



**ANALISIS DESAIN DAN OPTIMASI BRAKET
STEERING COLUMN BUS LISTRIK MD255 XE2
PT. MAB MENGGUNAKAN *SOFTWARE INVENTOR***

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Mujahidin

NIM. 5212414005

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Mujahidin
Nim : 5212414005
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Desain dan Optimalisasi Braket *Steering Column* Bus
Listrik MD255 XE2 PT. MAB Menggunakan *Software Inventor*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 13 September 2019

Dosen Pembimbing



Rusiyanto, S.Pd., M.T..
NIP. 197403211999031002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Analisis Desain dan Optimalisasi Braket *Steering Column* Bus Listrik MD255 XE2 PT. MAB Menggunakan *Software Inventor*" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 21 bulan 9 tahun 2019


Oleh


Nama : Mujahidin
NIM : 5212414005
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua

Sekretaris



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002



Samsudin Anis S.T., M.T. Ph.D.
NIP. 197601012003121002


Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing


Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, ST, MT.IPP.
NIP.197509272006041002


Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP.196601051990021002


Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 199691130199403100

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 13 September 2019

Yang membuat pernyataan



Mujahidin

NIM. 5212414005

SARI ATAU RINGKASAN

Mujahidin 2019. *Analisis Desain dan Optimalisasi Braket Steering Column Bus Listrik MD255 XE2 PT. MAB Menggunakan Software Inventor*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing (1) Rusiyanto, S.Pd., M.T.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk menguji analisis dan pendesainan ulang braket *steering column* menggunakan *Software Inventor* 2019 dengan cara memodifikasi sudut potong, radius, tebal dimensi, dan bentuk konstruksi, yang ditentukan pada hasil uji analisis.

Hasil uji analisis *bracket* aktual selanjutnya digunakan acuan dasar untuk mendesain ulang sebagai upaya pengoptimalisasian. Pada penelitian ini parameter yang digunakan sebagai pembanding hasil yaitu *Von-Mises stress*, *Displacement*, *Safety factor*, dan *Weight of bracket* atau berat fisik braket.

Hasil penelitian uji analisis menunjukkan hasil: berat 6,20 Kg; *von misses stress* 82,34 MPa; *displacement* 1,3 mm; dan *safety factor* 2,51. setelah didapat hasil dari analisis desain aktual kemudian dibuat desain optimasi sebanyak 3 desain sebagai perbandingan, setelah dilakukan analisis pada desain optimasi didapatkan hasil yang paling optimal, yaitu desain ke-1 dengan hasil: berat 5,079 Kg; *von misses stress* 42,71 MPa; *displacement* 0,4475 mm; dan *safety factor* 4,85.

Kata kunci: braket *steering column*, optimasi, *stress analysis*, *inventor*

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

- Selalu mencari jalannya syukur dalam keadaan apapun.
- Jangan terus mencari uang, karena bila terus di cari akan semakin kurang.
- Melihatlah ke atas untuk urusan akhiratmu dan melihatlah ke bawah untuk urusan duniamu, insyaallah hidup akan damai tentram.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Keluarga dan saudara yang senantiasa memberikan doa
2. Teman-teman TM 2014
3. Teman seperjuangan Proyek MAB
4. Almamater yang ku kenakan
5. Sahabat dan teman-teman yang selalu menyemangati

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul “Analisis Desain dan Optimalisasi Braket *Steering Column* Bus Listrik MD255 XE2 PT. MAB Menggunakan *Software Inventor*”. Skripsi/TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, sekaligus Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan

sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo ST, MT. IPP., selaku Dosen Dosen Penguji yang memberikan evaluasi serta masukan sehingga menambah bobot dari skripsi ini.
6. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T. dan Dr. M. Burhan Rubai W., M.Pd., selaku Dosen Penguji yang memberikan evaluasi serta masukan sehingga menambah bobot dari skripsi ini
7. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin yang senantiasa memberikan penulis semangat dan motivasi.
8. Teman-teman magang di PT MAB yang saling memberikan dukungan
9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berusaha memperbaiki penulisan skripsi ini yang masih terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan penulisan selanjutnya.

Semarang, 13 September 2019



Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SARI ATAU RINGKASAN	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan.....	4
1.6 Manfaat.....	5
BAB II.....	6
KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6

2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Braket <i>Steering Column</i>	7
2.2.2 Teori Elastisitas	8
2.2.3 Jenis - Jenis Tegangan	10
2.2.4 Teori Kegagalan Struktur	15
2.2.5 Faktor – Faktor Rancangan.....	19
2.2.6 Material.....	21
2.2.7 Metode Elemen Hingga	22
2.2.8 <i>Inventor</i>	23
BAB III	25
METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	25
3.1.1 Waktu Penelitian.....	26
3.1.2 Tempat Penelitian	26
3.1.3 Desain Penelitian	26
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.1.1 Alat Penelitian	28
3.1.2 Bahan Penelitian	29
3.2 Parameter Penelitian.....	29

3.2.1 Variabel Bebas	29
3.2.2 Variabel Terikat	30
3.2.3 Variabel Kontrol	30
3.3 Teknik Pengumpulan Data	30
3.3.1 Persiapan Awal	31
3.3.2 Pembuatan Model 3D	31
3.3.3 Persiapan Analisis.....	32
3.3.4 Analisis dan Optimasi.....	33
3.4 Teknik Analisis Data	34
BAB IV	36
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Hasil Penelitian.....	36
4.1.1 Pengukuran Dimensi.....	36
4.1.2 Spesifikasi Material	38
4.1.3 Pemodelan Desain Braket.....	39
4.1.4 Pembebanan Gaya	39
4.2 Hasil Pengujian Analisis.....	40
4.2.1 Pra Pengujian Braket	40
4.2.2 Hasil Uji Desain Braket Aktual	41
4.2.3 Desain optimasi Model 3D	43

4.2.4 Hasil Uji Desain Braket Optimasi 1	47
4.2.5 Hasil Uji Desain Braket Optimasi 2	49
4.2.6 Hasil Uji Desain Braket Optimasi 3	51
4.2.7 Perbandingan Hasil Pengujian Braket	53
4.3 Pembahasan	53
4.3.1 Konstruksi Desain	54
4.3.2 Tinjauan <i>Von-Mises stresses</i>	54
4.3.3 Tinjauan <i>Displacement</i>	54
4.3.4 Tinjauan <i>Safety Factor</i>	55
4.3.5 Tinjauan Massa (<i>Weight</i>)	55
BAB V.....	56
PENUTUP.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	56
Daftar Pustaka	58
LAMPIRAN	60
Lampiran 1. Brosur Spesifikasi Bus Listrik	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Braket <i>Steering Column</i>	1
Gambar 2.1 Tegangan normal.....	11
Gambar 2.2 Tegangan tarik.....	12
Gambar 2.3 Tegangan tekan	12
Gambar 2.4 Tegangan geser pada balok berpenampang empat persegi panjang..	13
Gambar 2. 5 Tegangan lentur pada spesimen	14
Gambar 2. 6 Tegangan lentur pada spesimen	14
Gambar 2. 7 Representasi teori tegangan normal maksimum.....	17
Gambar 2. 8 Representasi teori tegangan geser maksimum	18
Gambar 2. 9 Representasi teori tegangan distorsi energi.....	19
Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian	27
Gambar 3. 2 studi dan pengukuran braket <i>steering column</i>	31
Gambar 3. 3 pembuatan model 3D	32
Gambar 3. 4 pemberian beban statis	33
Gambar 3. 5 <i>Meshing</i> model	33
Gambar 4. 1 <i>Isometric</i> Braket <i>Steering Column</i>	36
Gambar 4. 2 Pengukuran Dimensi Tampak Depan.....	37
Gambar 4. 3 Pengukuran Dimensi Tampak Atas.....	37
Gambar 4. 4 Pengukuran Dimesi Tampak Samping.....	38
Gambar 4. 5 Desain Optimasi braket <i>Steering Column</i>	39
Gambar 4. 6 Posisi Pemberian Beban pada Braket.....	40

Gambar 4. 7 <i>Meshing</i> Braket <i>Steering Column</i>	41
Gambar 4. 8 <i>Von Mises Stress</i> Desain Aktual	41
Gambar 4. 9 <i>Displacement</i> Desain Aktual Gambar	42
Gambar 4. 10 <i>safety factor</i> desain aktual	42
Gambar 4. 11 <i>Weight</i> desain aktual	43
Gambar 4. 12 Desain Optimasi 1	44
Gambar 4. 13 Desain Optimasi 2	45
Gambar 4. 14 Desain Optimasi 3	46
Gambar 4. 15 <i>Von Mises Stress</i> desain Optimasi 1	47
Gambar 4. 16 <i>Displacement</i> Desain Optimasi 1	47
Gambar 4. 17 <i>Safety Factor</i> Desain Optimasi 1	48
Gambar 4. 18 <i>Weight</i> Desain Optimasi 1	48
Gambar 4. 19 <i>Von Mises Stress</i> Desain Optimasi 2	49
Gambar 4. 20 <i>Displacement</i> Desain Optimasi 2	49
Gambar 4. 21 <i>Safety factor</i> Desain Optimasi 2	50
Gambar 4. 22 <i>Weight</i> Desain Optimasi 2	50
Gambar 4. 23 <i>Von Mises Stress</i> Desain Optimasi 3	51
Gambar 4. 24 <i>Displacement</i> Desain Optimasi 3	51
Gambar 4. 25 <i>Safety factor</i> Desain Optimasi 3	52
Gambar 4. 26 <i>Weight</i> Desain Optimasi 3	52

DAFTAR TABEL

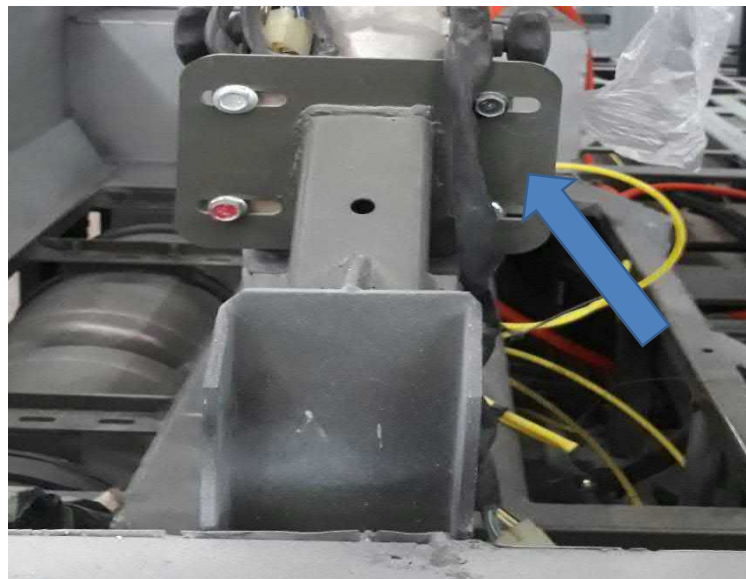
Tabel 2. 1 Modus Kegagalan Komponen.....	15
Tabel 2. 2 Data properti material SPHC	21
Tabel 3. 1 Perbandingan Hasil Analisis	34
Tabel 4. 1 Spesifikasi material SPHC	38
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Pengujian	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Braket *mounting* adalah komponen yang digunakan untuk mendukung elemen struktural dalam sebuah kendaraan. Pada umumnya braket dipasang pada elemen struktural kendaraan, yaitu *chassis* dengan cara dilas atau disambungkan menggunakan komponen pengikat seperti mur, baut dan sebagainya. Braket memiliki peran yang sangat penting salah satunya mampu menahan beban atau gaya statis. Berikut adalah gambar dari braket *steering column*



Gambar 1. Braket *Steering Column*

Mekanisme kemudi adalah salah satu aspek penting dari setiap kendaraan. Braket menjadi salah satu aspek yang penting dalam sebuah aspek kemudi karena berkaitan langsung dengan komponen-komponen utama seperti *steering column*, *gear box* dan lain sebagainya.

Steering column atau batang kemudi merupakan tempat poros utama. *Steering column* terdiri dari main shaft yang meneruskan putaran roda kemudi ke *steering gear*, dan *column tube* yang mengikat *main shaft* ke *body*. Ujung atas dari main shaft dibuat meruncing dan bergerigi, dan roda kemudi diikatkan ditempat tersebut dengan sebuah mur.

Guna mendapatkan struktur braket *steering column* yang kuat dan tahan terhadap gaya statis yang terjadi dilapangan nantinya, maka muncul sebuah studi eksperimental mengenai optimalisasi braket khususnya braket *steering column*. Eksperimen dilakukan dengan cara simulasi *Finite Element Method* (FEM) atau metode elemen hingga menggunakan *software Inventor*.

Analisis elemen hingga dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan defleksi dan tegangan yang dapat ditahan oleh konstruksi *braket* dan kekuatan dari bahan yang digunakan, sehingga akan didapatkan konstruksi braket yang kuat dalam menahan berat dari *steering column*. Material yang digunakan untuk membuat braket adalah SPHC (*Steel Plate Hot Rolled Coiled*). Perancangan dilakukan untuk mendapatkan braket yang aman untuk digunakan dan sesuai dengan kebutuhan kerja pada industri bus listrik. Acuan analisis desain *braket* ini menggunakan standar ASME (*American Society of Mechanical Engineering*), sedangkan untuk membantu proses penyelesaian desain, simulasi dan analisis menggunakan bantuan *software Inventor*. FEA atau analisis elemen hingga dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan defleksi dan tegangan yang dapat ditahan oleh konstruksi *bracket* dan kekuatan dari bahan yang digunakan sebelum desain difinalisasi, sehingga akan didapatkan konstruksi *bracket* yang kuat dalam

menahan berat dan torsi motor listrik. Pengoptimalan desain braket yang sesuai, diharapkan dapat membantu meningkatkan kualitas dan produksi bus listrik pada industri (Dhillon *et. al*, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari desain paling optimal dari braket *steering column* yang diharapkan dapat menjadi rujukan dan pengetahuan dalam bidang pendidikan maupun bidang industri dalam membuat atau mempelajari desain braket, secara khusus braket *steering column*.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi ialah :

1. Optimasi braket bisa menjadi alternatif untuk pengembangan desain yang berdampak pada kualitas dan biaya produksi.
2. Kurang optimalnya desain braket terhadap industri otomotif bus listrik berakibat pada tingginya nilai *displacement* bahkan dapat menimbulkan tegangan berlebih dan mengakibatkan kerusakan.
3. Pengabaian perancangan desain aktual dalam pemasangan braket beresiko menimbulkan perpatahan dan fatik maupun keselamatan terhadap penumpang.

1.3 Batasan Masalah.

Karena luasnya permasalahan pada analisis desain, maka dibatasi pada :

1. Optimasi desain bukan dalam bentuk alat jadi, melainkan berupa desain 3D.
2. Data spesifikasi diperoleh dari studi lapangan serta jurnal dan artikel.
3. Analisis pembebanan diasumsikan sebesar 1000 N

4. Struktur komponen yang dianalisis adalah ketahanan braket *steering column* terhadap gaya statis.
5. Pemodelan 3D dan analisis yang dilakukan berupa analisis statis dengan bantuan *software inventor*.
6. Material yang digunakan berdasarkan acuan standart ASME
7. Tidak menghitung biaya produksi.
8. Desain optimasi dibuat dalam 3 desain sebagai perbandingan dan mencari yang paling optimal.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menganalisis desain braket aktual sebagai upaya mengoptimalisasi desain yang sebelumnya?
2. Bagaimana membuat desain braket yang aman digunakan di industri bus listrik.
3. Bagaimana mendapatkan konstruksi dari braket yang sesuai untuk industri bus listrik?

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk :

1. Mendapatkan analisis desain rancangan braket untuk bus listrik MD255 XE2 PT. MAB serta optimalisasinya.
2. Mendapatkan desain braket yang aman digunakan untuk industri bus listrik.

3. Mendapatkan desain konstruksi braket *steering column* yang paling optimal untuk bus listrik PT. MAB.

1.6 Manfaat

1. Mengetahui tentang desain braket yang sesuai standart braket untuk pemasangan *steering column*.
2. Desain braket dapat digunakan untuk referensi para mekanik industri bus listrik sebagai acuan dasar pembuatan braket *steering column*.
3. Mampu memberikan informasi mengenai manfaat braket.
4. Desain turut menyumbang ilmu pengetahuan khususnya dibidang otomotif.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Jurik *et. al* (2001) melakukan penelitian mengenai braket *steering column*, pentingnya kekuatan dari sebuah braket *steering column* dapat menentukan seberapa besar pengemudi selamat ketika terjadi kecelakaan, desain yang baik dan efisien dapat mengurangi terjadinya stress pada suatu material atau komponen, dalam hal ini braket *steering column*.

Chang-seong *et. al* (2003) membuat desain braket *steering column* dan berhasil meningkatkan kualitas dari desain *steering column* yaitu meningkatnya vertikal mode (Hz) dari 30,87 menjadi 32,00, lateral mode (Hz) dari 34,83 menjadi 36,17 serta mengurangi berat dari braket *steering column* sebesar 400 gram. Pentingnya pengoptimalisasian struktur karena berhubungan dengan biaya dan juga kekuatannya.

Hornacek *et. al* (2004) dalam artikelnya tentang desain *steering column* pada mobil balap, karena pentingnya sebuah *steering column* pada mobil balap, pengoptimalan desain akan sangat berpengaruh pada kekuatan struktur, dibutuhkan struktur yang dinamis untuk keselamatan pembalap. Ia juga mengurangi aksesoris guna mengurangi berat dari *steering column*.

Sontakke *et. al* (2014) optimalisasi dengan cara memodifikasi permukaan *bracket* dengan cara mengurangi luas penampang dapat mempengaruhi hasil uji

yang lebih baik, yaitu dapat mengurangi berat hingga 12,5% lebih ringan dari berat awal sehingga bisa menghemat material bahan dan biaya produksi.

Palde *et. al* (2016) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik statis dan dinamis seperti *torsional stiffness* dan frekuensi alami dari sebuah *chassis* mobil. Analisis akan dilakukan menggunakan pendekatan metode elemen hingga dan eksperimen. Berdasarkan salah satu model *chassis* yang di modifikasi untuk tujuan analisis statis struktural, analisis modal dan analisis eksperimental. *Chassis* yang telah dibuat menggunakan *software PRO-E*. Analisis menggunakan *software ANSYS* dan *RADIOSS*. Hasil dari analisis tersebut dapat diamati bahwa *chassis* yang telah di modifikasi memiliki peningkatan *torsional stiffness* dan frekuensi alami.

Melalui tahap analisis desain rancangan diketahui desain aman digunakan pada *steering column* terkait karena memiliki safety faktor ≥ 1 .

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Braket *Steering Column*

Braket merupakan komponen sub *frame* yaitu komponen struktural kendaraan yang mempunyai fungsi tersendiri yang nantinya disambungkan ke rangka utama *chassis*. Sub *frame* braket biasanya digunakan untuk menopang mesin, suspensi, motor listrik, ataupun komponen lainnya. Penyambungan sub *frame* braket dengan rangka *chassis* pada umumnya dilakukan dengan cara dilas atau disambungkan dengan komponen pengikat seperti mur, baut, dan sebagainya.

2.2.2 Teori Elastisitas

Elastisitas adalah sifat suatu benda untuk kembali ke bentuk awal setelah mendapatkan gaya dan mengalami perubahan bentuk. Sebuah benda yang kembali sepenuhnya kepada bentuk semula dinamakan elastis sempurna, apabila tidak sepenuhnya kembali kepada bentuk semula di namakan elastis sebagian (Souisa, 2011).

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas, modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan. Besaran-besaran yang berhubungan dengan sifat elastisitas benda antara lain sebagai berikut :

A. Tegangan

Tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satuan luas benda (Arif, 2014). Rumus tegangan dapat dituliskan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.1 \text{ (Arif, 2014).}$$

σ = Tegangan normal (N/m²)

P = Besar gaya yang bekerja (N)

A = Luas penampang (m²)

Dalam menentukan bahan untuk perancangan suatu struktur atau komponen, maka hal yang paling utama yang harus ditentukan adalah tegangan yang mampu diberikan pada struktur tersebut.

Tegangan yang harus ditentukan pada bahan sebelum proses perancangan adalah :

1. Tegangan batas didefinisikan sebagai tegangan satuan terbesar suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan.

2. Tegangan ijin yaitu bagian kekuatan batas yang bisa aman digunakan pada analisis perancangan.

Secara umum tegangan dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap permukaan yang mengalami tegangan. Tegangan ini dapat berupa tegangan tarik maupun tekan.
2. Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan yang mengalami tegangan.

B. Regangan

Regangan ialah deformasi per satuan panjang. Karena merupakan rasio antara dua panjang, maka regangan ini merupakan besaran tak berdimensi, artinya regangan tidak mempunyai satuan. Rumus regangan dapat ditulis :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots 2.2 \text{ (Arif, 2014)}$$

Dimana : ε = Regangan normal

δ = Perubahan panjang (mm)

L = Panjang awal (mm)

C. Hukum Hooke's

Hukum Hooke's atau hubungan linier antara tegangan dan regangan, yaitu kesebandingan tegangan satuan terhadap regangan satuan. Rumus matematis dapat ditulis :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots 2.3 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan

D. Defleksi

Sumbu material konstruksi akan berdefleksi atau melentur dari kedudukannya semula apabila berada di bawah pengaruh gaya. Defleksi tersebut adalah lendutan material konstruksi dari posisi awal tanpa pembebanan, diukur dari permukaan netral awal ke permukaan netral setelah material konstruksi mengalami deformasi meskipun nilainya kecil (Fauzi, 2013).

Ketika material konstruksi diberi beban, semua titik dari kurva elastis kecuali yang menopang batang tersebut terjadi defleksi dari posisi aslinya. Jari-jari kelenkungan kurva elastis di bagian manapun dinyatakan sebagai:

$$\rho = \frac{EI}{M} \dots\dots\dots 2.4 \text{ (Fauzi, 2013)}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas Material (N/m^2)

I = Tegangan (N/m^2)

M = Momen lentur (N/m)

2.2.3 Jenis - Jenis Tegangan

Tegangan pada umumnya terbagi menjadi dua kelompok yaitu :

1. Tegangan Normal

Tegangan yang arah kerjanya dalam arah tegak lurus permukaan

terpotong batang. Tegangan normal dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

A. Gaya Normal

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Jika gaya dalam diukur dalam N, sedangkan luas penampang dalam m^2 , maka satuan tegangan adalah N/m^2 .

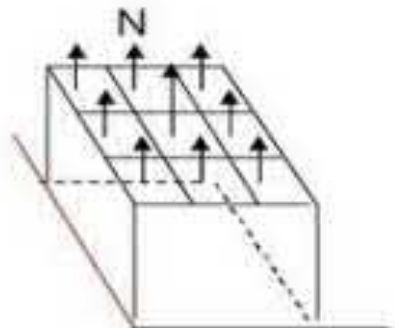
$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} = (N/m^2) \dots \dots \dots 2.5 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana:

σ_n = tegangan normal (N/m^2)

F_n = gaya normal (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2.1 Tegangan normal

(Sumber: Kurniawan, 2014)

B. Beban Tarik dan Tekan

Apabila batang ditarik oleh gaya F seperti pada Gambar 2.2 maka tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik. Tegangan tarik dapat ditulis dengan persamaan :

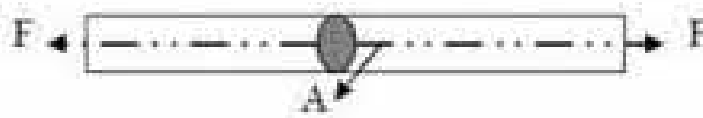
$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = (N/m^2) \dots\dots\dots 2.6 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana:

σ_t = tegangan normal (N/m^2)

F_t = gaya normal (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2.2 Tegangan Tarik

(Sumber: Kurniawan, 2014)

Sedangkan tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Tegangan tekan dapat ditulis:

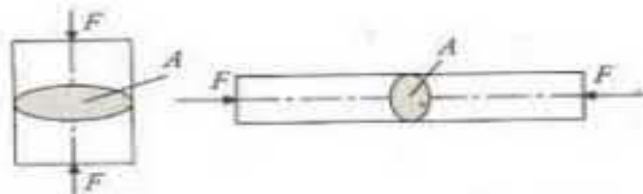
$$\sigma_D = \frac{F_t}{A} = (N/m^2) \dots\dots\dots 2.7 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana:

σ_D = tegangan tekan (N/m^2)

F_t = gaya tekan (N)

A = luas penampang (m^2)



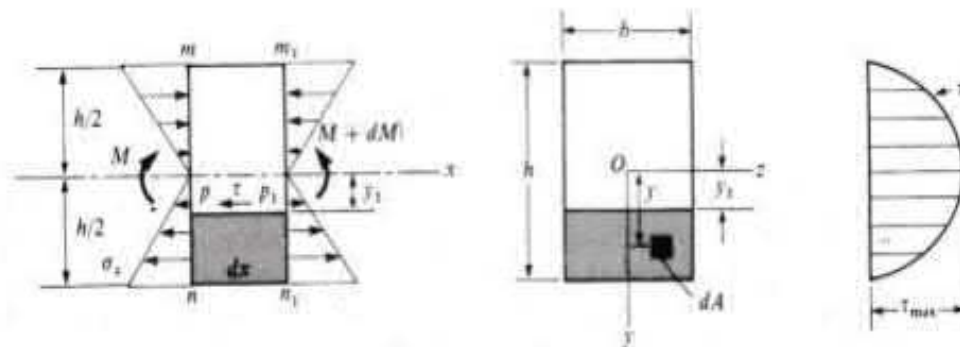
Gambar 2.3 Tegangan tekan

(Sumber: Kurniawan, 2014)

2. Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, sejajar sumbu batang. Tegangan geser dapat disebabkan karena adanya beberapa pembebanan (Kurniawan, 2014) seperti :

a. Gaya Geser



Gambar 2.4 Tegangan geser pada balok berpenampang empat persegi panjang
(Sumber: Kurniawan, 2014)

Untuk menentukan tegangan geser τ pada sebarang titik dalam penampang dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \dots \dots \dots 2.8 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana:

τ = tegangan geser (N/m²)

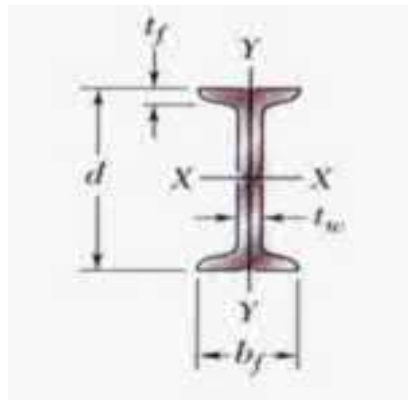
V = gaya geser (N)

Q = momen (m³)

I = momen inersia (m⁴)

b = lebar penampang (m)

b. Momen Lentur



Gambar 2. 5 Tegangan lentur pada spesimen

(Sumber: Kurniawan, 2014)

Gaya geser dan momen lentur tersebut menyebabkan tegangan geser dan tegangan lentur. Besaran tegangan akibat lenturan pada balok dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = M \cdot y / I \dots\dots\dots 2.9 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana:

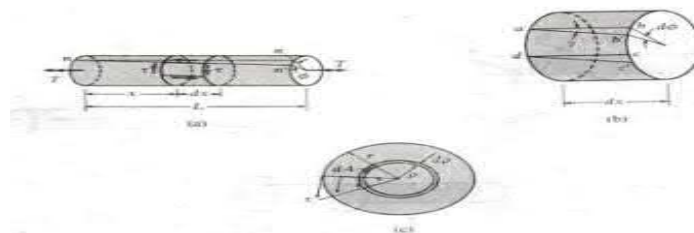
σ = tegangan lentur (N/m²)

M = momen lentur (N.m)

Y = jarak terjauh dari sumbu (m)

I = momen inersia (m⁴)

c. Beban Puntir/Torsi



Gambar 2. 6 Tegangan lentur pada *specimen*

(Sumber: Kurniawan, 2014)

Torsi yang bekerja pada poros akan menghasilkan tegangan geser. Untuk mendapatkan tegangan puntir dapat menggunakan persamaan berikut :

$$t = \frac{Tr}{J} \dots\dots\dots 2.10 \text{ (Kurniawan, 2014)}$$

Dimana:

t = tegangan puntir

T = momen puntir/torsi

r = jari - jari (m)

J = momen inersia (m⁴)

2.2.4 Teori Kegagalan Struktur

Analisa kegagalan adalah suatu kegiatan yang bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan. Secara keseluruhan jenis kegagalan pada material dapat terbentuk seperti *fatigue*, *wear* (keausan), korosi, *fracture*, *impact* dan lainnya. Dan kegagalan dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu beban statik dan beban mekanis, sehingga sering timbulnya tegangan akibat beban yang melebihi *yield strength*. Pada dasarnya kegagalan dapat terjadi dikarenakan besaran akibat kondisi operasi \geq sifat kritis material.

Tabel 2. 1 Modus Kegagalan Komponen (Kurniawan, 2014)

Besaran Akibat Kondisi Operasi	Sifat Kritis Material	Peristiwa Yang Akan Terjadi
Tegangan kerja σ_w	Kekuatan luluh σ_y	Deformasi plastis
Tegangan kerja σ_w	Kekuatan tarik σ_u	Patah static
Tegangan amplitude σ_a	Batas lelah (<i>fatigue limit</i>) σ_f	Patah lelah

Besaran Akibat Kondisi Operasi	Sifat Kritis Material	Peristiwa Yang Akan Terjadi
Intensitas tegangan $K = \beta \cdot \sigma \sqrt{(\pi a)}$	Fracture <i>toughness</i> K_c atau K_{Ic}	Komponen yang retak lelah akan patah
Tegangan kerja σ_w	Batas mulur (<i>Creep limit</i>)	Deformasi plastis akibat <i>creep</i> (pada temp. tinggi)
Tegangan kerja σ_w	Rupture strength	Patah akibat creep (pada temp. tinggi)
Temperatur lingkungan terlalu rendah	Temperatur transisi material	Patah getas/Penggetasan (<i>Embrittlement</i>)
Lingkungan terlalu korosif	Batas korosivitas	Serangan korosi
Tegangan kerja σ_w	Kekuatan thd korosi tegangan σ_{sc}	Retak akibat korosi tegangan

Kegagalan struktur pada umumnya teori kegagalan terbagi menjadi tiga yaitu :

a. Kegagalan statik / *static failure*

Kegagalan statik adalah kegagalan yang disebabkan adanya beban dari luar secara statik seperti adanya pengaruh tekanan, beban, momen dan statik lainnya.

b. Kegagalan fatigue / *fatigue failure*

Kegagalan fatigue adalah kegagalan yang terjadi karena dipengaruhi oleh waktu dan juga akibat adanya pembebanan secara dinamik yang menyebabkan suatu struktur menjadi lelah.

c. Kegagalan retak / *fracture failure*

Kegagalan yang terjadi dikarenakan pengaruh lingkungan.

Pada kegagalan secara statik dapat terbagi menjadi tiga teori, yaitu :

A. Teori tegangan normal maksimum

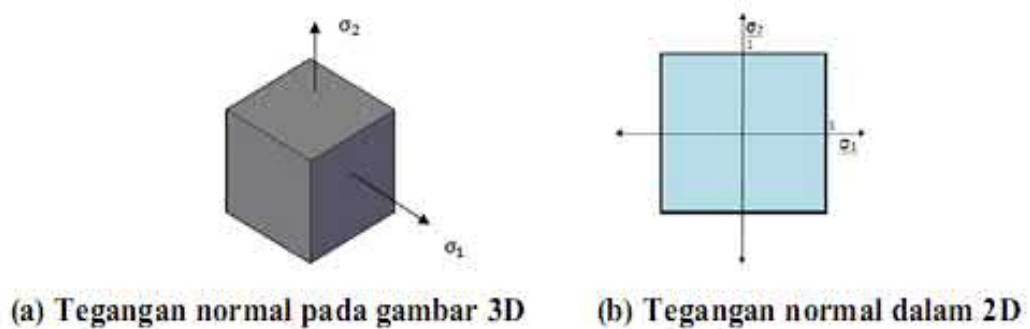
Kegagalan akan terjadi apabila tegangan utama maksimum sama atau lebih besar dibandingkan tegangan normal maksimum. Untuk tegangan normal positif, keadaan suatu material dikatakan luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan $\sigma_{max} \geq \sigma_{yp}$ (Kurniawan, 2014).

Secara umum teori tegangan normal maksimum adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$F_s = \frac{\sigma_{yp}}{\tau_{max}} \dots\dots\dots 2.11(\text{Kurniawan, 2014}).$$

Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan normal maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan normal maksimum :



Gambar 2. 7 Representasi teori tegangan normal maksimum

(Sumber: Kurniawan, 2014)

B. Teori tegangan geser maksimum

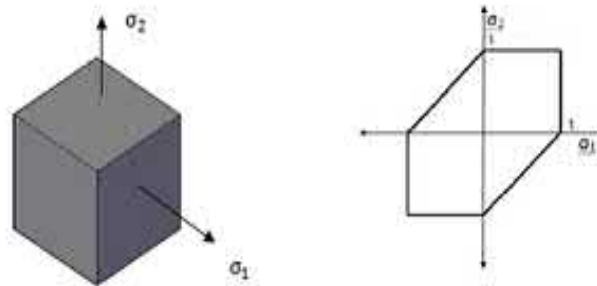
Teori tegangan geser maksimum sering digunakan pada material yang bersifat ulet. Besarnya nilai tegangan geser maksimum adalah setengah dari nilai tegangan normal maksimum. Keadaan suatu material luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan σ_{max} . $\sigma_{max} \geq 0.5 \sigma_{yp}$ (Kurniawan, 2014).

Secara umum teori tegangan geser maksimum adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$F_s = \frac{0.5 \times \sigma_{yp}}{\tau_{max}} \dots\dots\dots 2.12 \text{ (Kurniawan, 2014).}$$

Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan geser maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan geser maksimum :



(a) Tegangan normal pada gambar 3D (b) Tegangan normal dalam 2D

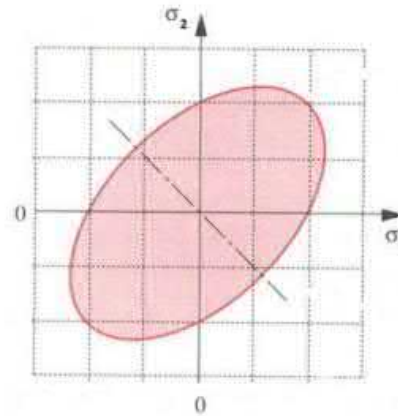
Gambar 2. 8 Representasi teori tegangan geser maksimum

(Sumber: Kurniawan, 2014)

C. Distorsi energi

Aplikasi dari teori tegangan geser maksimum sering digunakan untuk kasus pada material ulet. Keadaan suatu material akan luluh jika adanya suatu pembebanan dengan $S. S \geq \sigma_{yp}$ (Kurniawan, 2014).

Berikut grafik tegangan distorsi energi dalam 2D:



Gambar 2. 9 Representasi teori tegangan distorsi energi

(Sumber: Kurniawan, 2014)

2.2.5 Faktor – Faktor Rancangan

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses analisis rancangan dapat disebut dengan N , merupakan ukuran keamanan relatif komponen pembawa beban. Dalam kebanyakan kasus, kekuatan bahan komponen dibagi menurut faktor rancangan untuk menentukan tegangan regangan, kadang disebut tegangan yang diizinkan.

Perancang harus menentukan berapa nilai faktor rancangan yang wajar untuk situasi tertentu. Sering kali nilai faktor rancangan atau tegangan rancangan ditetapkan dalam aturan-aturan yang dibuat oleh organisasi yang menetapkan standar, seperti *American Society of Mechanical Engineers*, *American Gear Manufacturers Association*, *U.S. Department of Defense*. Adapun beberapa perusahaan-perusahaan yang menerapkan kebijakan mereka sendiri dalam menentukan faktor-faktor rancangan berdasarkan pengalaman masa lalu dengan kondisi yang sama.

Untuk bahan ulet, faktor rancangan harus memiliki kriteria nilai sebagai berikut :

1. $N = 1,25$ hingga $2,00$. Perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2. $N = 2,00$ hingga $2,50$. Perancangan elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
3. $N = 2,50$ hingga $4,00$. Perancangan pada struktur statis atau pada elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan atau lingkungan.
4. $N = 4,00$ atau lebih. Perancangan pada struktur statis atau pada elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan atau lingkungan. Keinginan untuk memberikan keamanan ekstra untuk komponen yang kritis dapat juga memilih nilai-nilai ini.

Sedangkan untuk bahan getas, faktor rancangan harus memiliki kriteria sebagai berikut ini :

1. $N = 3,00$ hingga $4,00$. Perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2. $N = 4,00$ hingga $8,00$. Pada perancangan struktur statis atau pada elemen-elemen mesin yang akan menerima pembebanan secara dinamis dengan

ketidakpastian mengenai beban, sifat pada bahan, analisis tegangan atau lingkungan.

2.2.6 Material

Pemilihan material menjadi salah satu hal yang penting untuk sebuah rancangan. Pemilihan material yang tepat juga akan berimbas pada kualitas konstruksi yang baik pula. Dalam produksi komponen pada industri manufaktur tentunya sangat di perhatikan komposisi, kualitas dan efisiensi materialnya. Maka untuk membuat komponen braket pada produksi harus memperhatikan standar material *grade manufacturing* yaitu tidak boleh menggunakan bahan yang mudah korosi dan kuat, namun juga memiliki nilai kelenturan tertentu dan harus memiliki ketahanan terhadap karat dan korosi. Bahan baja tahan karat dipertimbangkan sebagai pilihan untuk membuat braket dikarenakan memiliki spesifikasi yang sesuai. Material yang digunakan pada braket aktual bertipe SPHC dengan spesifikasi yang disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Data properti material SPHC (Rohman, 2018)

No.	Sifat Material	Nilai	Satuan
1	<i>Yield Stress</i>	207	N/mm ²
2	<i>Tensile Stress</i>	270	N/mm ²
3	<i>Poisson's Ratio</i>	0.3	
4	<i>Density</i>	7850	N/mm ²
5	<i>Modulus Elasticity</i>	2x10 ⁵	N/mm ²

Keamanan desain bisa didasarkan pada kekuatan dari material atau struktural. keamanan desain atau konstruksi dievaluasi menggunakan faktor keamanan. Menurut Arif (2014) faktor keamanan dapat dituliskan dengan rumus :

$$SF = \frac{F_u}{F_i} \dots\dots\dots 2.13$$

SF = Faktor Keamanan

F_u = Tegangan Sebenarnya (MPa)

F_i = Tegangan Dibutuhkan (MPa)

Apabila faktor keamanan kecil, maka akan memungkinkan terjadinya kegagalan. Sebaliknya jika faktor keamanan sangat besar, maka material yang digunakan akan sangat boros.

2.2.7 Metode Elemen Hingga

Metode ini juga disebut *Finite Element Method* (FEM). Suatu metode numerik yang dipakai untuk menyelesaikan permasalahan secara teknik dan fisika matematis. Jenis permasalahan tersebut seperti, analisis struktur, perpindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa dan elektromagnetik. Metode ini digunakan dengan cara menganalisa sebuah benda kerja yang dibagi dalam bagian kecil (*meshing*). Hal tersebut untuk membuat sebuah rekaan terhadap seluruh bagian struktur (Hutton, 2004).

Analisis metode elemen hingga menggunakan bantuan software menjadi lebih akurat dan efisien. Perkembangan dalam analisis metode elemen hingga sangat bagus sehingga dapat memudahkan dalam proses analisis.

2.2.8 Inventor

Autodesk *Inventor* adalah salah satu produk dari *Autodesk Corporation*. *Inventor* dirancang khusus untuk keperluan bidang teknik seperti desain produk, desain mesin, desain konstruksi dan keperluan teknik lainnya. Kelebihan *Inventor* dari *software* lain yaitu desain serta tampilan yang lebih menarik dan fasilitas material yang disediakan. Salah satu *software* yang mumpuni dalam menganalisa berbagai persoalan rekayasa diantaranya analisa struktural material, *thermal* dan aliran. *Inventor* mampu menyatu dengan aplikasi *CAD (Computer Aided Design)*, sehingga dalam pembuatan model desain kita bisa menggunakan aplikasi *CAD* antara lain *AutoCAD* atau *Solidwork*. Hasil analisis berupa pendekatan analisis numerik dan ketelitiannya bergantung pada cara memecah model (Asroni, 2015). Beberapa kelebihan *Autodesk Inventor* diantaranya:

1. Memiliki kemampuan parametrik *solid modeling*, yaitu kemampuan untuk melakukan desain serta pengeditan dalam bentuk solid model dengan data yang telah tersimpan dalam *database*. Dengan kemampuan tersebut *designer* dapat memodifikasi desain yang ada tanpa harus mendesain ulang.
2. Memiliki kemampuan *animation*, yaitu kemampuan untuk menganimasikan suatu file *assembly* mengenai jalannya suatu alat yang telah di *assembly* dan dapat disimpan dalam file avi.
3. Memiliki kemampuan *automatic create* gambar 2D serta *bill of material* dan tampilan *shading* serta *rendering* pada layar kerja.
4. Di lengkapi dengan perhitungan analisa tegangan (*stress analysis*).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari ketiga desain optimasi, desain optimasi 1 lah yang menunjukkan hasil lebih baik dibanding dengan desain optimasi 2 dan 3 dengan hasil berat braket 5,079 Kg, *von misses stress* 42,71 MPa, *displacement* 0,4475 mm, dan *safety factor* 4,85.
2. Desain yang paling optimal dapat dijadikan acuan bagi industri bus listrik ataupun konvensional untuk pembuatan braket *steering column*.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai pembelajaran bagi kalangan akademisi maupun industri, dalam hal ini bidang otomotif.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut;

1. Melakukan pengecekan terhadap *assembly* yang dibuat untuk memastikan tidak terdapat *part* yang tumpang tindih, karena dapat mempengaruhi hasil analisis,
2. Memperhatikan *notification* disetiap proses supaya tidak terjadi *error* atau kegagalan saat proses analisa struktur menggunakan Inventor 2019,

3. Untuk memudahkan menganalisa struktur menggunakan *software* Inventor 2019 sebaiknya menguasai teori analisa struktur, *finite element analysis* dan ilmu material,
4. Pada perkuliahan praktikum CAD, mahasiswa perlu diberi pengetahuan tentang *finite element analysis* menggunakan *software* analisis sejenis lainnya. Hal ini cukup penting untuk perancangan sebuah alat atau komponen, dan
5. Gunakan *software* Inventor 2019 atau *software* FEM sejenis yang berlisensi resmi.

Daftar Pustaka

- Arif, Z. 2014. *Mekanika Kekuatan Material*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Samudra Langsa.
- Asroni. 2015. *Stress Analysis pada Stand Shock Absorbers Sepeda Motor dengan Menggunakan Software Inventor 2015*. Turbo 4 (1):23-27.
- Chang –seong ko, Dong-ho yoo, Kyung-whan Park.2003. *Design of Steering Column Mounting Bracket for Vibration*. Hyundai Mobis JSAE 20037020.
- Dhillon, J. S. 2014. *Design of Engine Mount Bracket for a FSAE Car Using Finite Element Analysis*. *International Journal of Engineering Research and Application*, 74-81.
- Fauzi, H. 2013. *Analisis Tegangan pada Frame Mobil Listrik Sinosi menggunakan Metode Elemen Hingga* . Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember
- G. Takeshi Sato, N. S. 1986. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Hutton, D. V. 2004. *Fundamentals of Finite Element Analysis*. 1st ed. New York: McGraw-Hill.
- Jurik, M., Rodney E., K. E. Hofmeister., S. D. Laney., D. S. Miller. 2001. “*Steering Column Mounting Bracket with Pull Loops*. Patent No: US 6,170,873 BI.
- Kurniawan, A. 2014. *Analisa Kekuatan Struktur Crane HOOK dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga untuk pembebanan 20 Ton*. Bengkulu. Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- Hornacek, L. 2004. *Design and Optimalization of Racing Steering Column*.
Technical University of Ostrava.

- Palde, N. V., Nashik, Prof. V.L. Kadlag. 2016. "*Design improvement and analysis of car chassis for Static and Dynamic Characteristics*". *International Engineering Research Journal (IERJ)* Page No 238-244.
- Sontakke, Monali Deshmukh, K. R. 2014. *Analysis and Optimization of Engine Mounting Bracket* . *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)* , 2347-3878.
- Rohman, F. *Chassis Design Improvement Steering Bracket*. Jakarta: PT. Mobil Anak Bangsa
- Souisa, M. 2011. Analisa Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik. *Jurnal Barekeng*, Vol. 5, 9-14.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta