

ANALISIS STRUKTUR *VELG* PADA MODIFIKASI *AIRSIDE INSPECTION VEHICLE* MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANSYS
(Studi Kasus: Kendaraan Dioperasikan pada Jalan Inspeksi Bandar Udara Budiarto)

Oka Fatra, S.SiT, ST, MT⁽¹⁾, Ego Widoro, ST, S.SiT⁽²⁾, Tony Yudhyika Pradana Gultom⁽³⁾

Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia Curug-Tangerang

ABSTRAK

Airside Inspection Vehicle adalah kendaraan yang dirancang oleh taruna – taruni Teknik Mekanikal Bandara Angkatan 6 dari motor tassa tiga roda menjadi kendaraan roda empat. Terdapat beberapa komponen yang masih digunakan. Komponen pada kendaraan ini belum pernah dilakukan pengujian sebelumnya. *Velg* merupakan komponen kendaraan yang penting. Pengujian kekuatan material *velg* terhadap beban statis dihitung menggunakan teori kesetimbangan yang kemudian dibandingkan dengan bantuan *Software Ansys R17.0 Workbench*. Daerah yang diuji adalah *Flange* dan *Hub Diameter*. Diketahui berat kendaraan 500 kg, sehingga tegangan pada *flange* dengan hitungan teoritis sebesar 0,382 MPa dan hitungan *software* 0,0002 MPa sedangkan pada daerah *hub diameter* tegangan dengan hitungan teoritis sebesar 10,74 MPa dan hitungan *software* 18,671 MPa dengan tegangan ijin sebesar 110 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada *velg* dianggap aman.

Kata kunci: *Airside Inspection Vehicle, Flange, Hub Hole Diameter*

ABSTRACT

Airside Inspection Vehicle is a vehicle designed by cadets of Airport Mechanical Engineering 6 from the vehicle tassa three wheels become the four wheel. The component of vehicle has never been done tested. A strength testing of wheel material against static working load is calculated using static structural and force theory and then compared by using software R17.0 Ansys Workbench. The tested area are flange and hub diameter. The vehicle load of 500 kg, the stress that occurs at flange using theoretical is 0,382 MPa and count software is 0,0002 MPa while stress that happen at hub diameter area is 10,74 MPa and count software is 18,671 with allowable stress of 110 MPa. The Result showed that the stress occurs at the *velg* considered safe.

Keyword: *Airside Inspection Vehicle, Flange, Hub Hole Diameter*

PENDAHULUAN

Airside inspection vehicle adalah sebuah sarana mobilitas kegiatan inspeksi untuk menunjang operasional jasa kebandarudaraan. Kendaraan ini digunakan oleh uni – unit terkait dalam melaksanakan inspeksi terhadap kondisi di lapangan atau sekitar bandar udara. Kendaraan ini harus dirancang mampu menghadapi segala kondisi permukaan jalan di sekitar bandar udara.

Taruna – taruni program studi Diploma tiga Teknik Mekanikal Bandara angkatan enam pada semester tiga dan empat telah merancang sebuah *airside inspection vehicle*. Kendaraan ini merupakan hasil modifikasi dari kendaraan motor trossa tiga roda menjadi kendaraan inspeksi dengan empat roda. Pada awal perancangan, ada beberapa komponen kendaraan motor trossa yang masih digunakan pada *airside inspection vehicle* yaitu *engine*, poros, knalpot dan gardan. Untuk pemilihan komponen *airside inspection vehicle* lainnya diambil dari komponen kendaraan pada umumnya yang sesuai dengan perancangan.

Dalam merancang sebuah kendaraan, keselamatan dan keamanan merupakan aspek prioritas. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian untuk memastikan kelayakan kendaraan tersebut sehingga aspek keselamatan dan keamanan dapat terpenuhi.

Airside inspection vehicle yang dirancang merupakan kendaraan modifikasi dan belum pernah dilakukan pengujian terhadap komponen – komponennya dan salah satunya adalah *velg*. *Velg* merupakan komponen kendaraan yang mendapat beban cukup

besar, yaitu dari berat kendaraan itu sendiri dan gaya impak dari permukaan jalan. Dikarenakan *velg* merupakan komponen kendaraan yang penting maka karakteristik material yang digunakan harus mampu menahan beban – beban yang bekerja termasuk beban statis.

Untuk mendapatkan data tentang karakteristik material yang digunakan pada *velg*, pada umumnya akan dilakukan pengujian secara mekanik. Namun saat ini ada *website* yang menyediakan data karakteristik material – material yang sudah ada, jadi penulis hanya perlu melakukan pengujian komposisi kimia untuk mengetahui jenis material bahan *velg* tersebut kemudian mencari data di *website*. Data karakteristik material tersebut digunakan sebagai data pendukung dalam simulasi numeric pada perangkat *Ansys*. Untuk membuktikan bahwa *velg* tersebut dapat digunakan pada *airside inspection vehicle* maka penulis akan melakukan perhitungan dan analisa terhadap bagian – bagian *velg*.

Dikarenakan permasalahan di atas, maka penulis mengangkat tugas akhir berjudul “Analisis Struktur *Velg* pada Modifikasi *Airside Inspection Vehicle* Menggunakan Perangkat Lunak *Ansys* (Studi Kasus: Kendaraan Dioperasikan pada Jalan Inspeksi Bandar Udara Budiarto)”

LANDASAN TEORI

1. *Velg*

Velg atau rim adalah lingkaran luar desain logam yang tepi bagian dalam dari ban sudah terpasang pada kendaraan seperti mobil. Sebagai contoh pada roda sepeda di

tepi lingkaran yang besar menempel pada ujung luar dari jari – jari roda yang memegang ban dan tabung.

Diameter (efektif) adalah jarak antara bekel (untuk ban), yang diukur pada bidang *rimi* dan melalui sumbu pusat yang sedang akan dipasang atau yang merupakan bagian integral dengan tepi. Lebar (efektif) adalah pemisahan jarak antara tepi flensa. Tipe tergantung pada jenis kendaraan dan ban. Ada berbagai rim (*velg*) seta jumlah komponen rim.

2. Besi atau *Iron* (Fe)

Besi adalah logam yang paling banyak digunakan mencakup 92% dari produksi logam dunia. Biayanya yang rendah dan kekuatannya yang tinggi membuat sangat diperlukan dalam aplikasi teknik seperti pembangunan mesin dan peralatan mesin, mobil, lambung kapal – kapal besar dan komponen struktur bangunan. Karena besi murni cukup lunak hal ini paling sering dikombinasikan dengan unsure paduan untuk membuat baja.

a. Sifat – sifat Besi

1) Sifat Fisik Besi

Sifat fisik dari besi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1 Sifat fisik besi

Sifat fisika	
Fase	solid
Massa jenis (mendekati suhu kamar)	7.874 g·cm ⁻³
Massa jenis cairan pada t.l.	6.98 g·cm ⁻³
Titik lebur	1811 K, 1538 °C, 2800 °F
Titik didih	3134 K, 2862 °C, 5182 °F
Kalor peleburan	13.81 kJ·mol ⁻¹
Kalor penguapan	340 kJ·mol ⁻¹
Kapasitas kalor	25.10 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Tekanan uap	
P (Pa)	1 10 100 1 k 10 k 100 k
at T (K)	1728 1890 2091 2346 2679 3132

2) Sifat Mekanik Besi

Adapun sifat – sifat mekanik dari besi adalah sebagai berikut:

a Kekuatan Tarik Maksimum

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadi perpatahan.

b Titik Luluh dan Kekuatan Lulus

Merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban, tegangan yang mengakibatkan bahan mengalami mekanisme lulus ini disebut tegangan luluh

c Modulus Elastisitas

Merupakan ukuran kekakuan material, semakin besar harga modulus maka semakin kecil regangan yang terjadi pada pembebanan tertentu.

d Modulus Ketangguhan

Merupakan sifat material dalam menyerap energy hingga terjadi perpatahan.

3. Konsep Kesetimbangan

Suatu partikel dalam keadaan seimbang jika resultan semua gaya yang bekerja pada partikel tersebut nol. Jika pada suatu partikel diberi 2 gaya yang sama besar, mempunyai garis gaya yang sama dan arah berlawanan, maka resultan gaya tersebut adalah nol. Hal tersebut menunjukkan partikel dalam keseimbangan.

Sebuah benda tegar dikatakan dalam keadaan seimbang jika gaya – gaya yang bereaksi pada benda tersebut membentuk gaya/sistem gaya ekuivalen dengan nol. Sistem tidak mempunyai resultan gaya dan resultan kopel. Syarat perlu dan cukup untuk keseimbangan suatu benda tegar secara analitis adalah:

- (i) jumlah gaya arah x = 0 ($\sum F_x = 0$) (ii) jumlah gaya arah y = 0 ($\sum F_y = 0$) (iii) jumlah momen = 0 ($\sum M = 0$)

Dari persamaan tersebut dapat dikatakan bahwa benda tidak bergerak dalam arah translasi atau arah rotasi (diam). Jika ditinjau dari Hukum III Newton, maka keseimbangan terjadi jika gaya aksi mendapat reaksi yang besarnya sama dengan gaya aksi tetapi arahnya saling berlawanan.

a. Tumpuan

Tumpuan dibagi menjadi tiga jenis tumpuan yang biasa digunakan dalam suatu konstruksi yaitu tumpuan roll, tumpuan sendi dan tumpuan jepit.

b. Beban

Beban atau muatan merupakan aksi atau gaya atau beban yang mengenai struktur. Beban dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan cara kerja dari beban tersebut.

- 1) **Beban Terpusat**, beban yang mengenai struktur hanya pada satu titik tertentu secara terpusat.
- 2) **Beban Terdistribusi Merata**, beban yang mengenai struktur tidak terpusat tetapi terdistribusi baik terdistribusi merata ataupun tidak merata.

- 3) **Beban Momen**, beban dapat berupa adanya beban titik pada konstruksi menimbulkan momen atau momen yang memang diterima oleh konstruksi seperti momen puntir (torsi) pada poros dan transmisi.

4. Tegangan

Tegangan dapat didefinisikan sebagai tahanan dalam yang disediakan oleh satuan luas bahan kepada beban luar yang diberikan. Adapun macam – macam tegangan yaitu tegangan normal dan tegangan geser.

5. Ansys

Ansys merupakan perangkat lunak komputer umum yang mampu menyelesaikan persoalan – persoalan elemen hingga dari permodelan hingga analisis. *Ansys* dapat mengimpor data CAD tetapi juga membuat geometri dengan kemampuan “*preprocessing*”. Ini digunakan untuk mendefinisikan beban dan melakukan analisis, hasil dapat dilihat sebagai numeric dan grafis.

6. Cara Kerja Ansys

Ansys bekerja dengan sistem metode elemen hingga dimana penyelesaian pada objek dilakukan dengan pendeskritisasian dengan membagi atau memecah objek satu kesatuan ke dalam jumlah terbatas elemen hingga yaitu menjadi bagian – bagian lebih kecil yang dihubungkan oleh node. Proses tersebut adalah *meshing*. Ada beberapa *meshing* yaitu:

a *Assembly Meshing*

Assembly meshing mengacu pada *meshing* seluruh model sebagai *single*

mesh process, sebagai pembandingan untuk bagian atau *body based meshing*. Dimana *meshing* terjadi pada *part* atau bagian tubuh model masing-masing.

b *Meshing by Algorithm*

Pada bagian ini menjelaskan tipe *meshing* dalam ketentuan pada “*patch conforming*” dan “*patch independent*” *meshing* algoritma. Pada beberapa kasus algoritma bekerja pada bagian level dan lainnya, pada *assembly level*.

c *Meshing by Element*

Bagian ini mendeskripsikan tipe dari *meshing* dalam hal bentuk elemen. Pilihan pengaturan *mesh* yang berlaku untuk setiap bentuk elemen yang dipertunjukkan dan dioperasikan pada level bagian kecuali kalau ada catatan.

8. Kriteria Von Mises

Von Mises menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invariant kedua *deviator* tegangan J_2 melampaui harga kritis tertentu. Dengan kata lain luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk.

METODOLOGI PEMODELAN

Untuk mendapatkan ukuran *velg* yang sesuai aslinya, maka terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap bagian – bagian *velg* kemudian diproyeksikan kembali menggunakan bantuan *software AutoCAD*. Diameter *velg* yang digunakan sebesar 330,2 mm dan lebarnya sebesar 127 mm.

Untuk menyelesaikan penelitian ini, maka dibuat kriteria sehingga didapatkan hasil yang diinginkan. Adapun kriteria diambil dari bagian *velg* yang termasuk daerah kritis yaitu *flange* dan *hub diameter* dimana bagian ini tidak boleh terdeformasi apabila terjadi tegangan pada *velg*.

PENYAJIAN MODEL DAN IMPLEMENTASI

Dalam proses penelitian atau pemodelan ada beberapa tahapan yang penulis lakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, adapun tahapan – tahapan tersebut adalah:

1. Beban Statis

Untuk menghitung beban statis yang bekerja pada masing – masing roda atau *velg* dapat dihitung menggunakan konsep kesetimbangan dimana berat kendaraan 500 kg sehingga dengan rumus

$$F_{\text{momen}} = 0 ; 2FA + 2FB - 500(9,8) = 0$$

sehingga didapat bahwa beban yang bekerja pada masing – masing *velg* sebesar 1229,0099 N.

2. Flange

Dalam menghitung tegangan yang terjadi pada daerah ini perlu diketahui terlebih dahulu permukaan *flange* dengan menggunakan rumus,

$$A_{\text{flange}} = (\pi d) \times 3$$

Sehingga didapat 3202,8 mm², dengan demikian dapat dihitung tegangan yang terjadi sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Sehingga tegangan yang terjadi adalah 0,3824 MPa.

3. Hub Hole Diameter

Hub hole diameter merupakan lubang tengah *velg* yang berfungsi sebagai penopang *velg* ke *mounting* mobil. Tegangan yang terjadi pada daerah ini dipengaruhi oleh gaya yang bekerja di *bolt hole* dimana baut yang digunakan berukuran 12 mm, sehingga dapat dihitung tegangan yang terjadi sebesar

$$\tau = \frac{F_{\text{baut}}}{A_{\text{baut}}}$$

$$= \frac{306,25}{84,26}$$

$$= 3,6345 \text{ N/mm}^2 = 3,6345 \text{ MPa}$$

Dimana dilakukan perhitungan terlebih dahulu pada luas permukaan dan tegangan pada masing – masing baut dikarenakan ada 4 baut yang digunakan dalam penyambungan *velg*. Untuk menghitung tegangan maksimum yang terjadi menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\tau_{\text{max}} = \sqrt{\tau^2 + \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{3,6345^2 + \left(\frac{20,22}{2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{13,209 + 102,21}$$

$$= \sqrt{115,419}$$

$$= 10,74 \text{ N/mm}^2 = 10,74 \text{ MPa}$$

Uji Coba Teoritis Model

Untuk melakukan pembuktian pada teori yang telah dilakukan maka penulis menggunakan *software Ansys*. Adapun langkah – langkahnya sebagai berikut:

1. Tampilan Awal *Ansys 17.0 Workbench*

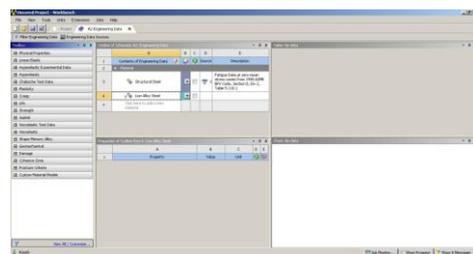
Software ini mampu melakukan analisa pembebanan aksial, analisa temperature, deformasi, defleksi, tegangan pada *truss* dan sebagainya.



Gambar 1 Tampilan Awal *Software Ansys 17.0 Workbench*

2. Definisi Sistem Analisa

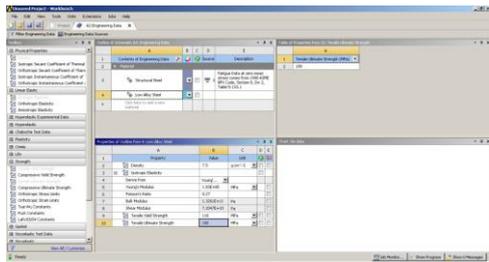
Untuk mendefinisikan sistem analisa, maka langkah - langkahnya sebagai berikut: pilih menu *Toolbox > Static Structural*. Dan selanjutnya pilih *Engineering Data >* masukan nama material *Velg* yaitu *Low Alloy Steel* pada kolom “*Click here for a new material*”.



Gambar 2 Tampilan *Engineering Data*

3. Mendefinisikan Material Properties

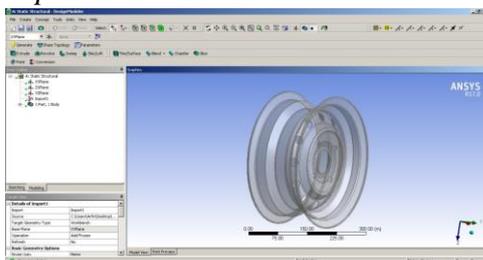
Langkah selanjutnya adalah menentukan sifat properties material *velg* yang telah didapat. Langkah – langkah mendefinisikan material adalah sebagai berikut klik *Physical Properties > Density*, klik *Linear Elastic > Isotropic Elasticity*, klik *Strength > Tensile Yield Strength & Ultimate Tensile Strength*. Kemudian masukan nilai dari massa jenis, modulus elastisitas, *passion ratio*, *Tensile Yield Strength* dan *Ultimate Tensile Strength*.



Gambar 3 Tampilan *Material Properties*

4. Tampilan Gambar *Velg*

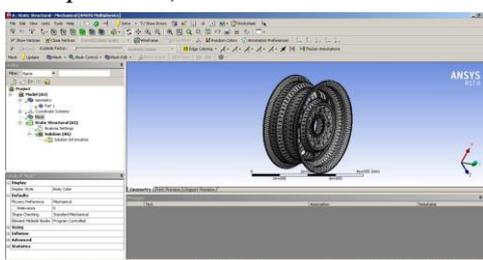
Untuk dapat melakukan simulasi, maka *velg* terlebih dahulu digambar dengan menggunakan *Software AutoCAD*. Kemudian file di *export* ke bentuk SAT. Langkah untuk *import* gambar dari *AutoCAD* adalah pilih *Geometry, File > Import External Geometry File > pilih gambar yang disimpan dalam bentuk SAT > Open > Generate*.



Gambar 4 Tampilan Gambar *Velg*

5. Proses *Meshing*

Langkah *meshing* adalah sebagai berikut pilih *Model > Geometry Part 1 > Material > Assignment > ganti > Structural Steel* menjadi *Low Alloy Steel*. Lakukan *refinement* pada bagian *velg* yang berbentuk membulat untuk mendapatkan hasil proses *meshing* yang lebih teliti. (Tipe *meshing* yang digunakan adalah *meshing patch independent*)

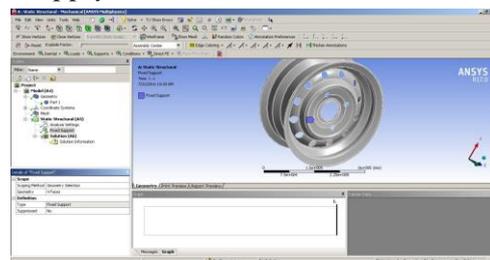


Gambar 5 Tampilan Hasil Proses *Meshing*

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan merubah besaran *element size* pada proses *meshing* sebesar 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm dan 25 mm. Proses ini dilakukan untuk melihat apakah besaran *element size* pada proses *meshing* berpengaruh pada hasil tegangan yang terjadi.

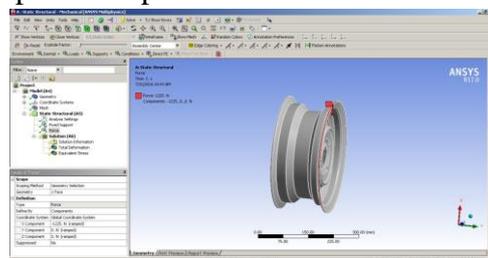
6. Proses *Static Structural*

Pada langkah ini yang dilakukan adalah klik kanan pada *Static Structural > Insert > Fixed Support* kemudian pilih permukaan tumpuan yaitu pada empat lubang baut *> Apply*.



Gambar 6 Tampilan *Velg* Hasil *Fixed Support*

Selanjutnya pilih kembali *Static Structural > Insert > Force > Vertex* (pembebanan titik) *> pilih bagian Flange > Apply*. Masukkan besar nilai beban dengan cari pilih *Definition > Define by > ubah Vector menjadi Component > masukkan nilai beban pada komponen tersebut*.



Gambar 7 Tampilan Setelah *Pembebanan*

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa *velg* mendapat pembebanan

sebesar 1225,0099 N dimana nilai beban tersebut di dapat dari perhitungan secara manual yang telah dilakukan.

7. Proses Solution

Pada proses ini kita akan menentukan besarnya tegangan yang terjadi. Langkahnya adalah klik kanan pada *Solution* > *Insert* > *Stress* > *Equivalent Stress(von mises)*. Langkah ini dapat dilihat pada gambar 4.13. Pemilihan *equivalent stress (von mises)* dikarenakan tegangan ini dapat mewakili ataupun memprediksi tingkat keluluhan suatu material terhadap kondisi pembebanan yang terjadi pada hasil pengujian.

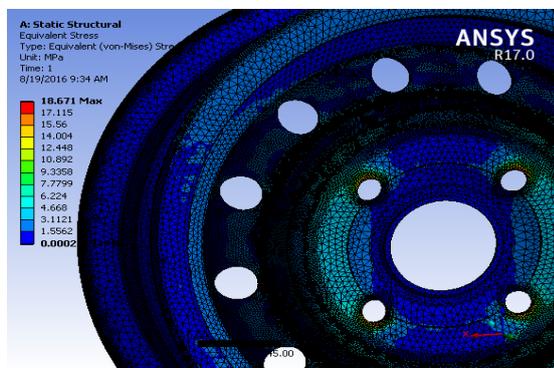


Gambar 8 Tampilan *Velg* Hasil *Solution*

Interprestasi Hasil Uji Coba

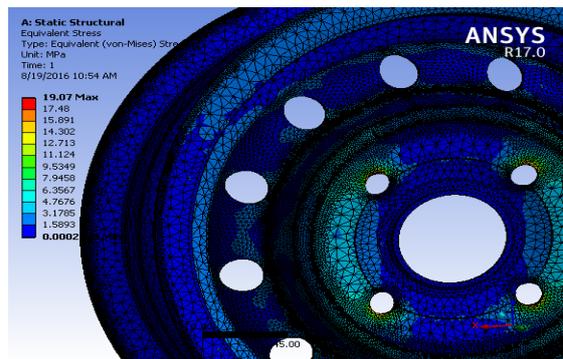
Hasil analisa menggunakan *Software Ansys* didapat 5 hasil dikarenakan dilakukan pengujian pada besaran *element size* pada proses *meshing*.

Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* sebesar 5 mm



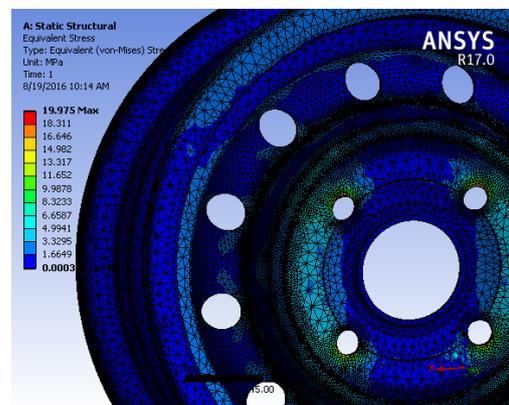
Gambar 9 Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* 5 mm

Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* sebesar 10 mm



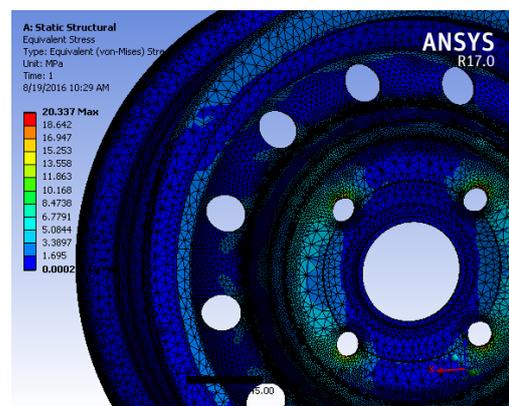
Gambar 10 Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* 10 mm

Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* sebesar 15 mm



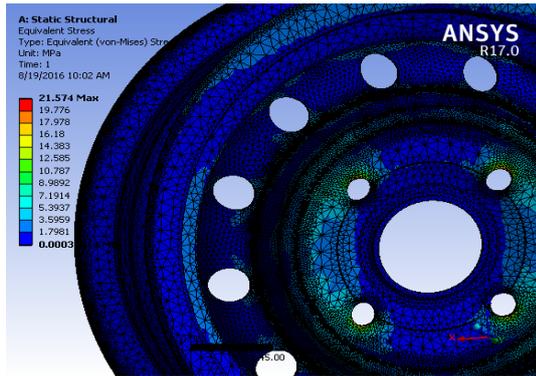
Gambar 11 Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* 15 mm

Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* sebesar 20 mm



Gambar 12 Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* 20 mm

Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* sebesar 25 mm



Gambar 13 Hasil *Equivalent (von-mises) stress* dengan *element size* 25 mm Setelah dilakukan perhitungan menggunakan teoritis dan simulasi menggunakan *software Ansys* maka didapatkan hasil dalam tabel berikut:

Hasil Perbandingan Hitungan Teoritis dan *Software* Beban Statis

NO.	KRITERIA MODEL	HASIL HITUNG TEORITIS	UJI COBA <i>SOFTWARE</i> (<i>Element Size</i> 5 mm)	TEGANGAN IJIN	KETERANGAN
1.	<i>Flange</i>	0,382 MPa	0,0002 MPa	110 MPa	Tegangan yang terjadi pada <i>flange</i> dengan beban yang ada masih di bawah tegangan yang diijinkan dari material bahan <i>velg</i> .
2	<i>Hub Diameter</i>	$\tau = 3,6345$ MPa $\tau_{max} = 10,74$ MPa	$\tau = 3,1121$ MPa $\tau_{max} = 18,671$ MPa	110 MPa	Tegangan geser yang terjadi pada daerah <i>Bolt Hole</i> masih di bawah tegangan yang diijinkan

Tabel 2 Hasil Perbandingan Teoritis dan *Software*

Pada hasil perbandingan dapat dilihat bahwa nilai dari tegangan yang dianalisa memiliki nilai teoritis yang lebih kecil daripada nilai pada pemodelan. Banyak faktor yang mendasari perbedaan nilai yang di dapat seperti tabel 2 di atas. Umumnya pada proses *meshing* dan toleransi dari perhitungan. Selain itu *properties* dari *material* juga mempengaruhi dari perhitungan pada pemodelan.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan yang terjadi pada daerah *flange* dengan beban sebesar

1225,0099 N dengan luas penampang *flange* sebesar 3202,8 mm² dengan perhitungan secara teoritis adalah 0,3824 MPa sedangkan tegangan yang terjadi menggunakan *software* sebesar 0,0002 MPa. Sehingga dapat dikatakan bahwa *flange* aman karena tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diijinkan material *velg* yaitu sebesar 110 MPa.

2. Tegangan geser yang terjadi pada daerah *bolt hole* dengan beban sebesar 1225,0099 N dengan luas penampang 84,26 mm² menggunakan perhitungan secara teoritis adalah 3,6345 MPa dan tegangan geser maksimum sebesar 10,74 MPa. Sedangkan perhitungan menggunakan *software* sebesar 3,1121 Mpa dan tegangan geser maksimum sebesar 18,671 MPa. Sehingga daerah *Hub diameter* aman karena tidak melebihi tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 110 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Irawan, Agustinus P. (2009). “Diktat Elemen Mesin” Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanegara.
- Irawan, Agustinus P. (2007). “Diktat Kuliah Mekanika Teknik (Statika Struktur)” Jurusan Teknik Mesin Fakultas Mesin Universitas Tarumanegara.
- Khurmi, R.S. J.K. Gupta. *A Textbook of Machine Design*. S.I. Units. Eurasia Publishing House (Pvt) Ltd. New Delhi. 2005.
- Khurmi, R.S. *Strenght Of Materials*. S. Chand & Company Ltd. New Delhi. 2001

Sularso. (2000) *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita

Surdia, Tata & Saito, Shinroku. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya Paramitha