



**PENGARUH VARIASI MATERIAL DAN BEBAN
TERHADAP TEGANGAN DAN FAKTOR
KEAMANAN PADA DESAIN *PENCAKAR
INNER PULLER BEARING* BERBASIS
SIMULASI MENGGUNAKAN
*SOLIDWORKS***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Saiful Mubarok

NIM.5201414007

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



**PENGARUH VARIASI MATERIAL DAN BEBAN
TERHADAP TEGANGAN DAN FAKTOR
EAMANAN PADA DESAIN *PENCAKAR
INNER PULLER BEARING* BERBASIS
SIMULASI MENGGUNAKAN
*SOLIDWORKS***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Saiful Mubarok

NIM.5201414007

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PENGESAHAN

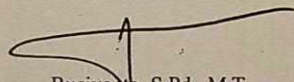
Skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Material dan Beban Terhadap Tegangan dan Faktor Keamanan pada Desain Pencakar Inner Puller Bearing Berbasis Simulasi Menggunakan *SolidWorks*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 7 bulan Agustus tahun 2019.

Oleh

Nama : Saiful Mubarak
NIM : 5201414007
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

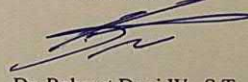
Panitia

Ketua



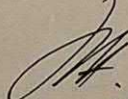
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 19740321 1999031002

Sekretaris



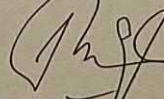
Dr. Rahmat Doni W., S.T., M.T.
NIP.197509272006041002

Penguji 1



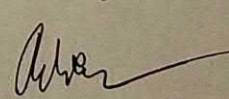
Drs. Sunyoto, M.Si
NIP.196511051991021001

Penguji 2



Drs. Masugino, M. Pd
NIP. 195207211980121001

Pembimbing



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

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik



Dj. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Saiful Mubarok

NIM : 5201414007

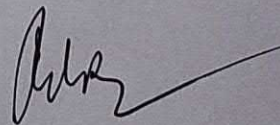
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Judul : Pengaruh Variasi Material dan Beban Terhadap Tegangan dan Faktor Keamanan pada Desain *Pencakar Inner Puller Bearing* Berbasis Simulasi Menggunakan *SolidWorks*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Agustus 2019

Pembimbing



Dr. Wirawan Sumbodo M.T.
NIP. 196601051990021002

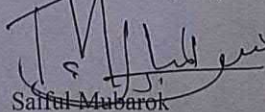
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan:

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. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam skripsi 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, September 2019

Yang membuat pernyataan,



Saiful Mubarak
NIM. 5201414007

ABSTRAK

Mubarok, Saiful, 2019 Pengaruh Variasi Material dan Besar Pembebanan terhadap Nilai Tegangan pada Desain Pencakar *Inner Puller Bearing* Berbasis Simulasi dengan Menggunakan *SolidWorks*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Wirawan Sumbodo M.T.

Kata Kunci: *Inner Puller Bearing, SolidWorks, Tegangan*

Inner puller bearing merupakan alat yang berkembang dibidang otomotif yang digunakan untuk melepas *bearing*. Informasi tentang *inner puller bearing* masih terbatas sehingga dibutuhkan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi material dan beban terhadap nilai tegangan dan faktor keamanan desain pencakar *inner puller bearing* dengan simulasi yang dilakukan pada *SolidWorks*.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yang disimulasikan dengan *SolidWorks* yang mampu menganalisis desain dengan variasi tertentu.

Hasil analisis menunjukkan variasi material tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap tegangan sedangkan besar beban berpengaruh terhadap tegangan semakin tinggi beban yang diberikan nilai tegangan semakin besar dalam hal ini terjadi pada pembebanan 50 N. Variasi material berpengaruh terhadap faktor keamanan dimana material AISI 4340 *Normalized* memiliki nilai faktor keamanan terbesar sedangkan besar beban berpengaruh secara tidak langsung terhadap faktor keamanan, semakin kecil beban maka tegangan yang terjadi semakin kecil dan memiliki faktor keamanan paling besar.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- ❖ *Man Jadda Wa Jadda*
- ❖ *Lebih baik terlambat daripada tidak*
- ❖ *Skripsi yang baik adalah skripsi yang selesai*
- ❖ *Manusia boleh membuat rencana, namun rencana-Nyalah yang terbaik untuk kita*

PERSEMBAHAN

1. Ibu, Ayah, dan seluruh keluarga
2. Bapak Wirawan Sumbodo, selaku pembimbing dan segenap Dosen yang telah memberikan pengajaran
3. Sahabat PTM Rombel 1, yang selalu memotivasi
4. Sahabat Al Asror, yang selalu memberikan inspirasi
5. Kampus Unnes Tercinta
6. Semua pihak terkait yang telah membantu.

PRAKATA

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT berkat hidayah-Nya penyusun dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Material dan Besar Pembebanan Terhadap Nilai Tegangan pada Desain Pencakar Inner Puller Bearing Berbasis Simulasi dengan Menggunakan Solidworks”**.

Skripsi ini disusun dalam rangka memperoleh gelar sarjana program studi strata 1 Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Penyusun menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, Skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Dengan kerendahan hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rohman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Bapak Rusiyanto S.Pd., M.T. Kaprodi Pendidikan Teknik Mesin dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semaang
4. Drs. Wirawan S., M.T., Dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyusunan skripsi
5. Drs. Sunyoto, M.Si., Dosen penguji I yang telah memberi saran dan masukan.
6. Drs. Masugino, M.Pd., Dosen penguji II yang telah memberi saran dan masukan.

7. Keluarga besar mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin 2014 yang selalu memberikan motivasi.
8. Bapak, Ibu dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.
9. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian skripsi ini dari awal hingga akhir yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Berkat bantuan merekalah, skripsi ini telah diusahakan yang terbaik, akan tetapi apabila masih terdapat kesalahan dan kekurangan itu merupakan keterbatasan dalam penulisan skripsi ini. Harapan penulis, Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR BERLOGO	ii
JUDUL DALAM	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN	v
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
ABSTRAK	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan	5
1.6 Manfaat	6

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1 Kajian Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	15
2.3 Kerangka Berfikir	40
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	41
3.2 Desain Penelitian	41
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	45
3.4 Variabel Penelitian	49
3.5 Teknik Pengumpulan Data	50
3.6 Teknik Analisis Data	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
1.1 Hasil.....	52
1.2 Pembahasan	62
BAB V PENUTUP	
5.1 Simpulan.....	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Mapping</i> Riset Pendidikan Terdahulu yang Relevan.....	7
Tabel 2.2 Spesifikasi Bearing	21
Tabel 3.1 Spesifikasi Perangkat Komputer	48
Tabel 3.2 Sifat Material.....	49
Tabel 3.3 Sifat Material.....	49
Tabel 3.4 Sifat Material.....	49
Tabel 3.5 Instrumen Penelitian Analisis Desain	51
Tabel 4.1 Data Hasil Analisis.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Inner Puller Bearing Grip-On 18-835</i>	14
Gambar 2.2 Desain Lengkap <i>Inner Puller Bearing 1</i>	16
Gambar 2.3 Desain Lengkap <i>Inner Puller Bearing 2</i>	17
Gambar 2.4 Bagian 1 <i>Inner Puller Bearing</i>	17
Gambar 2.5 Bagian 2 <i>Inner Puller Bearing</i>	18
Gambar 2.6 Bagian 3 <i>Inner Puller Bearing</i>	18
Gambar 2.7 Bagian 4 <i>Inner Puller Bearing</i>	19
Gambar 2.8 Bagian 5 <i>Inner Puller Bearing</i>	20
Gambar 2.9 <i>Bearing Standar Astra</i>	21
Gambar 2.10 Diagram Tegangan-Regangan	25
Gambar 2.11 Permodelan Tumpuan Rol	29
Gambar 2.12 Permodelan Tumpuan Sendi	30
Gambar 2.13 Permodelan Tumpuan Jepit	30
Gambar 2.14 Memilih Menu Simulasi Analisis	32
Gambar 2.15 Memilih Menu <i>New Study</i>	33
Gambar 2.16 Memilih Menu <i>Apply Material</i>	34
Gambar 2.17 Memilih Jenis Material	34
Gambar 2.18 Memilih Menu <i>Fixed Geometry</i>	35
Gambar 2.19 Menentukan Letak <i>Geometry</i>	36
Gambar 2.20 Memilih Jenis dan Besar Pembebanan	37
Gambar 2.21 Memilih Titik Pembebanan	37
Gambar 2.22 Memilih Menu <i>Create Mesh</i>	38

Gambar 2.23 Menentukan Besar <i>Mesh</i>	39
Gambar 2.24 Tampilan Objek dengan <i>Mesh</i>	40
Gambar 2.25 Memilih Menu <i>Run This Study</i>	41
Gambar 2.26 Tampilan Hasil Analisis	42
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	45
Gambar 3.2 Proyeksi 3D Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i>	47
Gambar 3.3 Proyeksi Tampak Atas Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i>	48
Gambar 3.4 Proyeksi Tampak Depan Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i>	48
Gambar 3.5 Proyeksi Tampak Samping Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i>	48
Gambar 4.1 Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i> Sebelum Pembebanan	53
Gambar 4.2 Posisi <i>Geometry</i>	54
Gambar 4.3 Titik dan Arah Pembebanan.....	55
Gambar 4.4 Ukuran <i>Mesh</i>	55
Gambar 4.5 Tampilan Simulasi Tegangan Maksimal spesimen 9.....	58
Gambar 4.6 Titik Tegangan Maksimal Spesimen 9.....	59
Gambar 4.7 Tampilan Simulasi Faktor Keamanan Spesimen 4	59
Gambar 4.8 Letak Titik Faktor Keamanan Maksimal Spesimen 4.....	60
Gambar 4.9 Grafik Nilai Tegangan Berdasarkan Material	61
Gambar 4.10 Grafik Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Material	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Persetujuan Seminar Proposal	71
Lampiran 2 Surat Tugas	72
Lampiran 3 Undangan Seminar Proposal	73
Lampiran 4 Daftar Hadir Seminar Proposal.....	74
Lampiran 5 Berita Acara Seminar Proposal.....	75
Lampiran 6 Lembar Pernyataan Selesai Revisi Seminar Proposal	76
Lampiran 7 Lembar Pernyataan Selesai Revisi Skripsi	77
Lampiran 8 Tutorial Simulasi <i>SolidWorks</i>	78
Lampiran 9 Gambar Proyeksi Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i>	83
Lampiran 10 Contoh Perhitungan Pencakar <i>Inner Puller Bearing</i>	84
Lampiran 11 Tabel Hasil Penelitian.....	87

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang Masalah

Salah satu tolok ukur kemajuan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi adalah pesatnya pembangunan. Hal ini terbukti dengan banyaknya inovasi baru yang merupakan pengembangan dari sistem dan produk terdahulu. Faktor pendukung kemajuan ini dipengaruhi oleh kebutuhan dan keinginan manusia yang merasa tidak puas.

Salah satu bidang industri yang mengalami perkembangan adalah otomotif, mulai dari kerangka mesin, bodi, suspensi, dll. *inner puller bearing* merupakan perkembangan dibidang otomotif, khususnya di bagian *maintenance*.

Dalam pelepasan *bearing* (laker) umumnya dilakukan secara konvensional/manual dengan menggunakan alat bantu palu dan pendorongnya. Dengan cara konvensional tersebut, besar kemungkinan terjadi kesalahan. Kesalahan tersebut dapat berimbas pada kerusakan onderdil yang menyebabkan kurang maksimalnya performa dari kendaraan yang dipakai, sehingga usia pakai onderdil berkurang. Cara konvensional tersebut juga dimungkinkan dapat menyebabkan kecelakaan pada mekanik.

Inner puller bearing merupakan alat yang diperuntukan dalam pelepasan *bearing* (laker). Secara teori, penggunaan *inner puler bearing* dapat mengatasi masalah yang telah disebutkan sebelumnya, karena alat ini dapat memberikan pembebanan secara merata terhadap laker, sehingga laker masih tetap dalam kondisi baik dan dimungkinkan untuk bisa digunakan kembali. Prinsip kerja *inner*

puler bearing adalah semi-otomatis, oleh karena itu pelepasan *bearing* menjadi lebih mudah. Selain itu, resiko kerusakan pada onderdil dapat dimimalisir, sehingga membuat onderdil lebih aman dari kerusakan. Hal ini berdampak pada usia pakai onderdil yang dapat dioptimalkan.

Ada metode tertentu dalam penggunaan *inner puller bearing*. Cara kerja yang asal-asalan berpotensi merusak keakuratan kerja dari *inner puller bearing*. Para mekanik harus mengikuti prosedur kerja *inner puller bearing* agar tidak terjadi kesalahan. Resiko utama dari kesalahan penggunaan *inner puller bearing* adalah rusaknya alat, dan tidak bisa untuk digunakan kembali.

Penggunaan metode elemen hingga di bidang *engineering* oleh para insinyur dan ahli dalam meneliti dan menganalisis desain maupun konstruksi dari sebuah alat dibidang teknik sampai saat ini terbukti cukup berhasil dengan baik sehingga banyak peneliti yang melakukan penelitian dengan menggunakan metode ini. Avianto dkk (2013: 5) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa hasil analisis dengan menggunakan metode elemen hingga menunjukkan korelasi yang baik dari keseluruhan deformasi yang dialami, dengan menunjukkan informasi penting terkait pengaruh perbedaan peletakan pembujur geladak. Dengan penelitian yang relevan, Erinofardi (2012: 370) menyimpulkan bahwa hasil analisis dengan metode elemen hingga menunjukkan perbandingan yang baik dengan hasilnya.

Analisis dengan menggunakan metode elemen hingga pada kasus 1 dimensi dan 2 dimensi dapat diselesaikan dengan cara teoritis meskipun dalam mencari solusi kasus tersebut memerlukan banyak waktu dan membutuhkan jumlah halaman kertas yang tidak sedikit. Akan tetapi dalam kasus 3 dimensi tidak mungkin untuk

diselesaikan secara teoritis mengingat seberapa banyak jumlah *row-column* matriks yang akan dihitung untuk hanya memperoleh beberapa solusi dari hasil pemecahan analisis elemen hingga. Sedangkan kita ketahui perkembangan teknologi sudah mencapai pada tahap analisis digital dengan menggunakan *software* metode elemen hingga dimungkinkan untuk dilakukan pada objek 3 dimensi.

Yamin dkk (2008: 49), dalam penelitiannya menyampaikan bahwa metode analisis yang telah ada terlalu sulit untuk diterapkan pada analisis struktur, meskipun dapat digunakan untuk menganalisis struktur yang sulit sekalipun. Tetapi karena perkembangan dari pengujian analisis struktur, poin utama yang diperhatikan adalah faktor keamanan, dengan semakin majunya teknologi maka perancangan struktur dan dapat dilakukan dengan bantuan komputer, karena informasi yang akurat salah satunya dari hasil analisis.

Uji analisis desain dengan menggunakan *software* juga bisa mengetahui titik-titik pembebanan, dimana dapat diketahui titik mana yang mengalami pembebanan paling kecil, pembebanan sedang dan pembebanan paling besar. Hasil analisis yang didapatkan nilai ambang batas sehingga nilai dari faktor keamanan dapat diketahui. Hasil analisis juga menyajikan perbandingan nilai keamanan dari bahan asli dan bahan yang diberi perlakuan, kemudian dari variasi dapat ditarik kesimpulan manakah bahan yang lebih optimal.

Banyak jenis *software* yang dapat digunakan untuk pembuatan desain, mulai dari yang paling sering digunakan yaitu CAD, inventor, Catia, ANSYS, *SolidWorks* dll. Akan tetapi *software* yang *support* sampai ke tahapan analisis hanya beberapa

saja dan *software SolidWorks* termasuk dalam *software yang support* sampai tahapan analisis.

Beberapa kelebihan *software SolidWorks* yaitu dihasilkan gambar pengerjaan mesin manual juga hasil geometri dari suatu produk desain, selain itu aplikasi ini juga bisa secara langsung diroses dengan CAM program untuk membuat G Code yang dipakai dalam proses permesinan otomatis dengan CNC, dan yang terpenting aplikasi ini dilengkapi menu *simulation*, dalam hal ini memungkinkan dilakukan perhitungan hambatan model, kekuatan model, *fatigue*, mencari nilai keamanan dan lain-lain.

Dari deskripsi permasalahan yang telah dipaparkan, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai aplikasi *inner puller bearing* dengan menggunakan *software*. Pokok analisis tertuju pada pengujian tekan dengan menggunakan *software support* analisis desain yaitu *SolidWorks*.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka identifikasi masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Belum diketahui besar tegangan ideal yang bekerja pada pencakar *inner puller bearing* saat digunakan.
2. Belum diketahui besar nilai faktor keamanan pada pencakar *inner puller bearing* saat digunakan.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, maka perlu dibatasi masalah sebagai berikut:

1. Analisis pengujian dilakukan pada bagian *Pencakar Inner Puller Bearing Grip-On 18-835*.
2. Pembuatan ulang desain dan permodelan desain dilakukan pada *software SolidWorks 2016*.
3. *Software* uji analisis yang digunakan adalah *software SolidWorks 2016*.
4. Hasil analisis meliputi besaran tegangan dan penentuan faktor keamanan dengan menggunakan variasi material dan besar pembebanan.
5. Jenis tegangan yang digunakan adalah tegangan ideal yang didapatkan dari hasil simulasi *SolidWorks*

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis yang dilakukan, penulis merumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah ada pengaruh variasi material dan beban terhadap tegangan ideal pada desain pencakar *inner puller bearing* menggunakan *Solidworks*?
2. Apakah ada pengaruh variasi material dan beban terhadap faktor keamanan pada desain pencakar *inner puller bearing* menggunakan *Solidworks*?

1.5. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi material dan beban terhadap tegangan ideal pada desain pencakar *inner puller bearing* menggunakan *Solidworks*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi material dan beban terhadap faktor keamanan pada desain pencakar *inner puller bearing* menggunakan *Solidworks*.

1.6. Manfaat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi pembacanya. Manfaat dari penelitian ini diantaranya manfaat teoritis dan manfaat praktis. Manfaat teoritis dan manfaat praktis dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1.6.1. Manfaat Teoritis

Melalui penelitian ini dapat menerapkan pengembangan aplikasi keilmuan mekanika kekuatan bahan dan CAE (*Computer Aided Engineering*) terkait dengan analisis tegangan dan faktor keamanan desain menggunakan menggunakan *software SolidWork*.

1.6.2. Manfaat Praktis

1. Bagi pembaca dapat menjadi masukan dalam rangka mengetahui pengaruh variasi material selain AISI 1045 *Steel*, AISI 4340 *Normalized*, dan *Alloy Steel* terhadap nilai tegangan dan faktor keamanan desain menggunakan *SolidWorks*.
2. Bagi industri dapat dimanfaatkan oleh insinyur sebagai bahan referensi metode analisis pembebanan dengan menggunakan *software SolidWorks*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Kajian Pustaka yang digunakan peneliti sebagai literatur dalam penulisan skripsi ini adalah yang berhubungan dengan analisis konstruksi dengan menggunakan *software SolidWorks*, berikut penelitian berkait yang telah dilaksanakan sebelumnya.

Nugroho (2016) dalam penelitiannya *Analisis SolidWork pada Rangka Mesin Press Bottle Jack 20 Ton dengan Perbedaan Material Type AISI*, yang meneliti tentang mesin *press bottle jack* 20 ton yang merupakan alat yang umum digunakan dalam industri namun untuk aplikasi *press* sederhana. Kerangka yang digunakan biasanya adalah AISI 304 dengan ketebalan 4 mm dengan bentuk C. sedang kerangka secara keseluruhan berbentuk huruf H. Dengan menahan beban 20 ton maka perlu dipelajari titik-titik mana yang mengalami *stress*, dan *displacement*. Pada simulasi ini dicoba menggunakan besi C AISI 304,316,321,347 dengan ketebalan 2.78 mm dan menggunakan *software SolidWorks*. Simulasi menunjukkan perbedaan nilai dari *stress* tidak terlalu mencolok namun nilai *stress* tertinggi pada material AISI 316 dan 321. Nilai *strain* juga menunjukkan nilai yang tidak begitu berbeda, pada masing-masing tipe AISI. Nilai *displacement* terendah pada material 347. Secara keseluruhan konfigurasi kerangka dan material AISI tersebut masih aman digunakan pada beban 20 ton, walaupun ketebalannya tidak 4 mm.

Saputra dan Riza (2015) dalam penelitiannya *Simulasi Tegangan dan Perubahan Bentuk Pada Rangka Sepeda Air Hamors Menggunakan Software*

SolidWork 2013, tentang rangka yang merupakan bagian penting dari sepeda, keergonomisan sepeda sangat ditentukan dari perancangan bentuk dan dimensi rangka. Bentuk rangka dituntut untuk memenuhi aspek kenyamanan dengan tidak mengabaikan faktor kekuatan rangka sepeda itu sendiri. Kekuatan rangka merupakan suatu hal yang harus menjadi perhatian utama, karena kekuatan dari rangka sangat mempengaruhi keamanan pengendara. Rangka sepeda air hamors dirancang dengan merubah bentuk sebuah rangka sepeda gunung (MTB). Perubahan tersebut bertujuan agar rangka sepeda dapat disatukan dengan pelampung. Untuk mengetahui keamanan dan kekuatan dari sebuah rangka dilakukan proses simulasi, dengan cara memberikan variasi beban, yaitu 60 kg (600 N) dan 70 kg (700 N) pada rangka menggunakan material *Black Steel Pipe* (AISI 1080), *Steel Alloys* dan *ST 37 Pipe* (DIN 1.0037). Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan *software SolidWorks 2013*. Tegangan maksimum tertinggi terjadi pada rangka sepeda air hamors dengan material AISI 1080 dengan tegangan maksimum 52,19 N/mm² (Mpa) pada berat pengendara 60kg & maksimum *displacement* 1,14 mm 60,61 N/mm² (MPa) & maksimum *displacement* 1,32 mm) pada berat pengendara 70kg dan masih dapat menahan beban (aman). Terdapat perubahan bentuk rangka akibat variasi beban dan material terhadap distribusi tegangan dan perubahan bentuk rangka yang disimulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangka sepeda air dengan ketiga jenis material tersebut mampu menahan beban (aman).

Putra (2016) dalam penelitiannya *Analisa Dan Perancangan Pembuatan Engine Stand Transmisi Toyota Kijang 4k Dengan Menggunakan Software*

SolidWorks 2014, dimana rangka merupakan salah satu bagian penting yang harus mempunyai konstruksi kuat untuk menahan atau memikul beban. Oleh karena itu setiap konstruksi rangka harus mampu untuk menahan semua beban. Proses dari pembuatan alat peraga ini meliputi perancangan, desain, pembuatan rangka, dan pengecatan. Kemudian dilakukan *setting* untuk penempatan transmisi dan gardan. Pengujian beban di lakukan menggunakan *software SolidWorks 2014*, dari pengujian tersebut dapat di ketahui faktor keamanan dan perubahan rangka. Dalam pengambilan data didapatkan data material yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,3%. Dari hasil simulasi yang di lakukan menggunakan *software SolidWork2014* adalah faktor keamanan dari rangka jika dikenai beban transmisi dan gardan kijang adalah 2,25, cukup aman untuk menopang beban tersebut.

Mulyanto dan Agung (2017) dalam penelitiannya *Analisis Tegangan Von Mises Poros Mesin Pemotong Umbi-Umbian Dengan Software SolidWorks*, yang meneliti tentang rancang bangun mesin pengiris umbi-umbian yang perlu memperhatikan kinerja poros sebagai komponen utama dari proses pengirisan. Pemodelan dan analisis kekuatan poros menggunakan bantuan perangkat lunak *SolidWorks*. Analisis kekuatan yang dilakukan adalah analisis tegangan *von mises*, *displacement* dan *safety factor* minimum. Poros mesin pengiris bekerja dengan menerima beban lentur, tarikan, tekan dan puntir. Dari hasil rancangan poros terdiri dari poros transmisi, gandar, poros spindel dimana poros akan mengalami beban puntir berulang, beban lentur ataupun keduanya. Pada pemodelan dan analisis kekuatan poros mesin pengiris diberikan beban sebesar $F = 58,86 \text{ N}$, dengan momen

torsi sebesar 5886 Nm. Dengan gaya dan torsi yang sudah ditentukan maka didapati hasil maksimal dari *von mises* yaitu sebesar 446765792,0 N/m², *displacement* maksimal 8,149 mm dan nilai *safety factor* 1,8.

Alfath dan Akhmad (2018) dalam penelitiannya *Analisis Pembebanan Statik dan Dinamik pada Pengembangan Axle Main Landing Gear Pesawat Boeing 737-800 Menggunakan Pendekatan Finite Element*, yang membahas tentang *axle maian landing gear* yang merupakan komponen penting pada pesawat udara, karena *axle maian landing gear* berfungsi untuk menopang beban pesawat pada saat, *parking*, *taxing*, dan *landing*. Dibutuhkan pengembangan desain *axle landing gear* yang lebih baik karena diketahui bahwasanya masih ada kegagalan pada saat pengoprasian, hal tersebut dikarenakan oleh pembebanan yang terlalu sering pada titik kritis tegangan. Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan dengan cara menambahkan *gusset* pada titik kritis tegangan yaitu pada titik lengan *axle landing gear*. Bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi besar sudut *gusset* terhadap tegangan maksimum, distribusi tegangan, dan titik kritis tegangan dengan variasi pengujian *axle normal* dan *axle gusset* bersudut 70°. Dilakukan pengujian dengan cara memberikan dua jenis gaya yaitu statis sebesar 31.986, 08 N dan 320.601,035 N untuk dinamis. Simulasi numerik menggunakan metode *finite element* menggunakan *software* Autodesk Nastran, dan *SolidWork* untuk perbandingan sehingga didapatkan data perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan pengembangan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai tegangan *von mises* turun. Untuk pengujian *axle normal* didapatkan tegangan sesar 552,5 Mpa untuk statis dan 751,5 Mpa untuk dinamis, serta *displacement* total untuk statis sebesar

4,43 mm dan 4,71 mm untuk dinamis *gusset* baik pengujian statis dan dinamis nilai tegangan *axle* sudut *gusset* 700 yaitu sebesar 484,4 Mpa untuk pengujian dinamis yaitu sebesar 556,9 Mpa. Selain nilai tegangan hasil simulasi menunjukkan besar *displacement* atau pergeseran, nilai *displacement* total terendah berada pada sudut 700 yaitu sebesar 4,09 mm untuk statis dan 4,25 mm untuk dinamis.

Yamin dkk (2008) dalam penelitiannya *Analisis Tegangan Pada Rangka Mobil Boogie*. Dengan objek penelitiannya yaitu rangka atau *chassis* yang merupakan bagian komponen terpenting dari semua kendaraan yang berfungsi sebagai penopang berat kendaraan, mesin serta penumpang. Lintasan yang dilalui mobil *boogie* adalah lintasan *off road*, sehingga keamanan penumpang menjadi hal yang sangat diperhatikan. Hal ini menjadi alasan mengapa mobil *boogie* harus memiliki rangka yang menutupi bagian atas kendaraan sehingga pengemudi akan lebih aman jika terjadi kecelakaan yang fatal. Karena beban terbesar terjadi pada kedudukan pengemudi dan mesin, maka perlu dilakukan analisis di kedua kedudukan tersebut, dengan menggunakan perangkat lunak Catia V5. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui deformasi yang terjadi serta daerah kritis dari masing-masing jenis kedudukan dan vektor peralihannya. Setelah proses analisis dilakukan, diperoleh tegangan *von mises* maksimum sebesar $14,1 \times 10^7$ N/m² untuk rangka kedudukan pengemudi dan $8,81 \times 10^7$ N/m² untuk rangka kedudukan mesin, juga didapatkan vektor peralihan sebesar 0,00528 mm untuk rangka kedudukan pengemudi dan 0,0000242 mm untuk rangka kedudukan mesin

Purnomo dan Djoeli (2011) dalam penelitiannya *Desain Dan Analisa Impact Pada Struktur Bumperbelakang Kendaraan SUV Dengan Metode Elemen*

Hingga. Meneliti *bumper* yang merupakan salah satu struktur yang penting dalam kendaraan berpenumpang, dan didesain untuk menerima beban *impact*. *Bumper* merupakan pelindung luar yang dirancang sedemikian rupa untuk memungkinkan terjadinya kontak dan mengalami guncangan yang mungkin terjadi tanpa menimbulkan kerusakan serius. *Bumper* dirancang untuk menyerap energi tabakan saat terjadi kecelakaan untuk kondisi kecepatan rendah. Untuk pengujian simulasi *impact* dengan kecepatan rendah berdasarkan standar ECE Regulasi 42,1994. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hubungan antara bentuk, jenis material, ketebalan struktur. Penelitian ini, mendesain dan menganalisis *impact* pada struktur bumper belakang kendaraan SUV dengan menggunakan *software* CATIA dan ANSYS LS-DYNA. Parameter perancangan adalah bentuk, material, ketebalan struktur dan kondisi *impact*. Dalam pemodelan *impact*, penulis menggunakan longitudinal *impact test* dengan memberikan beban pendulum berdasarkan ECE R.42. Konsep desain terdiri dari 4 bentuk, 3 material, ketebalan 3 mm, 4 mm, 5 mm dan solusi alternatif dengan menggunakan absorber . Parameter bentuk, konsep desain yang aman adalah desain 4 karena memiliki tegangan paling rendah yaitu 328,25 MPa, parameter bahan/material adalah 2 AL 2219-T31 sebesar 191,35 MPa , parameter ketebalan adalah 4 mm dengan respon tegangan *von misses* sebesar 138,632 MPa karena relatif ringan dan parameter absorber dengan menggunakan karet. Respon tegangan *von misses* 196,39 Mpa. Untuk pembebanan energi dua kali maka hasilnya dari desain struktur bumper belakang masih aman.

Tabel 2.1 *Mapping Riset* Penelitian Terdahulu yang Relevan

Nama peneliti	Jenis Pengujian	Hasil
Cahyo Budi Nugroho	Uji Statis	konfigurasi kerangka dan material AISI tersebut masih aman digunakan pada beban 20 ton
Hendra Saputra, Riza Ahmad Z.	Uji Statis	Rangka sepeda air dengan ketiga jenis material tersebut mampu menahan beban (aman).
Raden VBBP Putra	Uji Statis	Faktor keamanan dari rangka jika di kenai beban transmisi dan gardan kijang adalah 2,25, cukup aman untuk menopang beban tersebut
Tri Mulyanto, Agung Dwi S.	Uji Statis	Hasil maksimal dari <i>von mises</i> yaitu sebesar 446765792,0 N/m ² , <i>displacement</i> maksimal 8,149 mm dan nilai safety factor 1,8
S.A. Alfath Akhmad H.A.R.	Uji Statis Uji Dinamis	Besar <i>displacement</i> atau pergeseran, nilai <i>displacement</i> total terendah berda pada sudut 700 yaitu sebesar 4,09 mm untuk statis dan 4,25 mm untuk dinamis.
Mohamad Yamin, dkk	Uji Statis	Tegangan <i>von mises</i> maksimum sebesar 14,1 x 10 ⁷ N/m ² untuk rangka dudukan pengemudi dan 8.81 x 10 ⁷ N/m ² untuk rangka dudukan mesin
Heru Purnomo Djoeli Satrijo	Uji Statis	Respon tegangan <i>von misses</i> 196,39 Mpa. Untuk pembebanan energi dua kali maka hasilnya dari desain struktur bumper belakang masih aman.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Tinjauan Umum *Inner Puller Bearing*

a. *Inner Puller Bearing*

Inner puller bearing grip-on 18-835 merupakan sebuah alat yang digunakan dalam bidang *engineering* khususnya pada bidang otomotif. Alat ini diaplikasikan dalam perawatan dan perbaikan, dimana *inner puller bearing* digunakan untuk melepaskan *bearing* (laker).



Gambar 2.1. *Inner Puller Bearing Grip-On 18-835*

(Sumber: <http://www.Gripon-Tools.Com>)

Inner puller bearing grip-on 18-835 dapat digunakan untuk melepaskan *bearing* dengan ukuran diantaranya 10 mm, 12 mm, 15 mm, 20 mm, dan 23 mm. Dalam satu set pembelian *inner puller bearing grip-on 18-835* Terdiri dari 5 buah mata *bearing* dengan ukuran yang telah disebutkan.

Inner puller bearing grip-on 18-835 merupakan produk Jerman. Alat ini memiliki standar ASTRA, artinya terstandar atau diakui sebagai satu alat yang layak untuk diaplikasikan di dunia keteknikan. Informasi tentang *inner puller bearing grip-on 18-835* dapat diulas pada laman WWW.Gripon-Tools.Com.

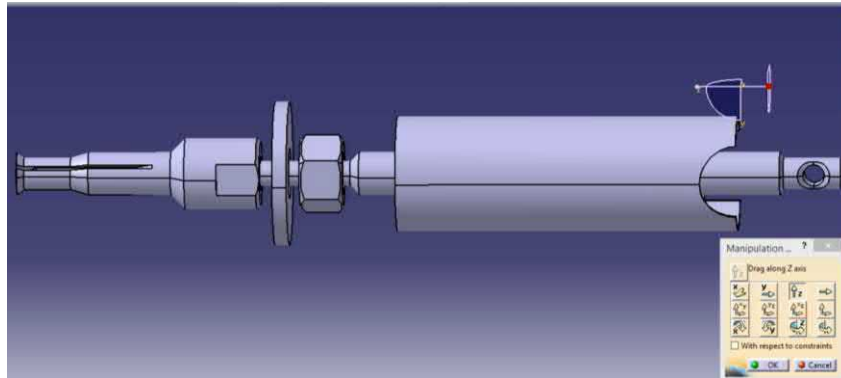
b. Prosedur Penggunaan

Prosedur penggunaan *inner puller bearing grip-on 18-835* secara sederhana adalah sebagai berikut:

- 1) Mata *bearing* dipasangkan dengan as *puller* kemudian dimasukkan ke dalam lubang *bearing*.
- 2) Mata *bearing* ditahan dengan menggunakan kunci pas.
- 3) As *puller* diputar sampai mata *bearing* mengembang.
- 4) Setelah itu, selongsong *bearing* dimasukkan ke as *puller* beserta dengan ring untuk menahan selongsong.
- 5) Mur yang berada pada as *puller* diputar menggunakan kunci pas sehingga *bearing* akan terbawa keluar. Jika ukuran mata *bearing* berbeda sedikit dari ukuran di atas, tetap dapat digunakan karena mata *bearing* akan mengembang.

c. Konstruksi Rangka dan Desain *Inner Puler Bearing*

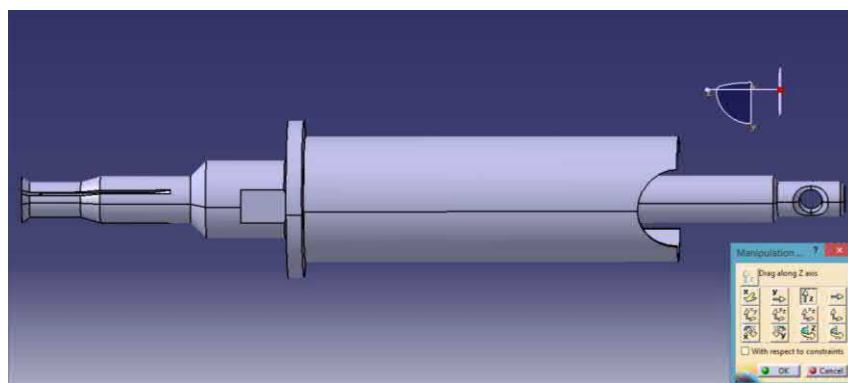
Rangka berfungsi sebagai pendukung dan berperan sebagai dudukan komponen-komponen alat penguji pompa-pompa (Saputra dan Riza, 2015: 91). Konstruksi *inner puller bearing* memiliki fungsi sebagai komponen utama alat, dimana konstruksi ini berperan langsung dalam aplikasi alat ini. Dalam aplikasinya alat ini merupakan susunan dari beberapa rangkaian komponen alat. Dimana ada satu titik yang bersinggungan secara langsung dengan *bearing* motor. Dengan rekayasa teknik alat ini memanfaatkan tenaga putaran yang diberikan oleh mekanik kemudian ditransfer menjadi energi tekan pada batang dan memberi tegangan pada bagian yang bersinggungan dengan *bearing* kemudian menggapai *bearing* sehingga dimungkinkan untuk dilakukan pelepasan.



Gambar 2.2. Desain Lengkap *Inner Puller Bearing 1*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Gambar diatas adalah susunan dari bagian-bagian *inner puller bearing* sebelum digunakan, adapun susunan alat *inner puller bearing* ketika digunakan adalah sebagai berikut.



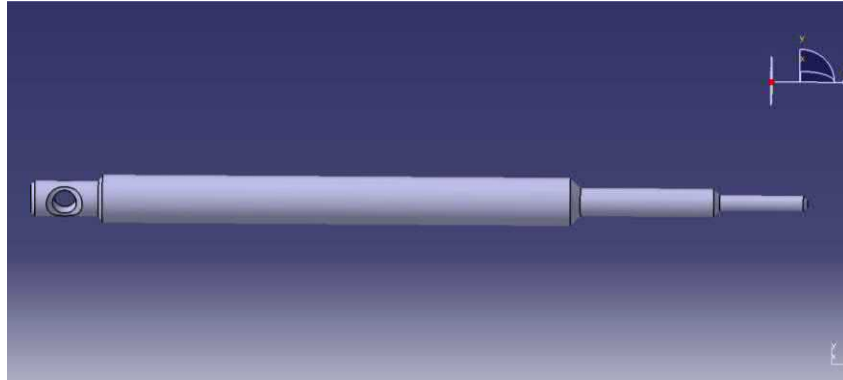
Gambar 2.3. Desain Lengkap *Inner Puller Bearing 2*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Gambar-gambar diatas merupakan bagian susunan *inner puller bearing* dari perbagian hingga menjadi satu bagian utuh ketika alat ini digunakan.

Inner puller bearing terdiri dari lima bagian utama. Setiap bagian pada alat ini memiliki dimensi dan bentuk yang bervariasi. Berikut merupakan *part* atau bagian dari *inner puller bearing*:

1) Bagian pendorong

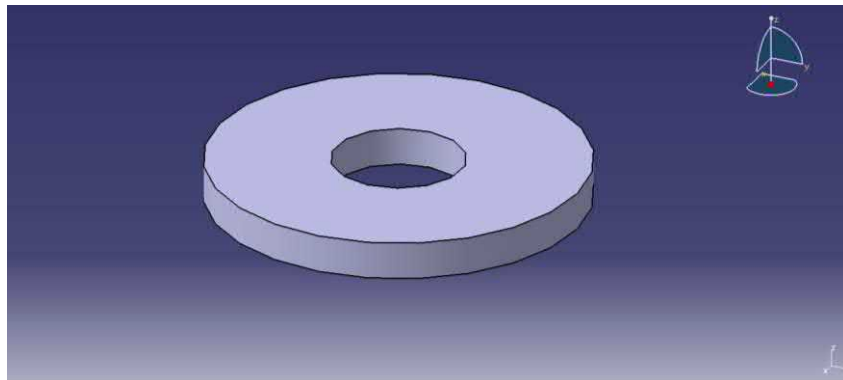


Gambar 2.4. Bagian 1 *Inner Puller Bearing*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Bagian ini merupakan inti atau pusat pemasangan dari semua bagian. Bagian ini terletak pada bagian paling tengah dan menjadi sandaran bagi pemasangan bagian yang lainnya.

2) Penopang Selimut

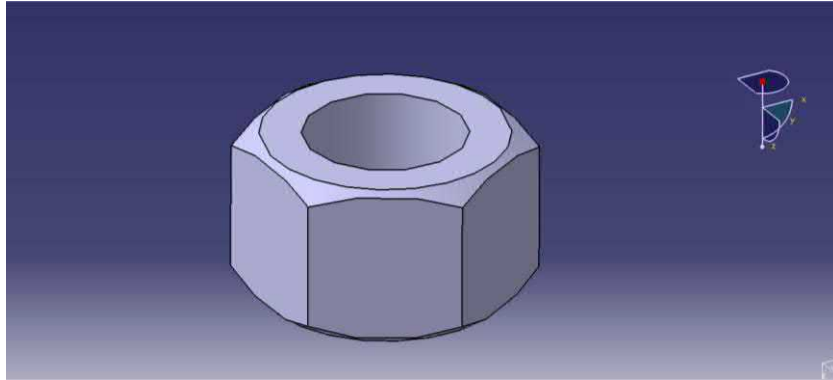


Gambar 2.5. Bagian 2 *Inner Puller Bearing*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Bagian ini menyerupai cincin, dan berfungsi sebagai penopang atau penahan dari selimut *inner puller bearing*, bagian ini tidak bisa langsung terpasang harus membutuhkan bantuan baut dalam pemasangannya.

3) Baut

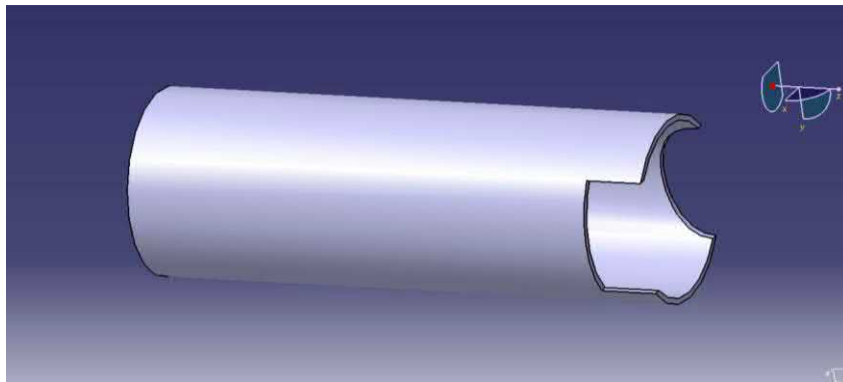


Gambar 2.6. Bagian 3 *Inner Puller Bearing*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Bagian ini terpasang pada bagian pendorong, disesuaikan dengan besar ulir antara mur dan bagian pendorong. Bagian ini juga memiliki fungsi sebagai pengunci bagian penopang selimut.

4) Selimut

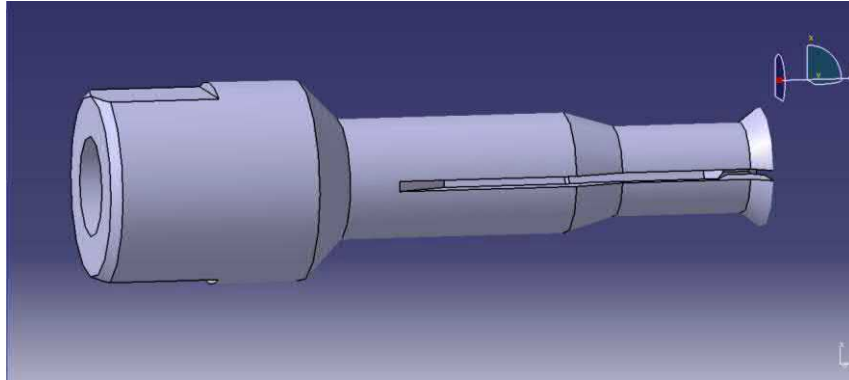


Gambar 2.7. Bagian 4 *Inner Puller Bearing*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Bagian ini memiliki diameter paling besar diantara bagian yang lainnya, berfungsi sebagai pegangan dari mekanik sekaligus juga membantu alat untuk menekan dan mengarahkan ke *bearing* yang akan dilepaskan.

5) Pencakar *Bearing*



Gambar 2.8. Bagian 5 *Inner Puller Bearing*

(Sumber: Dokumen pribadi)

Bagian ini terletak pada posisi paling depan. Dari seluruh bagian hanya bagian ini yang bersentuhan langsung dengan *bearing*. Fungsi dari bagian ini adalah sebagai pencakar *Bearing* atau yang berperan langsung dalam pelepasan *bearing*. Sistem kerja bagian ini, memiliki diameter dalam dengan diameter tertentu, kemudian bagian ujung luar dengan ukuran dimensi yang sedemikian rupa yang memiliki selisih beberapa mili meter dari ukuran diameter *bearing*. Selain itu terdapat 3 belahan pisau potong pada ujungnya yang memungkinkan bagian ini untuk melebar apabila diberi tekanan. Dengan bantuan pendorong dari dalam dan mendapat tekanan, ujung dari alat ini membesar, sehingga apabila dimasukkan pada *bearing*, ujung dari bagian akan membesar dan dimensinya menjadi lebih besar dibandingkan diameter *bearing*. Dengan bantuan tarikan dari mekanik, *Bearing* dapat terlepas dengan mudah.

Bagian ini merupakan bagian paling rentang daripada bagian lainnya. Hal ini terbukti pada saat peneliti melakukan uji coba pada alat ini, bagian ini pecah tepatnya pada bagian ujung dimasa terletak potongan. Dan kasus inilah yang

melatarbelakangi peneliti untuk melakukan analisis pada *inner puller bearing*, khususnya pada bagian pencakar ini.

2.2.2. *Bearing*



Gambar 2.9. *Bearing* standar Astra

(Sumber: http://www.bengkeldsm.com/astra_honda_motor)

Tabel 2.2 Spesifikasi *Bearing*

Nama	Spesifikasi
<i>Type</i>	6031 RS Honda
<i>Model</i>	: 02-0041 Astra Honda Motor
<i>Notes</i>	FR = Depan, RR = belakang
<i>Used</i>	FR&RR = Supra, Grand, CSI FR = Satri Fu, Shogun 125 sp, GL Pro, GL 100, Tiger, Thunder 125, RGR, RR = Jupiter Z, Supra X 123 Disc, Vega R, Vega ZR, Jupiter MX, F1ZR, RXS, Win

Bearing adalah suatu bantalan peluru di mana tempat bertumpunya poros pada sumbunya dan berputar dengan kedudukan dan poros tersebut (Purnama dan Ariosuko: 2014)

Bearing dalam Bahasa Indonesia berarti bantalan. Dalam ilmu mekanika *bearing* adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. *bearing* menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu berada pada jalurnya.

Bantalan merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang memegang peranan cukup penting karena fungsi dari bantalan yaitu untuk menumpu sebuah poros agar poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bantalan harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik.

Bearing atau “laker” adalah komponen sebagai bantalan untuk membantu mengurangi gesekan peralatan berputar pada poros/as. *Bearing* atau “laker” ini biasanya berbentuk bulat. *Bearing* di mobil dipasang pada as roda dan ditempatkan yang berputar lainnya. Tujuan dari bantalan balok untuk mengurangi gesekan rotasi dan mendukung radial dan aksial beban.

2.2.3 Konsep Tegangan dan Regangan

a. Tegangan

Dendy dkk (2015: 36) mendefinisikan tegangan adalah jika sebuah benda elastis ditarik oleh suatu gaya, benda tersebut akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu sebanding dengan gaya tersebut, yang berarti ada sejumlah gaya yang bekerja pada setiap satuan panjang benda, dengan kata lain tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja dibagi dengan luas penampang. Tegangan kerja dan

tegangan kerja aman memiliki arti yang sama dan keduanya secara luas diimplementasikan.

Hukum Newton pertama tentang aksi dan reaksi, bila sebuah balok terletak diatas lantai akan memberikan reaksi yang sama, sehingga benda dalam keadaan setimbang. Gayaaksi sepusat (F) dan gaya reaksi (F*) dari bawah akan bekerja pada setiap penampang balok tersebut. Jika ambil penampang A-A dari balok, gaya sepusat (F) yang arahnya ke bawah, dan dibawah penampang bekerja gaya reaksinya (F*) yang arahnya keatas (Sumbodo, 2008: 9)

Kemudian dari hasil pengertian diatas apabila dirumuskan tegangan yang bekerja pada penampang bahan adalah sebagai berikut:

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

Dimana:

- σ : Tegangan atau gaya per satuan luas (N/m^2)
- P : Beban (*Newton*)
- A : Luas Penampang (m^2)

Secara umum ada dua jenis tegangan, yaitu: Tegangan normal, tegangan normal sebagai tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang mengalami tegangan yang sedang ditinjau maupun tekan dan tegangan geser yaitu tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan yang mengalami tegangan.

Tegangan maksimum yang diijinkan adalah nilai tegangan maksimum yang tidak melebihi dari *yield strength* (tegangan luluh) material yang digunakan, karena kita ketahui bahwa nilai tegangan luluh merupakan fase daerah landing peralihan

deformasi elastis menuju deformasi plastis. Karena itu pemilihan material sangat menentukan nilai batasan maksimum yang diijinkan dalam sebuah alat.

b. Regangan

Dendy dan Abu (2015: 36) juga menyebutkan regangan adalah perubahan bentuk yang terjadi jika dua gaya yang sama besar dan berlawanan arah diberikan pada masing-masing bidang ujung benda dengan arah menjauhi benda, sehingga benda bertambah panjang. Regangan adalah suatu bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan perubahan bentuk (sari dan puguh, 2012: 3). Untuk memperoleh satuan regangan, maka dilakukan dengan membagi perpanjangan dengan panjang yang telah diukur (Singer dan Pytel dalam Fuad, 2015: 11), kemudian dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \delta / L$$

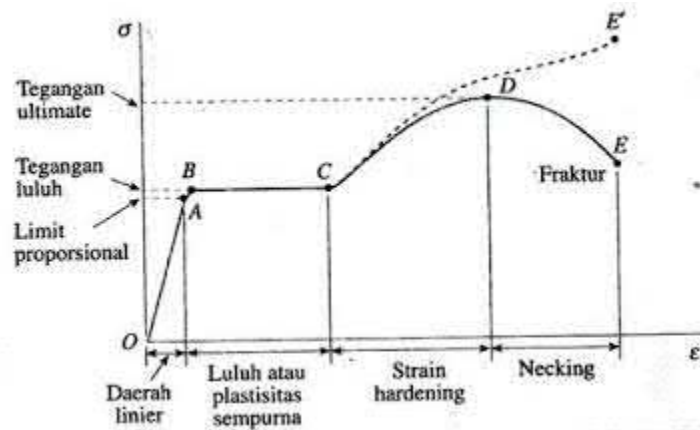
Dimana:

ε : Regangan

δ : perubahan bentuk aksial total (mm)

L : panjang batang (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat digambarkan dengan diagram hubungan tegangan-regangan berikut:



Gambar 2.10. Diagram Tegangan-Regangan

(Gere dan Timoshenko 1996: 10)

Dengan meningkatnya tegangan hingga melewati limit proporsional, maka regangan mulai meningkat secara lebih cepat untuk setiap pertambahan tegangannya. Dengan demikian kurva tegangan-regangan mempunyai kemiringan yang berangsur-angsur semakin kecil sampai pada titik B kurva menjadi horisontal.

Dari titik B terjadi regangan yang sangat besar sampai titik C tanpa adanya pertambahan tegangan, gejala tersebut dinamakan pelelehan bahan. Setelah mengalami regangan yang besar di daerah BC, maka baja akan mengalami perkuatan regangan yang menghasilkan bertambahnya tahanan bahan terhadap deformasi selanjutnya. Akhirnya pembebanan mencapai nilai maksimum pada titik D yang disebut dengan tegangan batas, jika penarikan bahan itu dilakukan sebenarnya diikuti dengan pengurangan beban dimana terjadi proses *necking* atau kontraksi luas, membuat bahan menjadi putus pada titik E. Jika luas penampang berada pada bagian sempit dari kontraksi luas digunakan untuk menghitung tegangan, maka kurva tegangan-regangan sebenarnya akan mengalami seperti garis terputus-putus.

c. Tegangan statis

Tegangan Statis (*static stress*) adalah pembebanan yang dilakukan terhadap suatu komponen dimana beban diberikan secara lambat, tanpa kejutan dan ditah pada besaran nilai yang konstan atau tetap. Contohnya adalah beban pada sebuah struktur karena bobot mati pada sebuah struktur karena beban mati pada sebuah bangunan. Tegangan keluaran statis (saat kecepatan sudut nol) dalam V , S_v (*scale factor*) adalah faktor skala dalam satuan $V/\text{deg/s}$, dan ω adalah kecepatan sudut atau *angular velocity* dalam satuan deg/s (Tirta dan Wiryadinata, 2012)

d. Rasio Tegangan

Faktor-faktor utama yang perlu diperimbangkan dalam menentukan jenis pembebanan yang akan diterima suatu komponen adalah pola variasi beban dan variasi tegangan yang dihasilkan dengan waktu. Variasi tegangan tersebut ditunjukkan oleh empat nilai penting sebagai berikut:

- 1) Tegangan maksimal (σ_{\max})
- 2) Tegangan minimal (σ_{\min})
- 3) Tegangan rata-rata (σ_m)
- 4) Tegangan bolak-balik (σ_a)

Tegangan maksimal dan minimal biasanya dihitung berdasarkan informasi yang diketahui dengan analisis tegangan atau metode elemen hingga, atau diukur dengan menggunakan teknik-teknik analisis tegangan eksperimental. Setelah itu, tegangan rata-rata dan tegangan bolak-balik dapat dihitung dari:

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$$

Suatu bahan yang mengalami tegangan bergantung pada variasinya. Pada kasus ini, rasio tegangan merupakan salah satu variasi yang digunakan. Rasio tegangan yang umum digunakan ada dua jenis antara lain:

$$\text{Rasio Tegangan } R = \frac{\text{tegangan minimal}}{\text{tegangan maksimal}} = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

$$\text{Rasio Tegangan } R = \frac{\text{tegangan bolak – balik}}{\text{tegangan rata – rata}} = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

Apabia beban diberikan kepada komponen secara lambat, tanpa adanya kejutan dan ditahan pada nilai yang konstan, maka tegangan yang dihasilkan pada komponen tersebut dinamakan dengan tegangan statis (*static stress*).

e. Tegangan Bengkok

Tegangan bengkok adalah tegangan yang terjadi karena adanya momen yang menyebabkan benda mengalami lentur atau bengkok. Sebelum menentukan tegangan bengkok perlu diketahui nilai dari momen bengkok, momen bengkok merupakan sebuah gaya yang bermaksud untuk menggerakkan atau memutar benda.

$$\tau_b = M_b / W_b$$

$$M_b = F \times L$$

$$W_b = \frac{1}{32} \left(\frac{(d_o - d_i)^4}{d_o} \right)$$

Dimana;

τ_b = Tegangan Bengkok

M_b = Momen Bengkok

W_b = Tahanan Bengkok

F = Gaya

L = Panjang Penampang

do = Diameter Luar

di = Diameter Dalam

2.2.3. Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan dikatakan berhasil apabila memiliki nilai diatas 1,0 untuk menghindari suatu kegagalan atau keruntuhan struktur. Perhitungan faktor keamanan berfungsi untuk menentukan layak atau tidaknya alat yang dibuat untuk digunakan (Kristyadi dkk, 2015: 6). Gunawan (2009: 7) mendefinisikan faktor keamanan adalah nilai perbandingan antara kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan. Untuk rumusan nilai faktor keamanan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$Faktor\ Keamanan\ (n) = \frac{S_y}{\sigma}$$

Dimana,

S_y = Yield Strength

σ = Tegangan sesungguhnya

Nilai faktor keamanan berkisar antara 1,0 sampai dengan 10. Apabila nilai kekuatan yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan kekuatan sebenarnya akan menghasilkan nilai faktor keamanan dibawah 1,0 dengan kata lain deformasi yang terjadi melewati harga batas, hal ini menyebabkan strukturnya tidak lagi mampu menunjukkan fungsi yang diharapkan, hal ini dapat menyebabkan material menjadi patah.

Adapun aturan untuk menentukan faktor keamanan suatu struktur adalah sebagai berikut:

- a. $n = 1,25$ sampai dengan $2,0$ ditetapkan pada perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
- b. $n = 2,0$ sampai dengan $2,5$ ditetapkan pada perancangan stuktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
- c. $n = 2,5$ sampai dengan $4,0$ ditetapkan pada perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan analisis tegangan, atau lingkungan.
- d. $n = 4,0$ atau lebih ditetapkan pada perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidak pastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

Dalam penelitian ini, peneliti menetapkan nilai faktor keamanan adalah minimal 2 karena pencakar *inner puller bearing* dalam aplikasinya menerima beban statis dan beban dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk setiap perancangannya dari objeknya.

2.2.4. Jenis Pembebanan dan Tumpuan

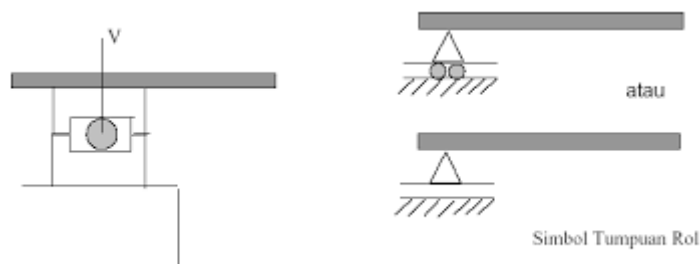
Beban dalam balok dapat dibedakan sebagai beban terpusat dan beban merata. Ruang beban terpusat relatif kecil sehingga dapat dianggap berkerja pada

suatu titik, sebaliknya beban merata terjadi pada seluruh sepanjang balok tertentu. Beban bisa terbagi secara rata pada permukaan balok.

Pada beban merata baik beban segitiga atau beban yang bervariasi, intensitas pembebanan dapat bertambah dan berkurang dengan laju tetap. Kondisi ini bisa timbul bergantung pada kasus yang dihadapi oleh alat.

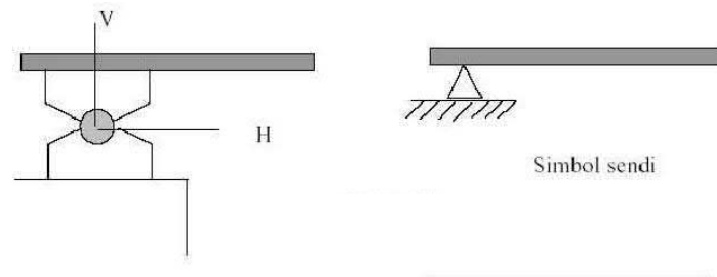
Tumpuan atau perletakan adalah lokasi pada struktur diletakan, sebagai pendukung yang menyalurkan akibat beban luar kebagian pendukung lainnya (Hariandja, 1996: 38). Konstruksi tumpuan dalam desain dibedakan beberapa macam. Avianto dkk (2013: 3) Dalam penelitiannya menjelaskan macam-macam tumpuan diatarannya adalah:

- a. Tumpuan rol hanya dapat menerima gaya dalam arah tegak lurus rol dan tidak mampu menahan momen. Jadi tumpuan rol hanya mempunyai satu gaya reaksi yang tegak lurus dengan rol.



Gambar 2.11. Permodelan Tumpuan Rol (Avianto dkk, 2013)

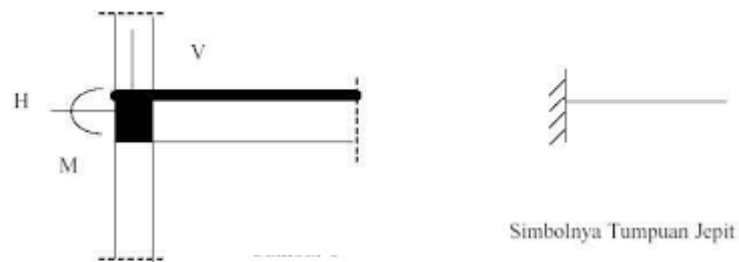
- b. Tumpuan sendi dapat menerima gaya dari segala arah, akan tetapi tidak mampu menahan momen. Dengan demikian tumpuan sendi mempunyai dua gaya reaksi.



Gambar 2.12. Permodelan Tumpuan Sendi (Avianto dkk, 2013)

Dalam istilah mekanika bahan tumpuan ini juga sering disebut dengan tumpuan engsel.

- c. Tumpuan Jepit dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Dengan demikian tumpuan jepit mempunyai tiga gaya reaksi.



Gambar 2.13. Permodelan Tumpuan Jepit (Avianto dkk, 2013)

2.2.5. Kriteria Pemilihan Bahan

Prinsip pemilihan bahan perlu mempertimbangkan syarat-syarat sifat yang diminta oleh desain konstruksi dengan sifat-sifat kemampuan bahan yang dapat dipergunakan. Disebutkan oleh Suarsana (2017) bahwa dalam hal pemilihan bahan dalam desain perlu mempertimbangkan hal berikut, antara lain:

1. Sifat Mekanik meliputi; kekuatan, ketangguhan, kekerasan, keuletan, kegetasan dll.

2. Sifat fisik seperti *heat conductivity*, *electrical conductivity*, *heat expansion*, dimensi, dan struktur mikro.
3. Sifat kimia seperti tahan korosi aktivitas terhadap bahan kimia.

Faktor-faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam desain adalah teknologi yang tersedia, faktor ekonomis, *availability* bahan.

2.2.6. Software SolidWorks

Menu yang dominan digunakan dalam penelitian ini adalah menu *mechanical design* dan menu *analysis and simulation* untuk menunjang perancangan konstruksi rangka pada *inner puller bearing grip-on 18-835*.

SolidWorks atau yang sering disebut “Parametrik” diperuntukan untuk permodelan 3D. Parametrik sendiri berarti bahwa dimensi dapat memiliki hubungan antara yang satu dengan yang lainnya dan dapat diubah pada saat proses desain dan secara otomatis mengubah *part* solid dan dokumentasi terkait.

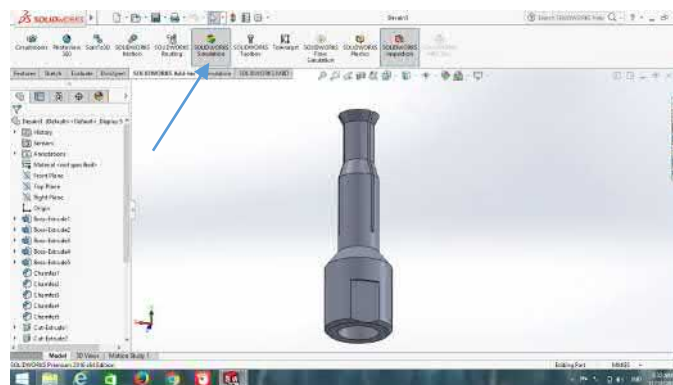
SolidWorks adalah *software* program mekanikal 3D CAD (*Computer Aided Design*) yang berjalan pada *Microsoft Windows*. File *SolidWorks* menggunakan penyimpanan file format *Microsoft* yang terstruktur. Ini berarti bahwa ada berbagai file tertanam dalam setiap SLDDRW (file gambar). SLDPRT (*part file*). SLDASM (*file assembly*). Dengan *bitmap preview* dan metadata sub-file.

Berbagai macam *tools* dapat digunakan untuk mengekstrak sub-file. Meskipun sub-file dalam banyak kasus menggunakan format file biner. *SolidWorks* adalah parasolid yang berbasis *solid modeling*. *SolidWorks* menggunakan pendekatan berbasis fitur-parametrik untuk membuat *model* dan *assembly* atau

perakitan. Parameter mengacu pada pembatasan yang bernilai menentukan bentuk atau geometri dari model.

Secara spesifik proses analisis dengan menggunakan *Software SolidWorks* adalah sebagai berikut:

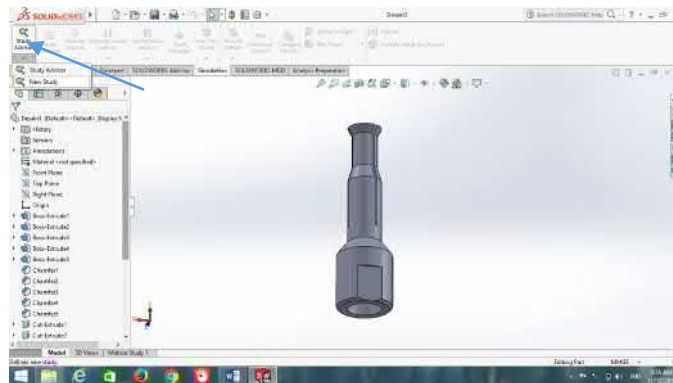
1. Langkah yang pertama ialah dengan membuka program *SolidWorks*, dengan memilih *shortcut* dari program *SolidWorks*. Setelah program terbuka buka file desain yang akan dilakukan analisis dengan cara memilih menu file dan mencari file yang dituju atau dengan tombol CTRL + O.
2. Setelah file terbuka *cursor* diarahkan menuju menu “*SOLIDWORKS Add-Ins*” pilih “*SOLIDWORKS Simulation*” sampai muncul “*Simulation*” disamping kanan menu “*SOLIDWORKS Add-Ins*”. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.14. Memilih Menu Simulasi Analisis

Menu simulasi yang dituju ditunjukkan oleh tanda panah, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya menu ini akan muncul setelah menu “*SOLIDWORKS Add-Ins*” dipilih, ketika belum dipilih maka menu tersebut tidak akan muncul.

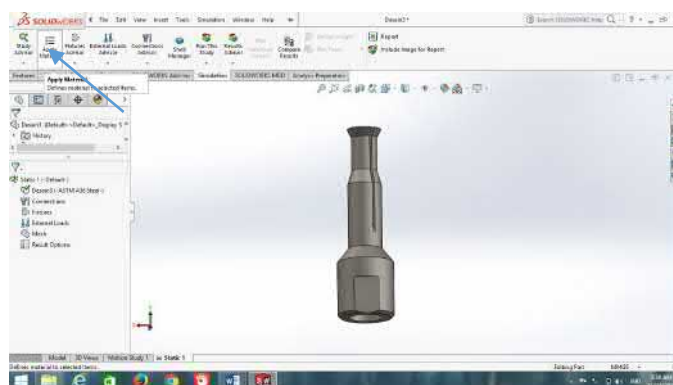
3. Setelah menu “*Simulation*” terpilih, *cursor* diarahkan menuju bagian kiri atas.



Gambar 2.15. Memilih *New Study*

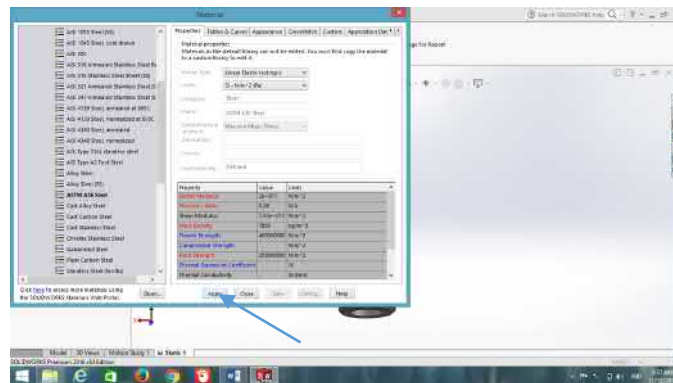
Pilih menu “*Study Advisor*” kemudian akan muncul 2 menu baru dibawahnya, untuk mengawali simulasi, memilih menu “*New Study*”.

4. Setelah memilih “*New Study*” kita sudah memasuki menu siap simulasi analisis desain.



Gambar 2.16. Memilih Menu *Apply Material*

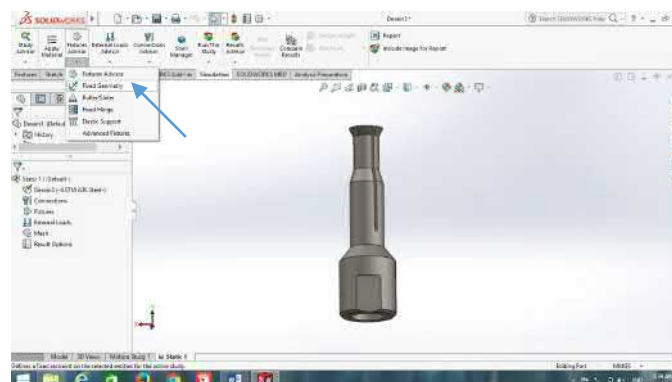
Langkah yang pertama dalam analisis desain adalah memilih jenis material yang akan kita gunakan dalam proses analisis. Caranya memasukkan material adalah memilih menu “*Apply Material*”.



Gambar 2.17. Memilih Jenis Material

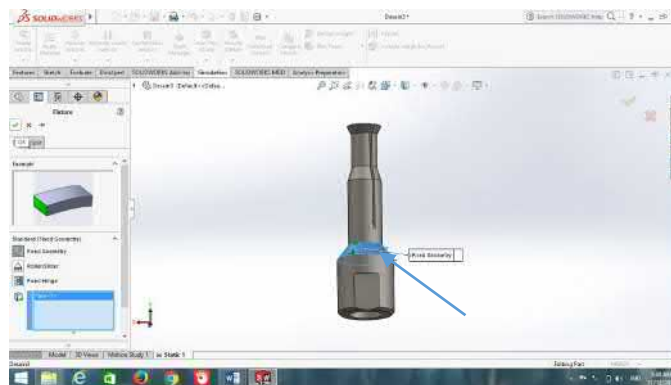
Setelah memilih menu “*Apply Material*” akan muncul berbagai macam jenis material yang sudah ada dalam beberapa standar baik standar AISI, ASTM, dan lain-lain. Pilih material yang sesuai untuk dilakukan pengujian dengan cara mengarahkan *cursor* kearah material yang diinginkan kemudian pilih tombol “*Apply*”.

5. Material sudah terpilih, langkah berikutnya adalah menentukan indikator-indikator pengujian. Ada beberapa indikator yang harus ditentukan, yang pertama adalah menentukan letak *geometry*. Adapun lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.18. Memilih Menu *Fixed Geometry*

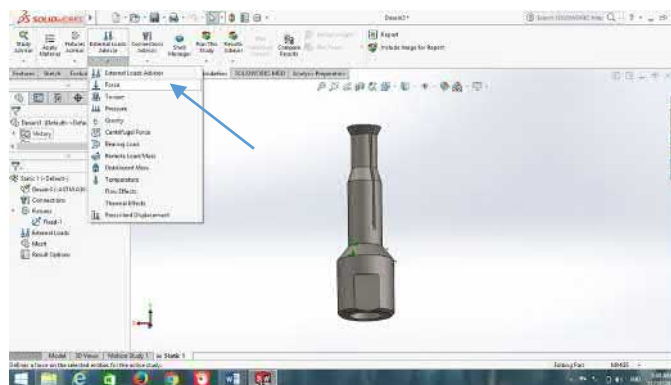
Analisis desain diawali dengan menentukan *geometry* atau tumpuan pada saat dilakukan analisis. Tumpuan ini berfungsi sebagai acuan pembebanan dimana pada titik ini menjadi titik yang tidak bergerak atau tidak terpengaruh dengan gaya. Caranya ialah dengan memilih menu “*Fixtures Advisor*” setelah itu pilih menu “*Fixed Geometry*”.



Gambar 2.19. Menentukan Letak *Geometry*

Setelah menu “*Fixed Geometry*” dipilih akan muncul tampilan seperti diatas, disini kita memilih titik pada benda kerja yang akan kita tentukan sebagai *geometry* atau tumpuan, setelah itu pilih tanda centang hijau.

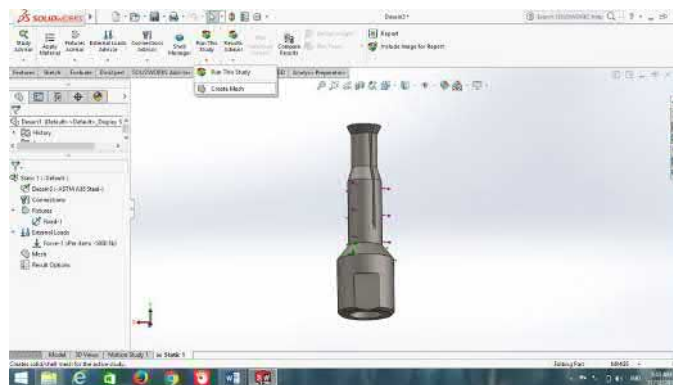
6. Setelah *geometry* terpilih langkah yang selanjutnya ialah menentukan indikator yang akan kita uji, arah pembebanan dan asumsi besaran pembebanan.



Gambar 2.20. Menentukan Jenis dan Besar Pembebanan

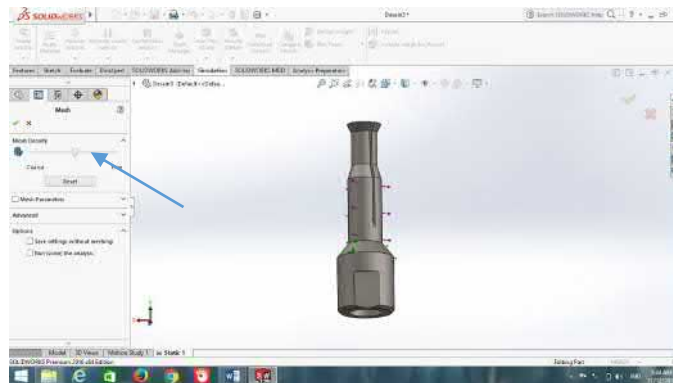
Cara menentukan indikator ini dengan cara memilih menu “*External Load Advisor*” kemudian memilih jenis pembebanan apa yang akan bekerja dan dianalisis dengan *SolidWorks*. Pembebanan ini diterapkan dengan cara memilih daerah pada desain benda kerja. Selain itu juga menentukan arah pembebanannya, dengan cara melihat kolom “*Reverse direction*” pada bagian kiri layar. Besaran asumsi pembebanan juga ditentukan dengan mengisi besarannya pada kolom diatas “*Reverse direction*”.

7. Sebelum proses analisis perlu ditentukan terlebih dahulu besaran “*Mesh*” atau ukuran elemen yang digunakan.



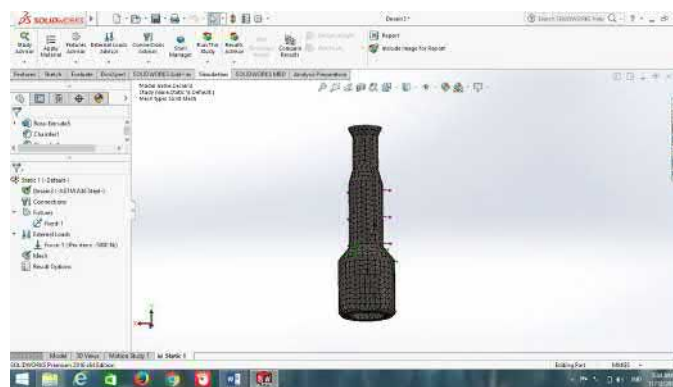
Gambar 2.22. Memilih Menu *Create Mesh*

Cara mengatur besaran elemen adalah dengan memilih menu “*Run This Study*” kemudian muncul cub menu baru pilih “*Create Mesh*” maka akan muncul tampilan seperti dibawah ini.



Gambar 2.23. Menentukan Besar *Mesh*

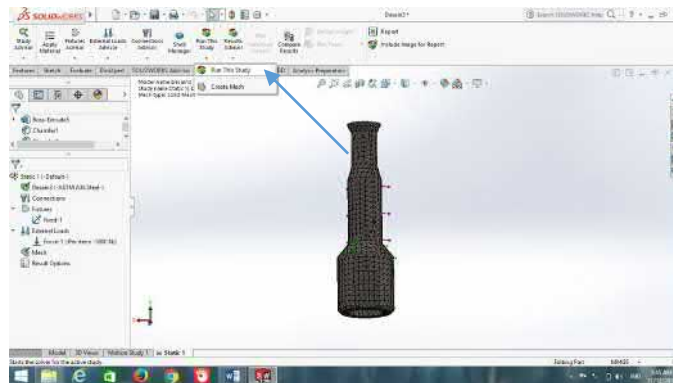
Perhatikan kolom sebelah kiri, besaran elemen bisa diatur dengan menggeser tanda panah antara “*Coarse*” dan “*Fine*”, semakin kekanan maka bentuk elemen semakin kecil, hasil analisis juga semakin detail walaupun proses *computing* lebih lama. Sebaliknya semakin ke kiri bentuk elemen semakin besar hasil analisisnya pun kurang detail dan proses *computing* relatif lebih cepat.



Gambar 2.24. Tampilan Objek dengan *Mesh*

Setelah besaran *mesh* atau elemen ditentukan, maka pada benda kerja akan muncul tampilan dengan menyertakan bentuk elemen dan ukuran elemennya seperti pada gambar diatas.

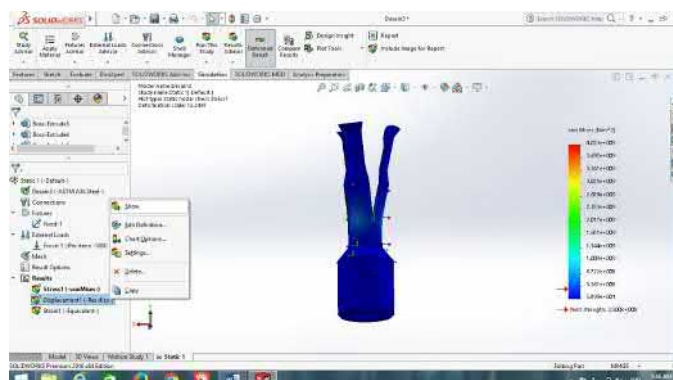
8. Besaran *mesh* sudah ditentukan, benda kerja sudah siap untuk dilakukan analisis desain.



Gambar 2.25. Memilih Menu *Run This Study*

Cursor diarahkan kembali pada menu “*Run This Study*” kemudian muncul dua sub menu baru, pilih “*Run This Study*”, secara otomatis program akan melakukan proses *computing*. Waktu yang diperlukan dalam proses *computing* bervariasi, hal ini dipengaruhi oleh kedetailan desain, jumlah indikator desain yang digunakan, semakin banyak indikatornya, semakin banyak pula waktu yang diperlukan dalam proses *computing*. Selain itu juga dipengaruhi ukuran *mesh* atau elemen, semakin kecil elemen maka waktu yang diperlukan semakin banyak.

9. Proses *computing* sudah dilakukan, maka akan muncul hasil analisis pada tampilan dibawah ini.



Gambar 2.26. Tampilan Hasil Analisis

Ada 3 pilihan tampilan pada proses analisis ini, pilihannya antara lain *stress* atau tegangan, *displacement* atau perubahan bentuk, *strain* atau regangan. Untuk memunculkan hasil yang diinginkan, pilih salah satu dari ketiga menu itu, klik kanan atur tampilan pada menu “*Chart Options*” dan perintah untuk memunculkan adalah “*Show*”

2.3.Kerangka Fikir

Alat *inner puller bearing grip-on 18-835* tidak bisa dilakukan sembarangan artinya harus menggunakan prosedur yang tepat, selain menjaga kondisi alat juga menjaga *bearing* yang diambil dari kerusakan.

Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *SolidWorks* sebagai salah perangkat lunak yang *support* untuk melakukan analisis terhadap konstruksi rangka *inner puller bearing grip-on 18-835*. Objek penelitian dilakukan pengukuran dan data yang didapat dimasukkan dalam bentuk desain pada *software SolidWorks* terlebih dahulu, kemudian diberi perlakuan dengan memvariasikan material dan beban, kemudian dianalisis dengan menggunakan *software SolidWorks 2016* untuk mencari besaran nilai tegangan dan faktor keamanan. Hasil analisis dilakukan pembahasan, dan dilakukan perbandingan.

Hasil analisis yang dilakukan oleh peneliti kemudian ditarik kesimpulan, berapakah besar tegangan yang bekerja dengan perlakuan yang dilakukan dan berapa besar faktor keamanan yang didapatkan oleh objek setelah diberikan perlakuan. Kemudian material terbaik disarankan untuk diaplikasikan pada *inner puller bearing grip-on 18-835*. Hasil analisis juga dapat digunakan sebagai bahan

rujukan kajian ilmiah tentang analisis konstruksi rangka dan menjadi acuan dalam pembuatan atau pengembangan *inner puller bearing grip-on 18-835*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Dengan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software SolidWorks* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi material dan beban berpengaruh terhadap tegangan pada desain pencakar *inner puller bearing* menggunakan *Solidworks*. Material tidak begitu berpengaruh terhadap nilai tegangan. Masing-masing material (AISI 1045 S, AISI 4340 N, dan *Alloy Steel*) pada beban 10 N memiliki nilai tegangan $123 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$, pada beban 25 N memiliki nilai tegangan $307 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$ dan pada beban 50 N memiliki nilai tegangan $620 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$. Besar beban berpengaruh terhadap besarnya nilai tegangan, dimana semakin besar beban yang diberikan maka nilai tegangan semakin besar dan sebaliknya, semakin kecil pula nilai tegangannya. Nilai tegangan untuk beban 10 N adalah $123 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$ untuk beban 25 N adalah $307 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$ dan untuk beban 50 N adalah $620 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$.
2. Variasi material dan beban berpengaruh terhadap faktor keamanan pada desain pencakar *inner puller bearing* menggunakan *Solidworks*. Material dengan nilai tegangan maksimal tertinggi akan memiliki nilai faktor keamanan tertinggi dalam hal ini yang memiliki nilai tegangan maksimal tertinggi adalah AISI 4340 *Normalized*. sedangkan besar beban berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan walaupun tidak secara langsung, karena besar beban mempengaruhi tegangan yang bekerja dan

tegangan yang bekerja mempengaruhi nilai faktor keamanan. Faktor keamanan paling baik jika tegangan yang bekerja semakin jauh dari nilai tegangan batas. Faktor keamanan terbesar ada pada material AISI 4340 dengan pembebanan 10 N yaitu sebesar 5,78

5.2. Saran

5.2.1. Saran Teoritis

Software-software berbasis simulasi banyak dan sudah berkembang, untuk itu perlu dikenalkan pada mahasiswa dibangku perkuliahan

5.2.2. Saran Praktis

1. Bagi pembaca sebaiknya mengetahui pengaruh variasi material selain AISI 1045 *Steel*, AISI 4340 *Normalized*, dan *Alloy Steel* terhadap nilai tegangan dan faktor keamanan desain menggunakan *SolidWorks* agar dapat digunakan salah satu referensi untuk pengembangan penelitian.
2. Bagi industri sebaiknya insinyur memanfaatkan penelitian ini sebagai bahan referensi metode analisis desain dengan menggunakan *software SolidWorks*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfath, Syukri Ainun & Akhmad Hafizh Ainur Rasyid. (2018). Analisis Pembebanan Statik dan Dinamik pada Pengembangan Axle Main Landing Gear Pesawat Boeing 737-800 menggunakan Pendekatan Finite Element. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1).
- Anto, Edi. (2013). *Optimasi Parameter Pemesinan terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman Cnc Turning* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- Avianto, J., Imron, A., & Sujiatanti, S. H. (2014). Analisa Tegangan Yang Terjadi Pada Geladak Kapal Tanker Akibat Pengaruh Perubahan Letak Pembujur Geladak Dengan Metode Elemen Hingga.
- Dendy, M. Adjie & Abu Bakar (2018). Analisis Kekuatan Struktur Landing Skid Akibat Impact Saat Landing Dengan Variasi Beban Pada Helikopter Synergy N9. *Jurnal Industri Elektro dan Penerbangan*, 5(2).
- Erinofiardi, Hendra. 2012. Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Volume 3. Nomor 2: 362-371.
- Fuad, M. A. (2015). *Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal menggunakan Metode Elemen Hingga* (Doctoral dissertation). Universitas Negeri Semarang).
- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. Mekanika Bahan. Translated by Hans J Wospakrik. Jakarta: Erlangga.
- Gunawan, I. (2009). Perencanaan Mesin dan Analisa Statik Rangka Mesin Pencacah Rumput Gajah dengan Menggunakan Software CATIA V5. *Skripsi Program Studi Teknik Mesin*.
- Hariandja, Binsar. 1996. Mekanika teknik: Statika dalam analisis struktur berbentuk rangka. Jakarta: Erlangga
- Kristyadi, T., Agustiawan, I., Hartawan, L., Santika, T., & Alexin, A. (2015). Analisis Tegangan Platform Mobil Listrik *Cross Over*.
- Masyuri dan M. Zainuddin. 2008. Metodologi Penelitian: Pendekatan Praktis dan Aplikatif. Bandung: PT Refika Aditama.

- Mulyanto, Tri & Sapto, Agung D. (2017). Analisis Tegangan Von Mises Poros Mesin Pemotong Umbi-Umbian dengan Software *SolidWorks*. *Presisi*, 18(2).
- Nugroho, Cahyo Budi. (2016). Analisis *SolidWork* pada Rangka Mesin Press Bottle Jack 20 Ton dengan Perbedaan Material Type AISI. *Jurnal Integrasi*, 8(1), 12-15.
- Nurastuti, Wiji. 2007. *Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: Ardana Media
- Purnama, A., & Ariosuko DH. (2014). Analisis Perbandingan Sifat Fisis dan Mekanis Bantalan Peluru Baru, Telah Dipakai dan Rusak untuk Kendaraan Bermotor Roda Dua. *Sinergi Jurnal Teknik Mercu Buana*. *Jurnal Sinergi Vol. 18 No 2*
- Purnomo, H., & Satridjo, D. (2011). Desain Dan Analisa Impact Pada Struktur Bumperbelakang Kendaraan Suv Dengan Metode Elemen Hingga. *Rotasi*, 13(1), 24-32.
- Putra, Raden V.B.B.(2016). Analisa dan Perancangan Pembuatan Engine Stand Transmisi Toyota Kijang 4k dengan Menggunakan Software Solid 2014. *Tugas Akhir D3 Teknik Mesin Otomotif dan Manufaktur*.
- Rachman, Maman. 5 Pendekatan Penelitian. 2015. Yogyakarta: Magnum Pustaka Utama
- Sari, S. P., & Santoso, P. (2012). Analisis Tegangan Statik pada Rangka Sepeda Motor Jenis Matic Menggunakan Software CATIA P3 V5R14. *Skripsi Program Studi Teknik Mesin*.
- Saputra, H., & Zulkarnain, R. A. (2015). Simulasi Tegangan dan Perubahan Bentuk Pada Rangka Sepeda Air Hamors Menggunakan Software *SolidWork* 2013. *Jurnal Integrasi*, 7(2), 91-96.
- Suarsana. 2017. *Ilmu Material. e-book Teknik Mesin Universitas Udayana*
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- _____. 2015. *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Sumbodo, Wirawan dkk. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 1*. 2008. Jakarta: Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
- Suryabrata, Sumadi. 2006. *Metodologi Penelitian*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada

- Tirta, I., & Wiryadinata, R. (2016). Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 1(1), 30-34.
- Yamin, M. Satyadarma D., & Hasanudin, O. A. (2008, August). Analisis Tegangan Pada Rangka Mobil Boogie. In *Proceeding, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2008)*. Gunadarma University.