

ANALISIS KEKUATAN VELG ALUMINIUM MODEL D30D PADA PERUSAHAAN "A"

Sumiyanto dan Abdunnaser

Program Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Sains Dan Teknologi Nasional
Jakarta Selatan, Telp: 021-7270090
Email : sumiyanto@istn.ac.id

ABSTRACT

Wheels are one of the main components in a vehicle. Without wheels of vehicles will not be to function. The damage that occurs in aluminium alloy wheels for the outbreak spoke mostly occur due to a force and tension that occurs exceeds the maximum allowable voltage. With these considerations it is necessary to redesign using 3D software and simulated using finite element method. After simulated, part produce with low pressure casting and machining. Sample part test with several testing as single part such as : life test, drum test, 13° impact test. After that sample part test as running test such as : curb stone evaluation and rectangle evaluation. The results of sample testing parts such as life test, the drum test, 13 ° impact test and running test in the form of curb stone rectangle evaluation and evaluation did not reveal any cracks on the sample part. Nut torque results of sample testing parts such as curb stone evaluation have smaller in 70 N.m, with allowed limit 61,6 N.m until 88 N.m. And nut torque results of sample testing parts such as rectangle evaluation have smaller in 76 N.m, with allowed limit 61,6 N.m until 88 N.m

Keywords: *Wheels, Finite Element Method*

1. PENDAHULUAN

Velg adalah salah satu komponen utama dalam sebuah kendaraan. Tanpa velg kendaraan tidak akan dapat berjalan. Ada dua jenis material velg yang dikenal di kalangan masyarakat, yaitu velg baja dan velg aluminium. Namun karena beberapa alasan velg baja tidak banyak disukai, salah satunya adalah tidak sesuai dengan perkembangan zaman atau sudah kuno. Disamping itu, velg baja memiliki massa yang lebih berat dari velg aluminium apabila digunakan.

Aspek keselamatan merupakan hal yang wajib diperhitungkan dalam dunia otomotif, karena berhubungan erat dengan nyawa dari pengguna kendaraan tersebut. Sehingga dalam memodifikasi setiap komponennya haruslah dipertimbangkan secara matang. Dalam dunia otomotif telah banyak kecelakaan yang disebabkan oleh velg mobil yang terdeformasi secara plastis. Velg pada sebuah mobil adalah kerangka dari sebuah ban yang menahan gaya dan tegangan akibat dari berat kendaraan dan impact dari permukaan jalan. Impact dari permukaan jalan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya tegangan dan deformasi pada velg. Velg aluminium mempunyai daerah yang dinamakan area kritis, dimana area kritis

tersebut terdapat pada daerah *hub*, *spoke*, dan *flange*.

Kerusakan yang terjadi pada velg aluminium kebanyakan terjadi karena pecahnya spoke akibat gaya dan tegangan yang terjadi melebihi tegangan maksimum yang diijinkan. Dengan pertimbangan ini maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari bentuk atau desain spoke terhadap tegangan dan deformasi dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Simulasi secara numerik menggunakan software komputer dapat dilakukan untuk memodifikasi desain dari velg agar kegagalan yang terjadi dapat diminimalisir. Penelitian sebelumnya menjelaskan terkait analisis pengaruh jumlah spoke antara 10, 12, dan 14. Pembuatan model velg dengan menggunakan AutoCAD dan disimulasikan menggunakan software ANSYS 14.0 *Workbench* yang berbasis *Finite Element Method* (FEM) atau Metode Elemen Hingga. Hasilnya velg mobil dengan jumlah spoke 10 adalah desain yang paling baik dan optimal dibandingkan dengan desain lainnya. Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 52,148 MPa dan deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0,5393 mm. Hal ini bisa dijadikan referensi untuk pembuatan desain velg selanjutnya.

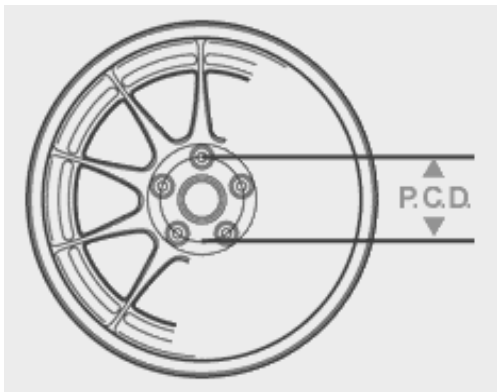
1. Untuk memperoleh nilai distribusi tegangan yang terjadi pada velg aluminium dengan metode elemen hingga.
2. Hasil yang diperoleh digunakan sebagai referensi tambahan untuk mendesain velg mobil selanjutnya.

Teori Pendukung Spesifikasi Velg Mobil

Terdapat beberapa kode-kode yang dipakai untuk menggambarkan spesifikasi detail dari sebuah velg mobil.

PCD

PCD adalah singkatan dari "*Pitch Circle Diameter*". Ini adalah diameter lingkaran yang diambil melalui pusat lubang baut pada velg. PCD diukur dalam millimeter dan juga menunjukkan jumlah baut pada velg. Misalnya kode 5/114,3 merupakan kode untuk menunjukkan jumlah baut pada velg ada 5 dengan PCD 114,3 mm.



Gambar 1. PCD Velg Mobil

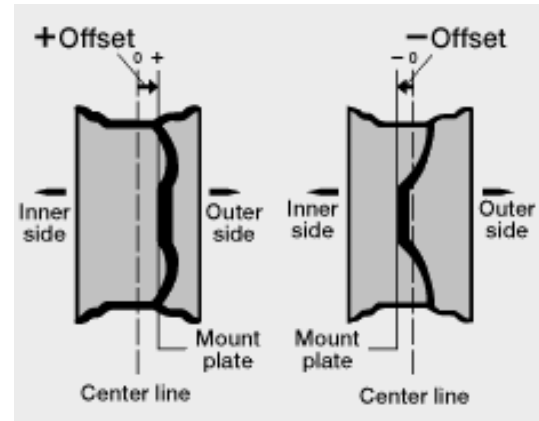
Center Bore

Merupakan lubang di tengah-tengah lubang baut pada velg mobil, yang berfungsi untuk menahan velg agar tetap berada dipusat roda atau sering juga disebut *Centre Hole*.

Offset

Offset adalah ukuran seberapa besar ruang cekungan penampang/permukaan tengah bagian dalam velg. Semakin kecil ukuran *offset* maka penampang dalamnya semakin tebal, sehingga dapat membuat velg yang terpasang pada mobil akan semakin keluar dari *fender*.

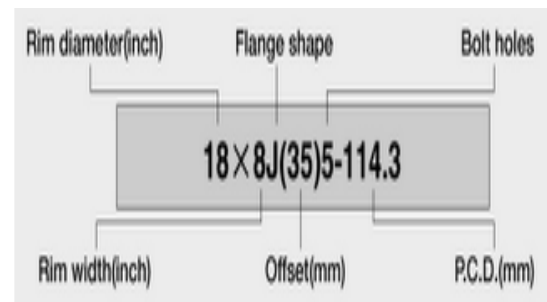
Offset menunjukkan jarak dari titik tengah velg ke bagian dudukan baut pada as roda (bisa rem cakram atau tutup tromol) yang menggunakan satuan millimeter. *Offset* disebut dengan "+" (positif) apabila permukaan yang menyentuh dudukan as roda melampaui garis tengah velg, dan disebut "-" (negatif) apabila lebih dalam daripada garis tengah velg. Pemilihan jenis *offset* ini perlu diperhatikan agar ban tidak terlalu masuk dan menyentuh rongga spatbor mobil atau dapat menyentuh kaliper rem.



Gambar 2. Offset Velg Mobil

Rim Marking

Berfungsi untuk menunjukkan ukuran dari velg. Pada umumnya format penulisannya adalah 18x8J ET 35, yang artinya velg mobil tersebut berukuran diameter 18 inch dengan lebar velg 8 inch dan *offset* 35 mm.



Gambar 3. Contoh Ukuran Velg Mobil

Aplikasi Aluminium Pada Velg Mobil

Velg adalah komponen utama dalam sebuah mobil. Tanpa velg, mobil tidak akan dapat berjalan. Velg aluminium sendiri ada dua jenis yang dikenal di kalangan masyarakat yaitu velg aluminium standar dan velg aluminium jenis polish.

Velg aluminium standar atau velg dari pabrikan sekarang ini banyak yang kurang

menyukai karena beberapa alasan, salah satunya adalah masalah *trend*. Oleh karena itu banyak yang menggantinya dengan velg yang lebih gaya atau yang disebut dengan velg polish.

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

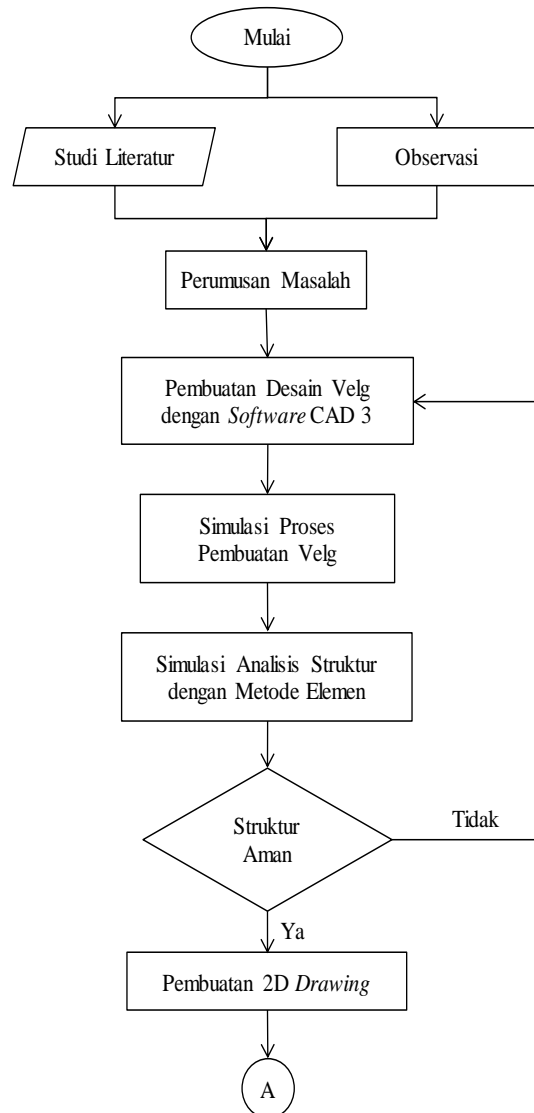
Metode elemen hingga atau biasa disebut *Finite Element Method* (FEM) pada awalnya merupakan kebutuhan untuk memecahkan permasalahan analisis yang kompleks serta masalah struktural dibidang sipil dan *aeronautical engineering*. FEM adalah salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai didunia *engineering* (sipil, mesin, penerbangan, *mikro elektronik*, *bio engineering* dan material). Metode ini berusaha memecahkan *partial differential equations* dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda kontinu. Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*). Saat ini banyak sekali software FEM yang beredar, contohnya adalah MSC, ABAQUS, ANSYS dan LSDYNA.

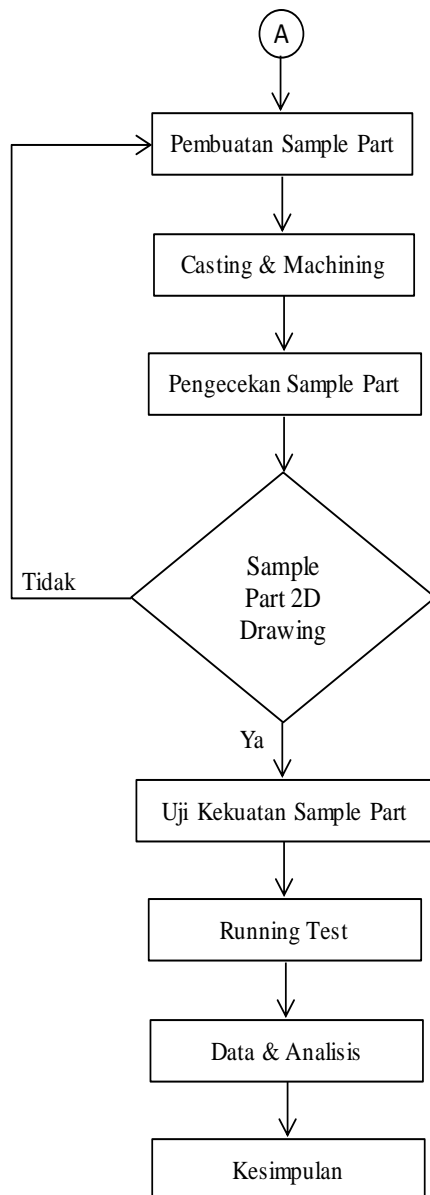
Metode yang lain adalah metode analitik, untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constrain*, sifat material dan lain-lain) maka semakin sulit atau bahkan mustahil dibangun suatu model matematik yang dapat mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya dengan jumlah elemennya adalah tidak berhingga. Dengan kecanggihan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*) komputer sekarang, masalah rekayasa yang rumit dapat dimodelkan dengan relatif mudah, dan waktu yang

diperlukan untuk memecahkan problem pun semakin singkat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Perancangan





Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Material yang Digunakan

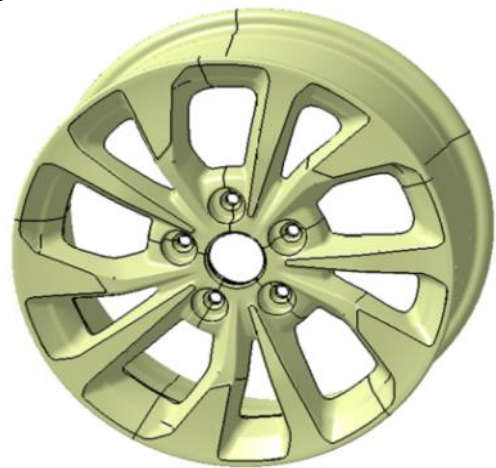
Dalam merancang suatu struktur, ditetapkan prosedur pemilihan suatu material yang sesuai dengan kondisi aplikasinya. Untuk pemilihan material sendiri mengacu pada jenis material yang ada di pasaran, sehingga nantinya tidak ada kesulitan dalam proses pembuatan, namun tidak mengesampingkan faktor dari kekuatan, kekerasan dan ketangguhan dalam penetapan pemilihan suatu material. Dalam penelitian ini material yang digunakan yaitu aluminium paduan dengan spesifikasi atau standard minimum paduan seperti yang tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Minimum Material yang Digunakan

No	Chemical Code	Composition (%)	Heat Treatment		Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Brinell Hardness of Permanent Mold
			Solution Treatment	Tempering			
1	Cu	0.2 max	Approx. 520 °C Approx. 3 h	Approx. 170 °C Approx. 4 h	225 min	3 min	Approx. 85
2	Si	6.5 - 7.5					
3	Mg	0.2 - 0.8					
4	Zn	0.3 max					
5	Fe	0.5 max					
6	Mn	0.5 max					
7	Ni	0.1 max					
8	Ti	0.2 max					
9	Pb	0.1 max					
10	Sn	0.05 max					
11	Cr	0.1 max					
12	Al	Remainder					

Pembuatan Model

Setelah diketahui tipe velg dan tampilan muka yang akan digunakan, selanjutnya dibuat model velg tersebut dengan menggunakan bantuan *software* CAD 3 dimensi. Namun pada pembuatan model tidak hanya sekali jadi, tetapi terdapat beberapa revisi pada pembuatan model tersebut sehingga nantinya velg tersebut benar-benar sesuai dengan yang diinginkan. Desain akhir dari velg dapat dilihat pada gambar 5.

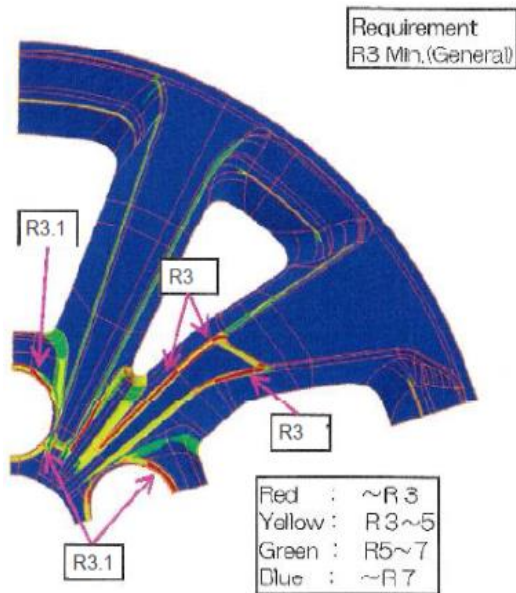


Gambar 5. Desain Akhir Velg

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

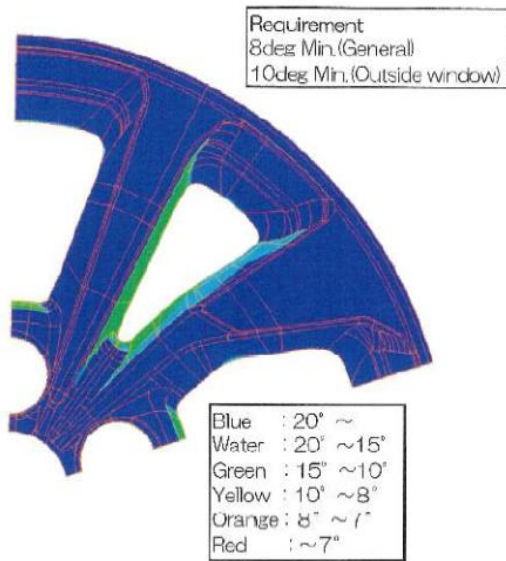
Simulasi Pembuatan

Setelah didapatkan desain akhir velg, selanjutnya dilakukan simulasi pembuatan velg dengan metode *casting* menggunakan *software*. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan saat proses pembuatan nantinya.



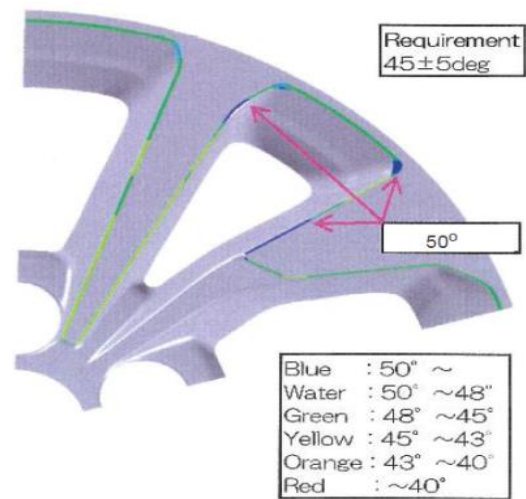
Gambar 6. Maximum Radius Velg

Pada gambar 6 kita dapat mengetahui bahwa minimum radius yang diperbolehkan sebesar 3 mm, beberapa sudut dari velg menunjukkan warna merah namun masih dalam batas yang diperbolehkan.



Gambar 7. Maximum Draft Angle Velg

Pada gambar 7 menunjukkan *draft angle* dari desain velg tersebut masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan. Desain velg yang digunakan merupakan tipe velg aluminium dengan *finishing* permukaan menggunakan proses *diamond cut*. Oleh karena itu dibutuhkan juga simulasi untuk proses tersebut.



Gambar 8. Draft Angle at the Diamond Cut Edge Portion

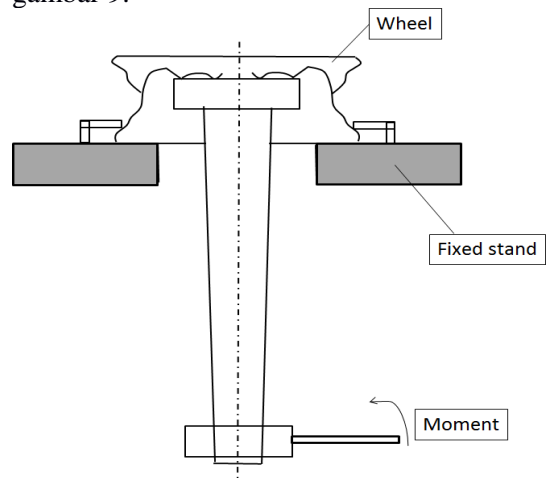
Dari gambar 8 didapatkan hasil simulasi dari permukaan velg dengan *finishing* menggunakan metode *diamond cut*, hasilnya desain velg masih dalam batas toleransi.

Simulasi Numerik Velg Mobil

Pada simulasi numerik dengan metode elemen hingga sesuai dengan standard JWJ (*Japan Light Alloy Wheels*) sebuah velg sebelum diproduksi minimal harus dilakukan pengetesan berupa *life test*, *drum test* dan 13° *impact test*. Dari ketiga tes tersebut nantinya didapatkan tegangan dan regangan maksimum yang akan terjadi pada velg.

Life Test

Pada simulasi pengetesan ini sesuai dengan standard JWJ, velg akan diberikan beban berupa momen pada area nut seperti pada gambar 9.

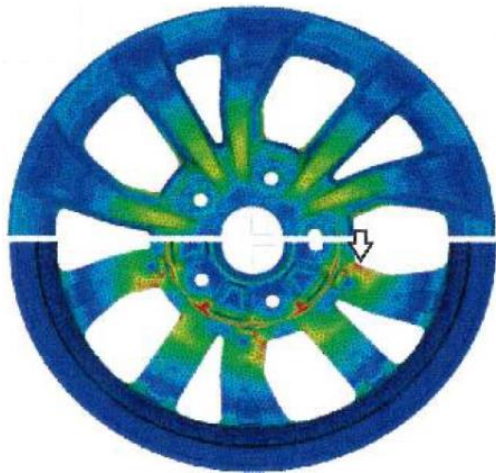


Gambar 9. Life Test pada Velg

Moment : 2857 N.m.

Jumlah Pembebanan : 300.000 kali.
 Tingtening Nut : 103 N.m

Tingtening Nut : 103 N.m
 Tekanan Ban : 451 kPa.



Gambar 10. Tegangan Maksimum pada Simulasi *Life Test*

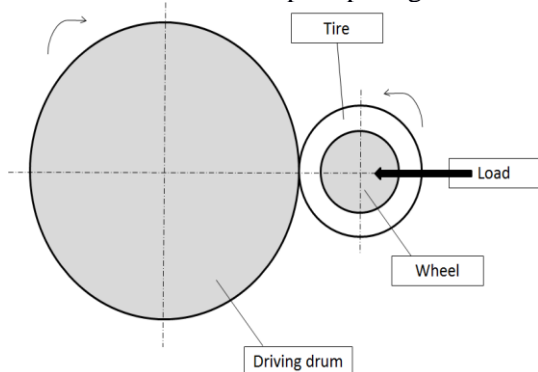
Dari gambar 10 didapatkan nilai tegangan maksimum pada simulasi *life test* terletak pada bagian *spoke bottom*. Detail hasil simulasi *life test* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Simulasi *Life Test*

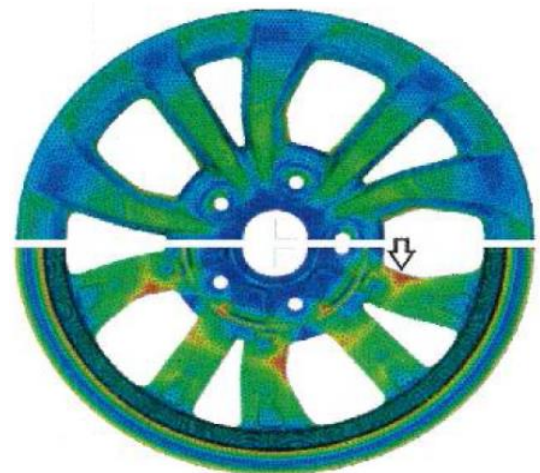
Item	Area	Target (Mpa)	Hasil (Mpa)	Judge
Life Test M = 2857 N.m N > 30 x 10 ³ rev	Bolt hole	$\sigma < 225$	44	OK
	Spoke top		60	
	Spoke bottom		91	
	Root		37	

Drum Test

Sesuai dengan standard JWL. Pada simulasi pengetesan ini velg di simulasikan mendapat tekanan dari area luar seperti pada gambar 11.



Gambar 11. *Drum Test* pada Velg
 Load : 20594 N.
 Jumlah Pembebanan : 1.500.000 kali.



Gambar 12. Tegangan Maksimum pada Simulasi *Drum Test*

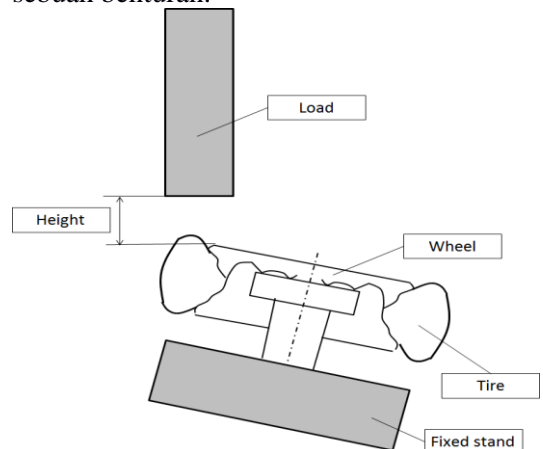
Dari gambar 12 didapatkan nilai tegangan maksimum pada simulasi *drum test* terletak pada bagian *spoke bottom*. Detail hasil simulasi *drum test* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi *Drum Test*

Item	Area	Target (Mpa)	Hasil (Mpa)	Judge
Drum Test P = 20594 KN N > 150 x 10 ⁴ cycle	Bolt hole	$\sigma < 225$	32	OK
	Spoke top		53	
	Spoke bottom		87	
	Root		45	

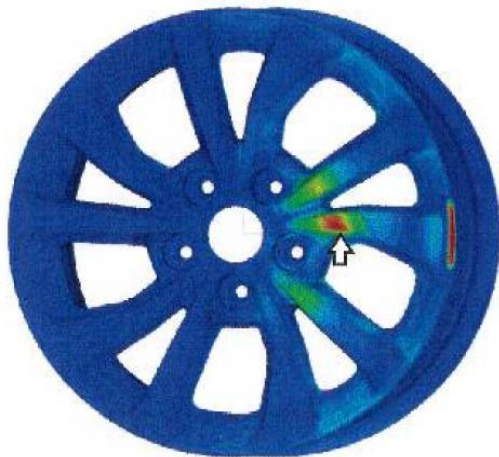
13° Impact Test

Pada simulasi pengetesan ini posisi velg dimiringkan sebesar 13° untuk memperoleh kondisi paling ekstrim ketika velg mengalami sebuah benturan.



Gambar 13. *Impact Test* pada Velg
 Berat Beban : 660 kg.
 Ketinggian : 230±2 mm.

Tekanan Ban : 451 kPa.



Gambar 14. Regangan Maksimum pada Simulasi 13° Impact Test

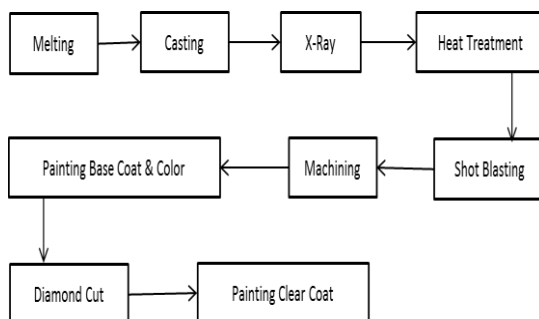
Dari gambar 14 didapatkan nilai regangan maksimum pada simulasi *drum test* terletak pada bagian *spoke top*. Detail hasil simulasi *drum test* ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Simulasi 13° impact test

Item	Area	Target (%)	Hasil (%)	Judge
13° Impact test m = 660 Kg h = 230 mm	Bolt hole	$\delta < 3$	0.7	OK
	Spoke top		2.0	
	Spoke bottom		1.9	
	Root		1.2	

Proses Pembuatan *Sample Part*

Proses pembuatan velg dilakukan dengan metode *casting* dan permukaan akhir dari velg di *polish* menggunakan *diamond cut* untuk mendapatkan tampilan mengkilat dari velg tersebut. Berikut *flow proses* pembuatan velg aluminium :



Gambar 15. Diagram Alir Pembuatan Velg *Diamond Cut*



Gambar 16. *Sample Part* Velg *Diamond Cut*

Verifikasi Simulasi *Sample Part*

Setelah *sample part* dinyatakan sesuai dengan permodelan, selanjutnya dilakukan pengujian untuk memverifikasi velg yang sudah dibuat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan *actual* dari velg tersebut dan juga sebagai acuan bahwa velg tersebut layak untuk diproduksi massal.

Life Test

Seperti yang sudah dilakukan pada simulasi numerik, selanjutnya *sample part* diuji *life test* sesuai dengan standard JWL. Velg akan diberikan beban berupa momen pada area nut, berikut standard parameter input yang harus diberikan pada velg :

Moment : 2857 N.m.
 Jumlah Pembebanan : 300.000 kali
 Tingting *Nut* : 103 N.m

Kriteria hasil pengujian ini adalah velg tidak boleh ditemukan adanya retak sedikitpun setelah dilakukan pengujian.



Gambar 17. *Actual Life Test*



Gambar 18. *Sample Part* Setelah *Life Test*

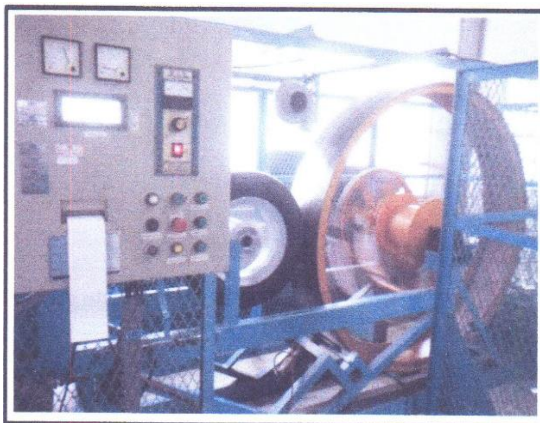
Setelah diberikan beban sebanyak 300.000 kali secara berturut-turut, hasilnya tidak ditemukan retak pada *sample part*, *sample part* dinyatakan OK.

Drum Test

Parameter *drum test* sama dengan yang sudah dilakukan waktu simulasi, sesuai dengan standard JWJ. Pada pengetesan ini velg mendapat tekanan dari area luar, berikut standard parameter input yang harus diberikan pada velg :

Load : 20594 N.
 Jumlah Pembebanan : 1.500.000 kali
Tingting Nut : 103 N.m
 Tekanan Ban : 451 kPa.

Kriteria hasil pengetesan ini adalah velg tidak boleh ditemukan adanya retak sedikitpun setelah dilakukan pengetesan.



Gambar 19. *Actual Drum Test*



Gambar 20. *Sample Part* setelah *Drum Test*

Setelah diberikan beban sebanyak 1.500.000 kali secara berturut-turut, hasilnya tidak ditemukan retak pada *sample part*, *sample part* dinyatakan OK.

13° Impact Test

Pada pengetesan ini posisi velg dimiringkan sebesar 13° untuk memperoleh kondisi paling ekstrim ketika velg mengalami sebuah benturan, berikut standard parameter input yang harus diberikan pada velg :

Berat Beban : 660 kg.
 Ketinggian : 230±2 mm.
 Tekanan Ban : 451 kPa.

Kriteria dari pengetesan tersebut adalah *sample* tidak boleh ditemukan adanya retak sedikitpun setelah dilakukan pengetesan. Pada pengetesan ini diambil 3 data dari masing-masing velg, hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil benturan dari beberapa sisi velg.



Gambar 21. *Actual 13° Impact Test*



Gambar 22. *Sample Part* ke 2 setelah 13° *Impact Test*

90° Impact Test

Pada pengetesan ini posisi velg vertikal untuk memperoleh kondisi normal ketika velg dipasang pada mobil.

Berat Beban : 1010 kg.
 Ketinggian : 11 inch.
 Tekanan Ban : 451 kPa.

Kriteria dari pengetesan tersebut adalah velg tidak boleh ditemukan adanya retak sedikitpun setelah dilakukan pengetesan.



Gambar 23. Actual 90° Impact Test



Gambar 23. Sample Part setelah 90° Impact Test

Nut Seat Over Tightening Test

Pada pengetesan ini mensimulasikan kondisi dimana ketika pengguna memasang nut pada velg namun melebihi dari standard. Standard pemasangan nut sendiri adalah 103 N.m, namun pada pengetesan ini nut dipasang hingga 186 N.m. Pada pengetesan ini kondisi velg tidak boleh terjadi retak.



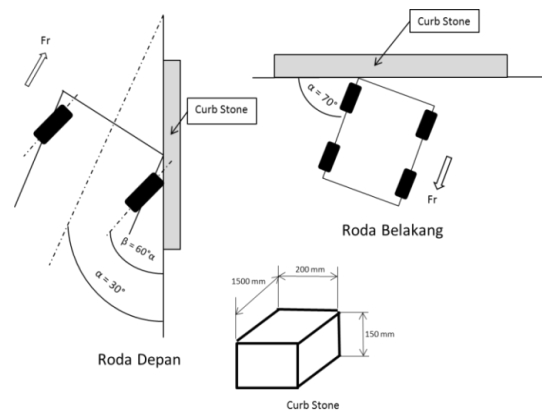
Gambar 24. Sample Part setelah Nut Seat Over Tightening Test

Running Test (Crash Test)

Setelah dilakukan pengetesan pada *sample part* dan sudah dinyatakan OK, langkah selanjutnya adalah melakukan *running test* untuk verifikasi terakhir sebelum velg tersebut dinyatakan layak untuk diproduksi.

Curb Stone Evaluation

Metode pengetesan untuk melakukan tes ini adalah velg dipasang pada mobil dan dilakukan tes tabrak, berikut detail metode dari pengetesan tersebut :

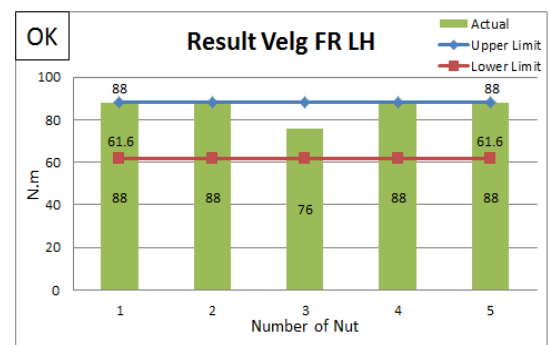


Gambar 25. Detail Metode Curb Stone Evaluation

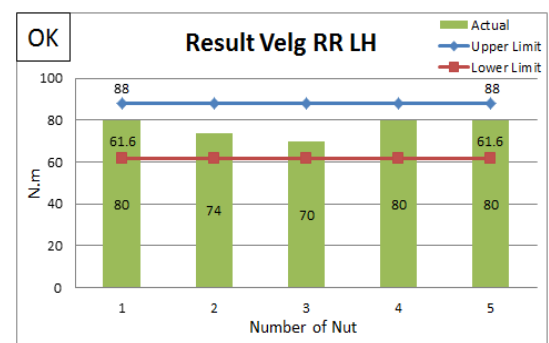
Parameter pengujian :

- Mobil dijalankan dengan kecepatan 10 ± 5 km/jam.
- Nut dipasang dengan toleransi paling bawah sebesar 88 N.m.
- Tekanan ban 230 kPa.
- Total benturan 20 kali masing-masing ban.

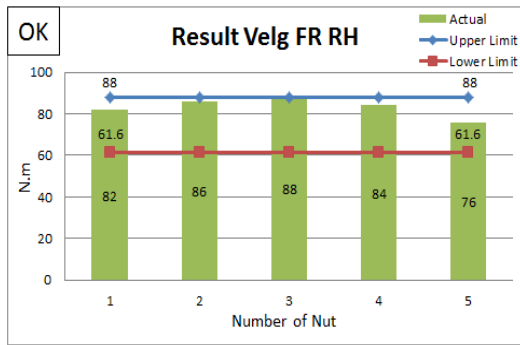
Hasil pengetesan *curb stone evaluation* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



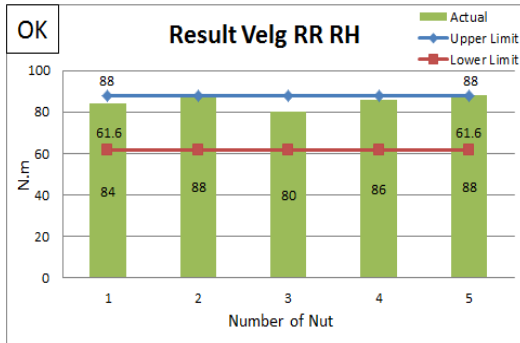
Gambar 26. Grafik Result Velg FR LH



Gambar 27. Grafik Result Velg RR LH



Gambar 28. Grafik Result Velg FR RH

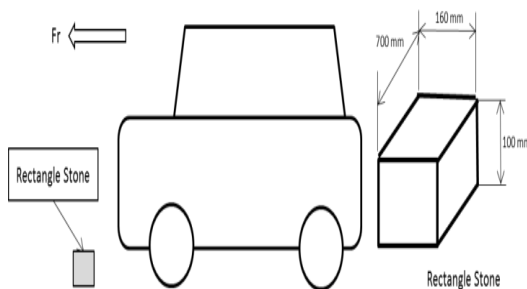


Gambar 29. Grafik Result Velg RR RH

Dari hasil pengetesan tersebut didapatkan bahwa ada penurunan *torque* pada beberapa nut, namun hasil tersebut masih masuk dalam standard. Terkait retak dan perubahan bentuk pada velg, tidak ditemukan hal tersebut pada masing-masing velg tersebut, sehingga velg tersebut dinyatakan OK.

Rectangle Evaluation

Metode pengetesan untuk melakukan test ini adalah velg dipasang pada mobil dan dilakukan tes tabrak, berikut detail metode dari pengetesan tersebut :



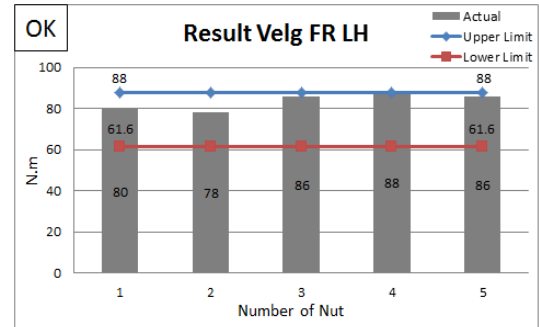
Gambar 30. Detail Metode Rectangle Evaluation

Parameter pengujian :

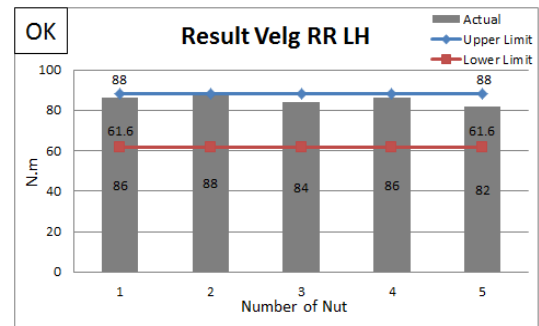
- Mobil dijalankan hingga kecepatan mencapai 40 km/jam.
- Tepat sebelum terjadinya tabrakan, transmisi dikembalikan ke kondisi netral.

- Nut dipasang dengan toleransi paling bawah sebesar 88 N.m.
- Tekanan ban 230 kPa.
- Total benturan 10 kali pada masing-masing ban.

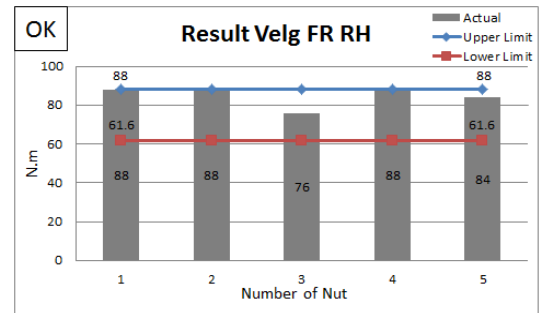
Hasil pengetesan *rectangle evaluation* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



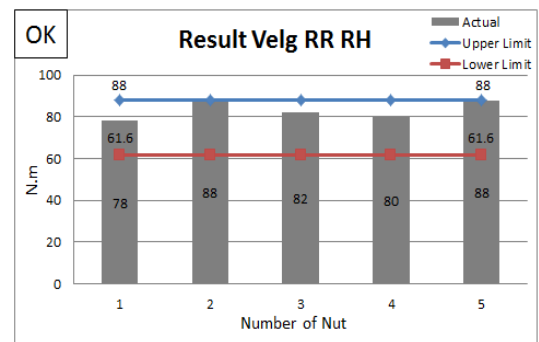
Gambar 31. Grafik Result Velg FR LH



Gambar 32. Grafik Result Velg RR LH



Gambar 33. Grafik Result Velg FR RH



Gambar 34. Grafik Result Velg RR RH

Seperti pada *Curb Stone Evaluation* dari hasil pengetesan tersebut didapatkan bahwa ada penurunan torque pada beberapa nut, namun

hasil tersebut masih masuk dalam standard. Terkait retak dan perubahan bentuk pada velg, tidak ditemukan hal tersebut pada masing-masing velg tersebut, sehingga velg tersebut dinyatakan OK.

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dari segi *design* untuk memperoleh distribusi tegangan yang terjadi pada velg aluminium dengan metode elemen hingga, antara lain :
 - a. Minimum radius velg yang diijinkan adalah 3 mm
 - b. Minimum *draft angle* untuk proses casting yang diijinkan adalah 7°
 - c. Minimum *draft angle* untuk proses diamond cut yang diijinkan adalah $45^\circ \pm 5^\circ$
2. Hasil dari pengetesan *sample part* menggunakan metode *life test*, *drum test*, 13° *impact test*, *curb stone evaluation*, dan *rectangle evaluation* tidak ditemukan adanya retak pada *sample part* sehingga pengujian dinyatakan "OK". Metode pengujian ini dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk membuat / mendesain velg mobil selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anggono, Wilyanto. 2011. Deciding the Optimum Spoke Number of Motor Cycle Cast Wheel. Seminar Nasional Simulasi Velg. IX (2). 1-5.
2. Pringgo. 2008. Arti Kode Velg. <http://www.jipku.com>. Diakses pada tanggal 29 April 2017
3. Daryanto. 2009. Reparasi Casis Mobil. Bina Adiaksara. Jakarta.
4. Sifat Fisik Aluminium. <http://id.wikipedia.org>. Diakses pada tanggal 2 July 2017.
5. Hatch, John E., 2010. Aluminium Properties and Physical Metallurgy. Ohio: American Society for Metals.
6. A.Schey, John. 2009. Proses Manufaktur. Edisi ketiga. Yogyakarta: Penerbit Andi.
7. Joseph, Edward Shingley, Mechanical Engineering Design. MC Graw Hill.
8. James W. Dally, William F. Rally, 2008. Experimental Stress Analisis, 3rd Edition.
9. S, Purwantini, Elly. 2012. Pemodelan Temperatur Ruang Menggunakan Regresi Non Linier Berdasarkan Hasil Estimasi FEM 3-D Linier. Journal Program Studi Teknik Elektronika, Departemen Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Negeri Surabaya.
10. Harri. 2009. Desain Dan Analisis Velg Mobil Berbasis Aluminium Alloy. Skripsi Universitas Sumatera Utara
11. JIS Handbook. 2009. Automobiles – Part and Component. Japanese Standart Association.
12. Surdia, Tata, Saito, S. 2010. Pengetahuan Bahan Teknik. Edisi kesembilan. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.