2,758	Aman
		20	$1,216 \times 10^8$		1,768	Aman
		25	$1,664 \times 10^8$		1,292	Aman
		30	$2,124 \times 10^8$		1,012	Aman
		35	$2,760 \times 10^8$		0,740	Tidak aman
2	Pada dasar bidang antar <i>spoke</i>	15	$8,390 \times 10^7$	$2,15 \times 10^8$	2,562	Aman
		20	$1,492 \times 10^8$		1,441	Aman
		25	$1,927 \times 10^8$		1,115	Aman
		30	$2,253 \times 10^8$		0,954	Tidak aman
		35	$2,778 \times 10^8$		0,773	Tidak aman

Nilai *yield strength* maksimum dari material adalah $2,15 \times 10^8$ N/m². Perbandingan *margin of safety* dari hasil masing-masing simulasi disajikan dalam bentuk tabel 4.6, seperti berikut ini:

Tabel 4.6 Nilai *margin of safety* dari *velg cast wheel*

No.	Analisis	Kecepatan <i>impact</i> (Km/h)	<i>Factor of safety</i>	<i>Margin of safety</i>	Keterangan
1	Pada dasar bidang <i>spoke</i>	15	2,758	1,758	Aman
		20	1,768	0,768	Tidak aman
		25	1,292	0,292	Tidak aman
		30	1,012	0,012	Tidak aman
		35	0,740	-0,26	Tidak aman
2	Pada dasar bidang antar <i>spoke</i>	15	2,562	1,562	Aman
		20	1,441	0,441	Tidak aman
		25	1,115	0,115	Tidak aman
		30	0,954	-0,046	Tidak aman
		35	0,773	-0,227	Tidak aman

Dari table di atas dapat dilihat bahwa *velg* yang diberi beban pada dasar bidang *spoke* mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h - 30 km/h, namun batas keamanan *velg* hanya mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h. Sedangkan pada *velg* yang diberi beban pada dasar bidang antar *spoke* mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h - 25 km/h, namun batas keamanan *velg* hanya mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15km/h.

Pada grafik regangan, pemberian beban pada bidang dasar *spoke* maupun bidang dasar antar *spoke* selalu mengalami kenaikan pada setiap kenaikan kecepatan *impact* yang diberikan pada *velg cast wheel*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin besar beban *impact* yang diberikan kepada *velg cast wheel*, maka semakin besar pula tegangan dan regangan yang dihasilkan.
2. Pengujian beban *impact* pada dasar bidang *spoke* mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h - 30 km/h, namun batas keamanan *velg* hanya mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h
3. Pengujian beban *impact* pada dasar bidang antar *spoke* mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h - 25 km/h, namun batas keamanan *velg* hanya mampu menerima kecepatan *impact* sebesar 15 km/h.
4. Distribusi tegangan lebih besar terjadi pada simulasi beban *impact* pada dasar bidang antar *spoke* dibandingkan dengan simulasi pada dasar bidang *spoke*.

5.2 Saran

Untuk kemajuan pada penelitian yang telah dilakukan, disarankan:

1. Menggunakan spesifikasi komputer yang mumpuni agar ketika menjalankan *software Solidworks* tidak terjadi kendala.
2. Disarankan untuk belajar dan bertanya kepada orang yang lebih ahli pada *software Solidworks* sehingga tidak terjadi kesalahan pada saat pengoperasian perangkat lunak.
2. Teliti pada saat mendesain maupun simulasi pada *velg cast wheel* menggunakan *software Solidworks*, dikarenakan apabila salah input ketika memasukkan data maka hasil yang akan didapatkan berbeda pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggono, W., Pisa, B. F., Susilo, S. H., (2011) *Sustainable Product Design for Motor Cycle Cast Wheel using Finite Element Application and Pugh's Concept Selection Method*, Seminar Nasional Teknik Mesin
- Departemen Perindustrian, Badan Standar Nasional Indonesia (2008) *Pelk Kendaraan Bermotor Kategori L*. Jakarta.
- Dieter George E, (1987). *Metallurgi Mekanik* (Edisi Ketiga). (Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Giesecke, Frederick E. (2001) *Gambar Teknik*. Jakarta: Erlangga
- Handoyo, Y. (2013) *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*. Jurnal Ilmiah, Bekasi: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam.
- Harsokoesoemo, HD. (1999) *Pengantar Perancangan Teknik*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
- Imron, M. (2010) *Kajian Ketahanan Kejut (Impact) Beton Kertas Pada Variasi Campuran*. Laporan Tugas Akhir, Surakarta: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.
- Irawan, AH., Majanasastra, RBS., Rahmanto, RH. (2016) *Analisis Kekuatan Velg Cast Wheel Sepeda Motor Dengan Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga*. Jurnal Ilmiah, Bekasi: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam.
- J. P. Den Hartog (1952) *Advanced Strength of Materials*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Jensen, A. And Chenoweth, Harry H. (1983) *Applied Strength of Material* (fourth edition). McGraw-Hill inc.
- Kosasih, PB. (2012) *Teori dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Malau, Viktor. (2008). *Pengaruh Perlakuan Panas Quench Dan Temper Terhadap Laju Keausan, Ketangguhan Impak Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Baja XW 42 Untuk Keperluan Cetakan Keramik*. Jurnal Media Teknik.
- Prabowo, SA. (2010) *Easy To Use Solidworks 2009*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Putra, RVBB. (2016) *Analisa Dan Perancangan Pembuatan Engine Stand Transmisi Toyota Kijang 4K Dengan Menggunakan Software Solidworks 2014*. Laporan Tugas Akhir, Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Muhammadiyah Yogyakarta
- Sudjana, Hardi. (2008) *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

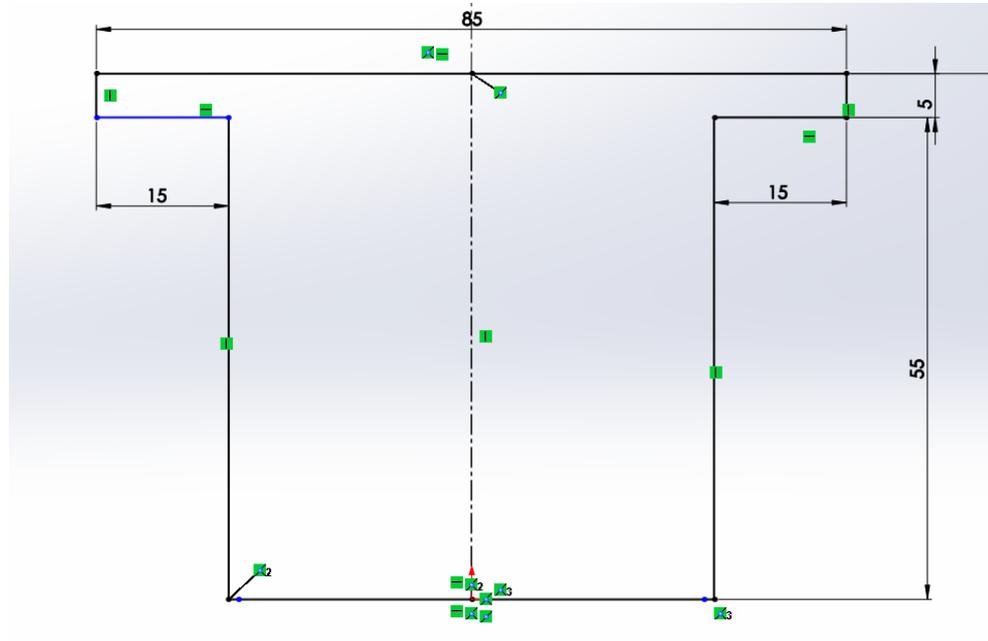
Sutarno, H., dan Rachmatin, D. (2005) *Metode Numerik Dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.

Sutikno S, Raharjo PA. (2003) *Metode Elemen Hingga untuk Penyelesaian Persamaan Aliran Turbulen*. Jurnal Natur Indonesia.

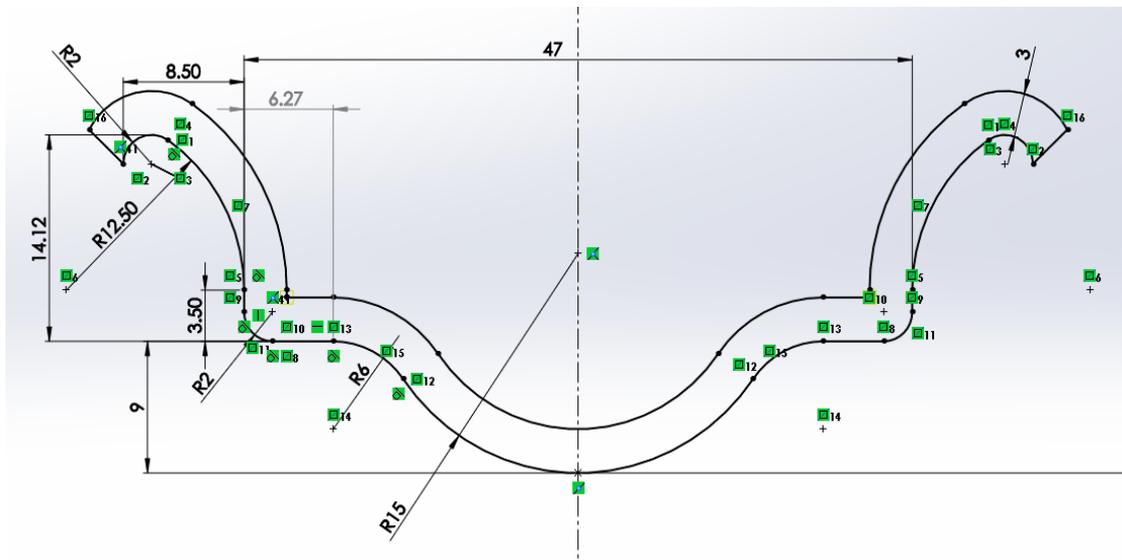
LAMPIRAN

1. Ukuran *Velg*

a. Bagian Poros *Velg*



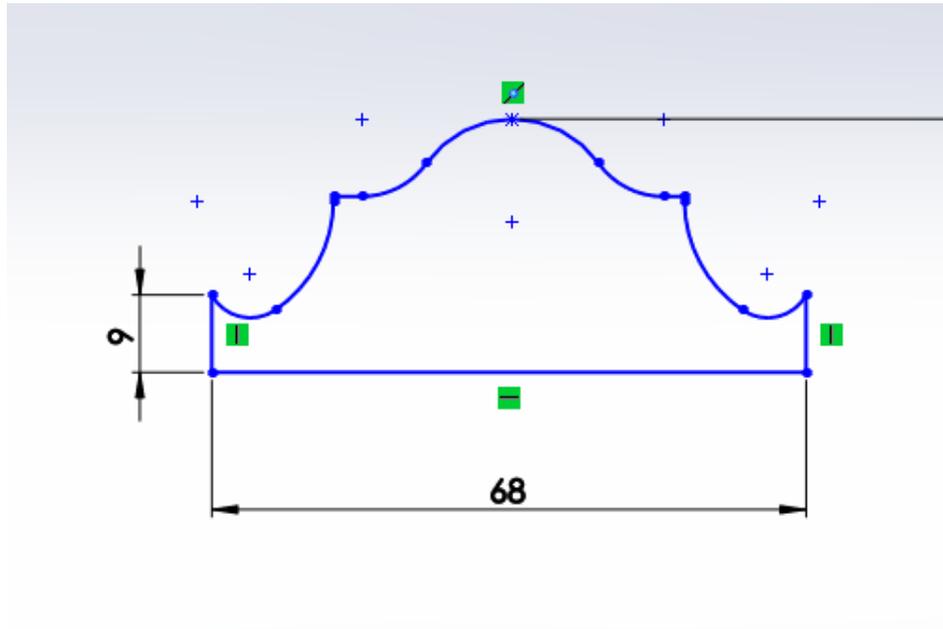
b. Bagian Bibir *Velg*



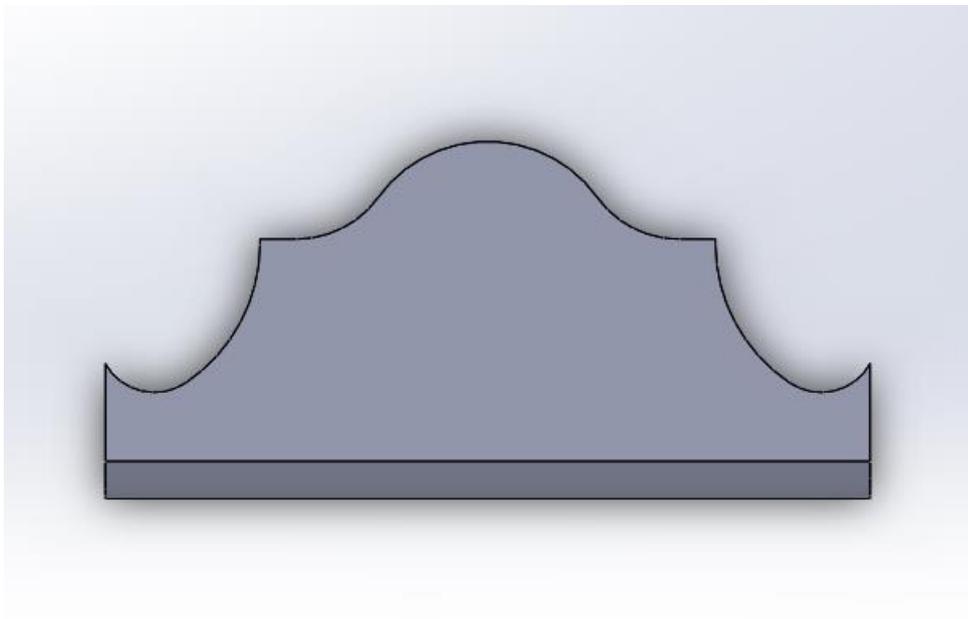
2. Gambar Desain *Velg*

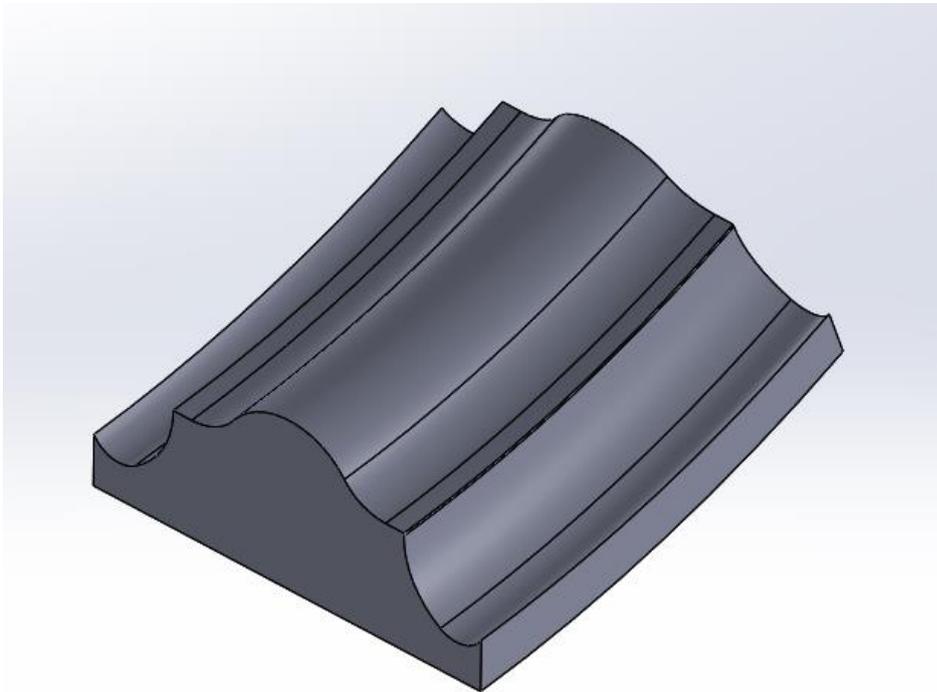
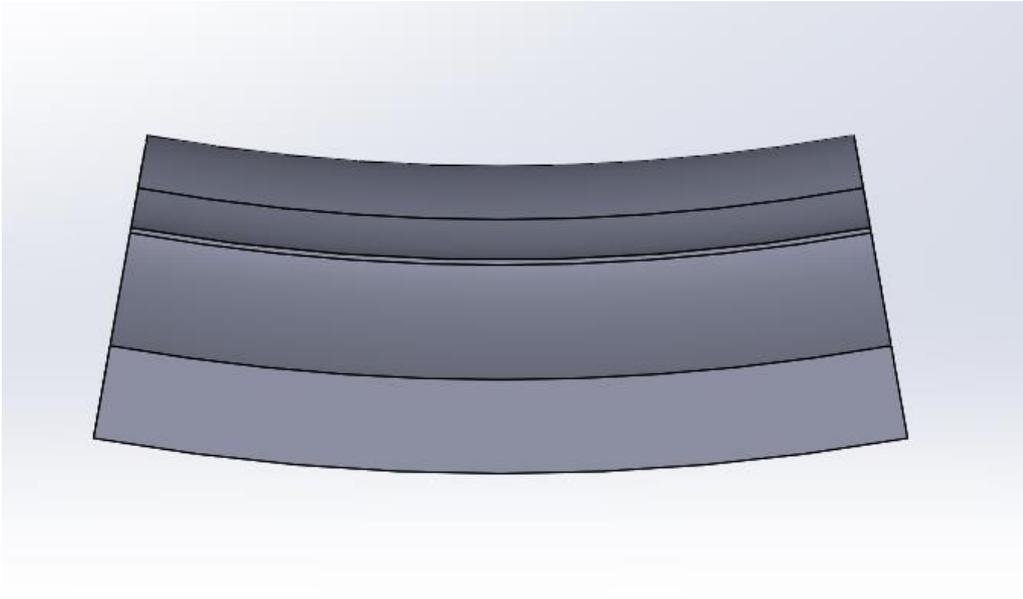


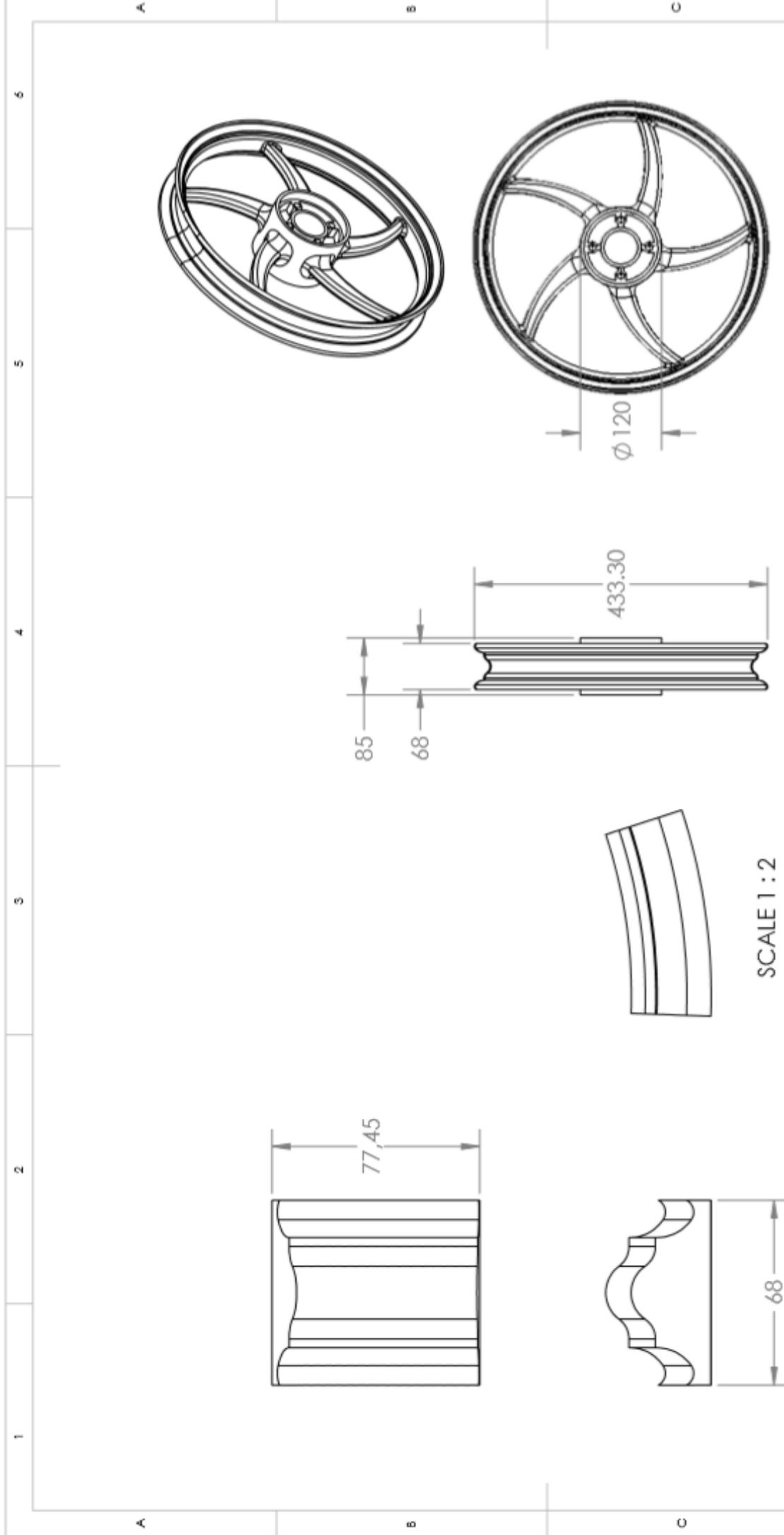
3. Ukuran Proyektif



4. Gambar Desain Proyektif

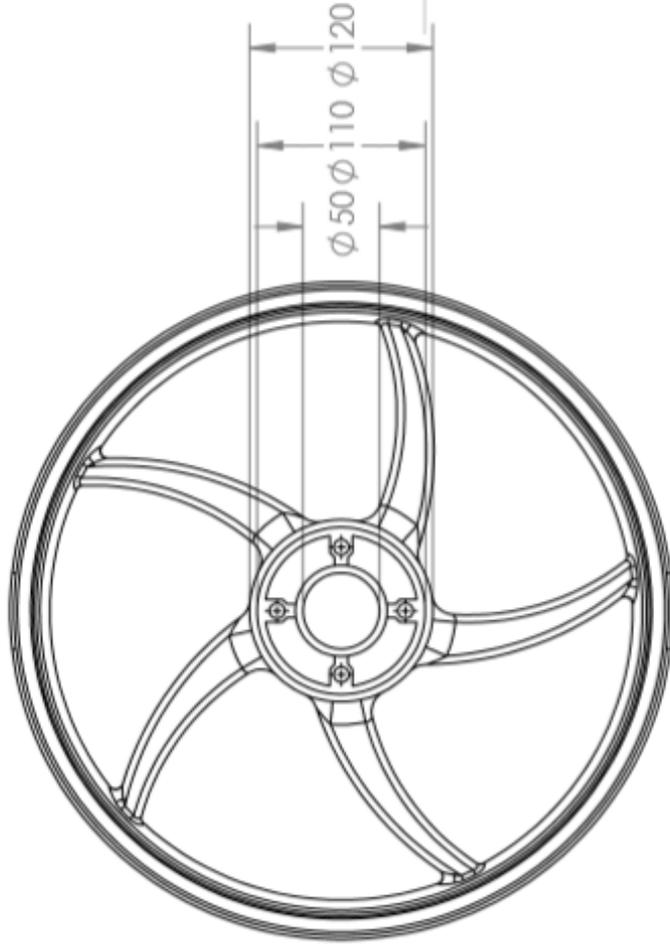
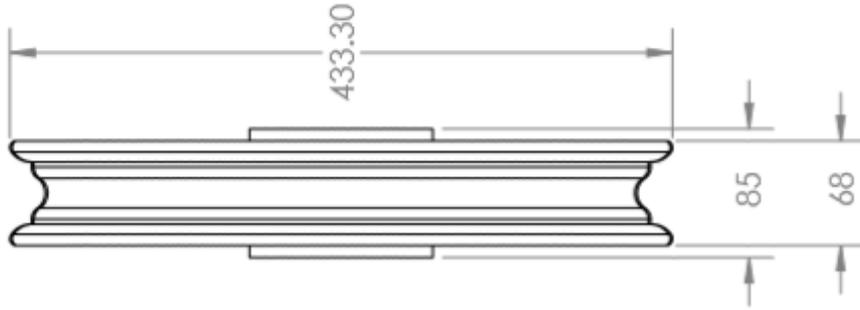






SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DESIR AND BREAK SHAEP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:		TOLERANCES:		LINEAR:		ANGULAR:		TITLE:	
DRAWN: M. ADIMAS NIUGRAHA		NAME:		SIGNATURE:		DATE:		VELG 5 SPOKE DAN PROYEKTIIL	
CHKD:		MFG:		G.A.		MATERIAL:		DWG NO. 01	
APPVD:		MATERIAL:		VELG : ALUMINIUM ALLOY 6063-T6		PROYEKTIIL : ALUMINIUM ALLOY 6063-O		SCALE : 1 : 2	
MFG:		MATERIAL:		VELG : ALUMINIUM ALLOY 6063-T6		PROYEKTIIL : ALUMINIUM ALLOY 6063-O		SHEET 1 OF 3	
G.A.		MATERIAL:		VELG : ALUMINIUM ALLOY 6063-T6		PROYEKTIIL : ALUMINIUM ALLOY 6063-O		A4	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME: DRAWIN, M. ADIMAS NUCRAHA

SIGNATURE

DATE

4 MAR 2019

CHKD

APPVD

MFG

G.A.

TITLE:

VELG 5 SPOKE

MATERIAL:

ALUMINIUM ALLOY 6063-T6

DWG NO.

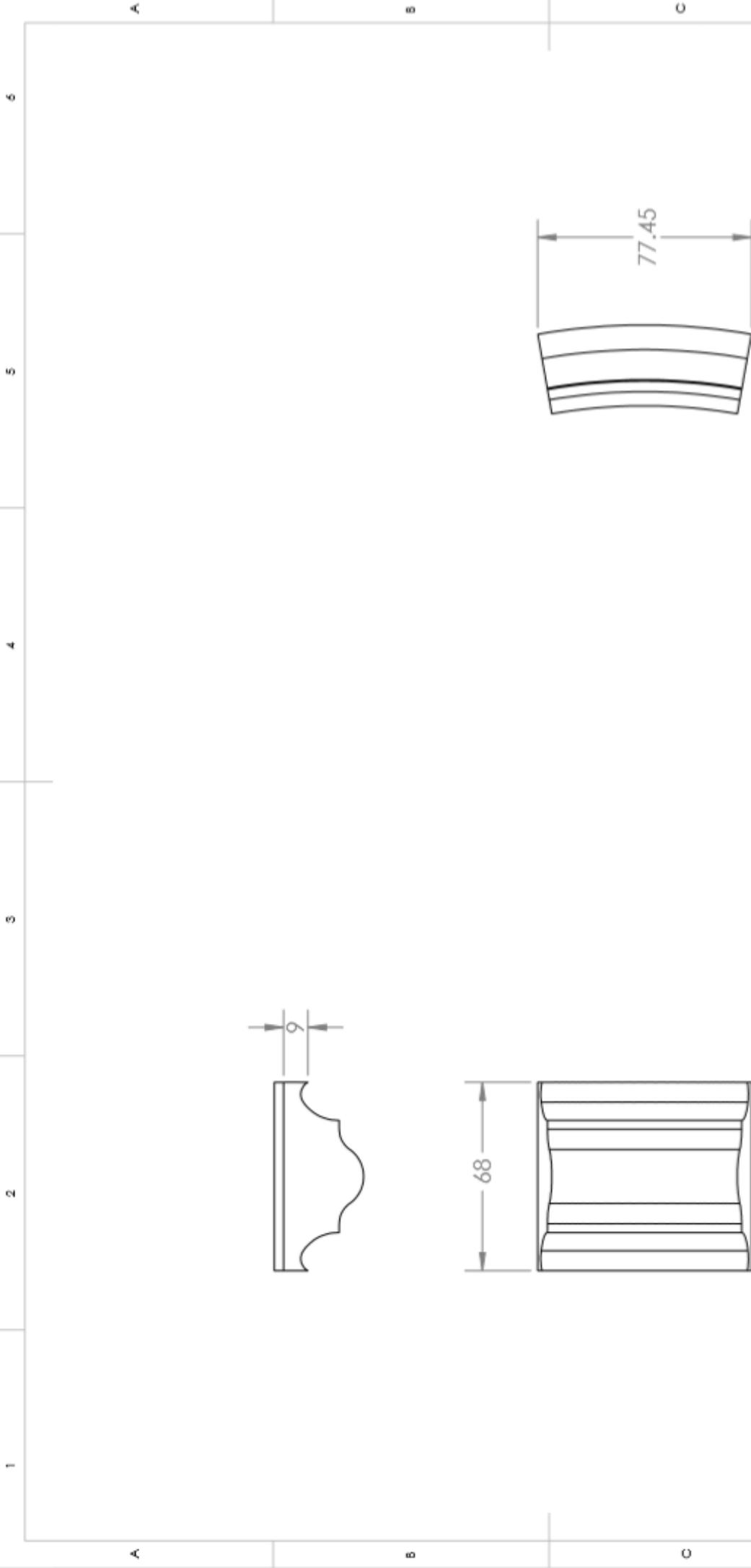
01

A4

WEIGHT: 1103.91 GRAM

SCALE:1:5

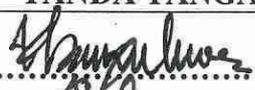
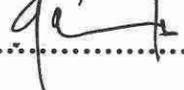
SHEET 3 OF 3

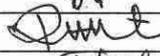
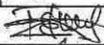
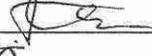


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DESUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:		PROYEKTI		A4	
CHKD	M. ADHMAS NUCRAMA		4 MARET 2018	MATERIAL:		02		A4	
APP'VD				ALUMINIUM ALLOY 6063-0		DRWG NO.		A4	
MFG				WEIGHT: 92.53 GRAM		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 3	
G.A.									

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

Peserta Seminar
 Nama : M.Abdimas Nugraha
 NPM : 1407230266
 Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Kekuatan VelgSepeda Motor Yang di-
 Bebani Dengan Beban Impact.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T	: 
Pembanding – I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T	: 
Pembanding – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230139	Mellyanto	
2	1507230155	ANDRIANTO	
3	1507230120	Rendy Kuswary	
4	1507230246	Jefri Maulana Lubis	
5	1307230086	RIKI ANDREAN	
6	1307230115	FEBRI RAMADHAN	
7	1307230016	HUSFIAR RAMADHAN	
8	1407230001	Muhammad Ramadhan	
9	1507230134	M. Syahrin Effendy	
10	1407230200	M FACHRULROZI DAMANIK	

Medan, 23 Jum.Akhir 1440 H
 28 Februari 2019 M

Ketua Prodi. T Mesin


 Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : M.Abdimas Nugraha
NPM : 1407230266
Judul T.Akhir : Analisa Numerik kekuatan veleg Sepeda Motor Yang Dibe-bani Dengan beban Impact.

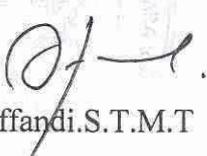
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

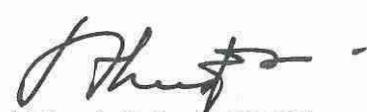
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - 1. *perbaiki format tulisan*
 - 2. *Lihat Laporan T.A. yg sdh di periba.*
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 23 Jum.Akhir 1440H
28 Februari 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I


Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : M.Abdimas Nugraha
NPM : 1407230266
Judul T.Akhir : Analisa Numerik kekuatan veleg Sepeda Motor Yang Dibebani Dengan beban Impact.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

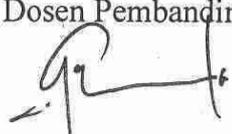
KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
..... *lihat buku tugas sarjana*
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 23 Jum.Akhir 1440H
28 Februari 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T Mesin


Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Chandra A Siregar.S.T.M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Numerik Kekuatan *Velg* Sepeda Motor Yang Dibebani Dengan Beban *Impact*

Nama : M. Adimas Nugraha
NPM : 1407230266

Dosen Pembimbing 1: Khairul Umurani, S.T., M.T
Dosen Pembimbing 2: Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	3 Januari 2019	- Pemberian spesifikasi tugas	h
2.	9 Januari 2019	- Perbincangan pendahuluan	h
3.	10 Januari 2019	- Perbincangan program pustaka	h
4.	12 Januari 2019	- Perbincangan Metode Penelitian	h
5.	29 Januari 2019	- Perbincangan analisis data	h
6.	31 Januari 2019	- lanjut ke pembimbing 2	h.
7.	14 Februari 2019	- Perbincangan cara pemrosesan	Sh
8.	10 Februari 2019	- Spasi tiap paragraf 1,5	Sh.
9.	21 Februari 2019	- Aca, seminar	h.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : M. ADIMAS NUGRAHA
2. Jenis Kelamin : Laki-Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 12 Mei 1996
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Menikah
6. Agama : Islam
7. Alamat : Jl. SM Raja Gg. Pulau Harapan No. 2A
Medan
8. No. Hp : 089666302442
9. Email : dimaz.devil96@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIIKAN FORMAL	TAHUN
1	TK AISYIYAH CABANG TELADAN MEDAN	2001 - 2002
2	SD MUHAMMADIYAH 10 MEDAN	2002 - 2008
3	SMP SWASTA AL ULUM AMALIUN MEDAN	2008 - 2011
4	MAN 1 MEDAN	2011 - 2014
5	Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2014 - 2019