

ANALISIS TEGANGAN PADA DESAIN *HAMMER UNIGRATOR*
SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

ISFAN APPRA ADHA
NIM. 145060201111067

KEMENTRIAN RISET DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEGANGAN PADA DESAIN HAMMER UNIGRATOR

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ISFAN APPRA ADHA
NIM. 145060201111067

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 29 November 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Moch. Agus Choiron, ST., MT., Dr. Eng
NIP. 19720817 200003 1 001

Nafisah Arina Hidayati, ST., M. Eng.
NIP. 19831023 201504 2 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah hasil dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

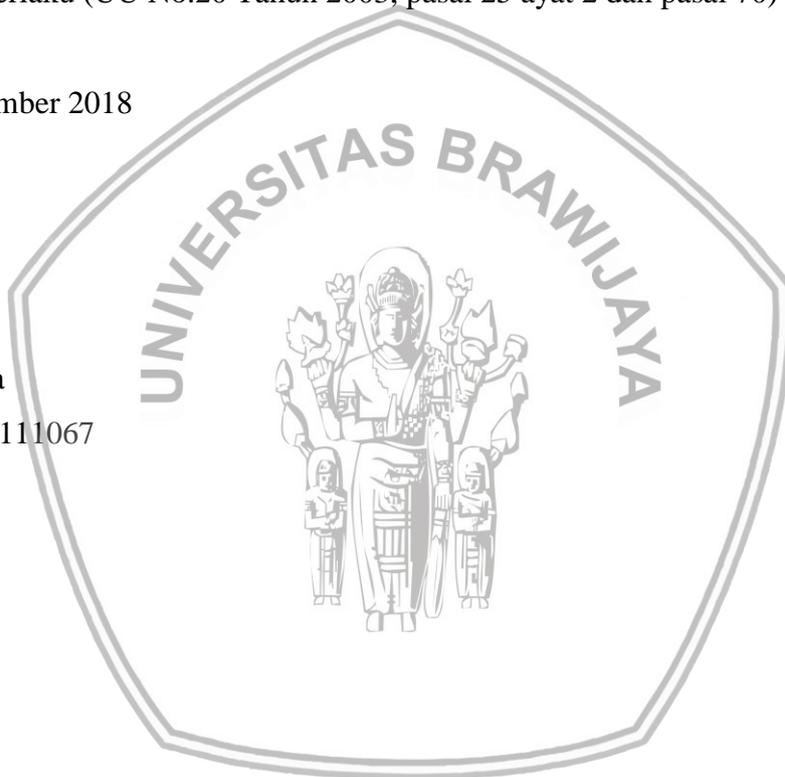
Apabila ternyata didalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 07 Desember 2018

Mahasiswa,

Isfan Appra Adha

NIM. 145060201111067





JUDUL SKRIPSI :

ANALISIS TEGANGAN PADA DESAIN *HAMMER UNIGRATOR*

Nama Mahasiswa : Isfan Appra Adha

NIM : 145060201111067

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Konstruksi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Pembimbing 2 : Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI

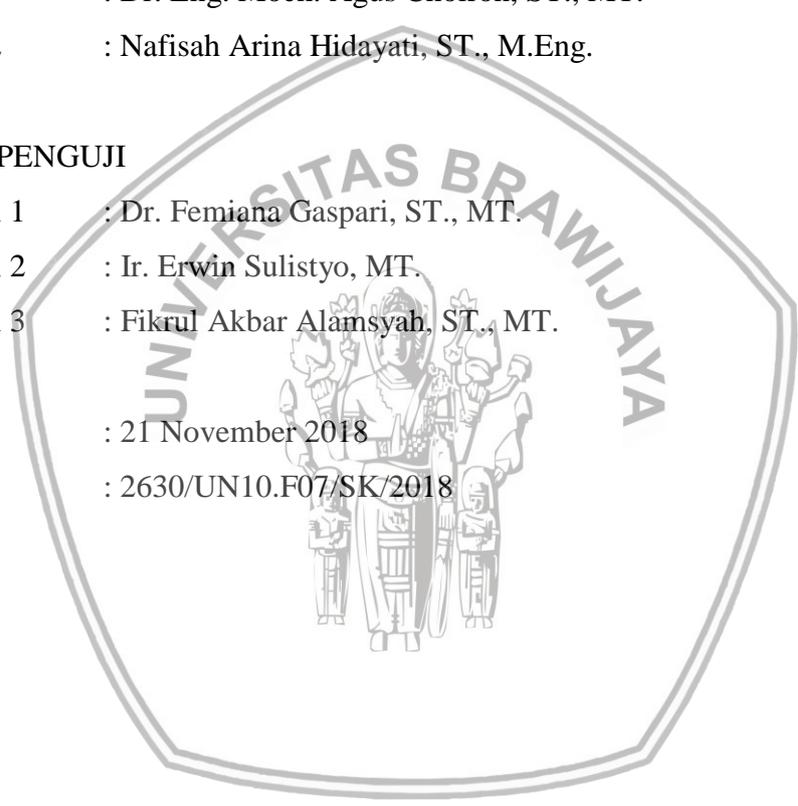
Dosen Penguji 1 : Dr. Femiana Gaspari, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Ir. Erwin Sulistyono, MT.

Dosen Penguji 3 : Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT.

Tanggal Ujian : 21 November 2018

SK Penguji : 2630/UN10.F07/SK/2018





Jeriring Doa dan Ribuan ucapan terimakasih kepada :

Ayahanda tercinta yang telah tenang di alam surga

Ibunda tercinta yang selalu mengingatkan anaknya

Adik tercinta yang tak bosan-bosan bertanya kapan wisuda

Semoga tulisan ini menjadi ilmu yang bermanfaat bagi orang lain, dan menjadi amal jariah yang selalu mengalir untuk ayahanda dan ibunda tercinta



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robiiil 'alamin atas segala limpahan rahmat iman, islam, kesehatan dan waktu yang telah dilimpahkan kepada penulis dan berkat Ridho-Nya penulisa bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “**ANALISIS TEGANGAN PADA DESAIN *HAMMER UNIGRATOR***” dengan baik. Tak lupa shalawat dan salam penulis haturkan kepada junjungan alam yakni Nabi Muhammad *shallallahu alaihi wa sallam* beserta keluarganya, istri-istrinya, anak-anaknya, sahabat-sahabatnya, dan seluruh umat beliau sampai akhir zaman.

Dalam proses penyelesaian skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Maka dari itu sudah seharusnya penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., PhD dan Teguh Dwi Widod, ST., M.Eng., PhD selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah melancarkan segala proses administrasi.
2. Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. Selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., MT. Selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Konsentrasi Teknik Kontruksi.
4. Dr. Eng. Moch Agus Choiron, ST., MT. Dan ibu Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak pengetahuan, bimbingan, dan arahan selama penyusunan skripsi.
5. Dr. Femiana Gapsari M. F. ST., MT. , Ir. Erwin Sulistyo., MT. , Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT. Sebagai majelis penguji pada saat ujian komprhensif.
6. Dosen pengajar dan Staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Alm.Suhermi Sahar dan Ibu Delfi yang tidak pernah berhenti mendoakan anaknya dan mengingatkan anaknya agar bisa menyelesaikan tulisan ini dengan baik.
8. Adik tercinta, Putri Muharani yang selalu cerewet mengingatkan agar segera selesai.
9. Teman kontrakan Arief “D’jambronk” Junairul Pratama, yang telah berbagi rumah selama 3 tahun terakhir.
10. KINGDOM FAMILY : Ilyas, Fadil, Romy, Reza, Obi, Dhyan, Diqi, Abo, Dana, Satrio, Topan, Feyzar dan Hilmy.
10. KGDM SQUAD : Fadil, Reza, Falih, Amir, Rifqi, Bagus, Dhewa.
11. Keluarga BASKET FT-UB yang telah menjadi wadah mengembangkan minat dan bakat saya

12. Kawan kontruksi : Fadil, Ilyas, Panges, Tri, Mea, Ardi, Tary dan Amir yang telah menjalani mata kuliah wajib konsentrasi bersama-sama.
13. Keluarga Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem periode 2017-2018, Dr. Eng. Moch Agus Choiron, ST., MT. Selaku Kepala Laboratorium, Dr. Eng. Sofyan Arief Setyabudi, ST., M.Eng., dan Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng. Selaku Member labratorium dan teman-teman asisten : Ilyas, Ainul, Fitra, Dewi, Yoga dan Ega.
14. Teman angkatan 2014 “M14” aka “MAFIA” atas semua cerita mulai dari kecil sampai lulus, mulai dari maba sampai mala, mulai dari berfikir bodoh sampai berfikir logis, banyak cerita yang didapat, banyak kejadian yang dialami, banyak hal yang dipelajari, dan “TEKAD INI SATUKAN KAMI SAMPE MATI TAK BELANI” akan selalu teringat didalam jiwa dan raga, dan see you on top rek, suwun.
15. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM)
16. Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM FT-UB)
17. Teman-taman kos bahagia
18. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terakhir, penulis menyampaikan bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu penulis sangat berharap kritik dan saran demi penyempurnaan karya tulis ini. Penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut

Malang, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

PENGANTARi

DAFTAR ISI.....iii

DAFTAR TABELv

DAFTAR GAMBAR.....vi

RINGKASAN.....viii

SUMMARYix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya 5

2.2 Stasiun Penggilingan (Pemerahan Nira) 7

 2.2.1 Alat Perarasi 7

 2.2.2 Alat Pemerah Nira 10

 2.2.3 *Hammer Unigrator* 12

2.3 Analisis Tegangan dan Regangan 13

 2.3.1 Gaya 13

 2.3.2 Tegangan 14

 2.3.3 Regangan 15

 2.3.4 Modulus Elastisitas 16

 2.3.5 Momen 18

2.4 Teori Uji Bending/Lengkung Tekan 21

2.5 Teori Kegagalan 24

2.6 Tinjauan Elemen Hingga 28

 2.6.1 Elemen Isoparametrik 29

 2.6.2 *Software Fenite Element Analysis (FEA)* 33



2.7 Hipotesis	34
---------------------	----

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.3 Variabel Penelitian	35
3.3.1. Variabel Bebas	35
3.3.2. Variabel Terikat	37
3.3.3. Variabel Terkontrol	37
3.4 Permodelan Penelitian	37
3.4.1 Pemodelan Geometri	37
3.4.2 Pemodelan Material	37
3.4.3 Permodelan Kondisi Batas	38
3.5 Meshing	40
3.6 Diagram Alir Penelitian	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Simulasi	43
4.1.1 Tegangan	43
4.1.2 Perpindahan	45
4.2 Pembahasan	47
4.2.1 Tegangan	47
4.2.2 Perpindahan	48
4.3 Analisis grafik tegangan <i>hammer unigrator</i>	48
4.3.1 Analisis grafik tegangan variasi radius atas <i>hammer unigrator</i>	48
4.3.2 Analisis grafik tegangan variasi radius bawah <i>hammer unigrator</i>	49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Failur Theorie</i>	25
Tabel 3.1	Variasi pemodelan radius atas	36
Tabel 3.2	Variasi pemodelan radius bawah	36
Tabel 4.1	Nilai tegangan maksimal dan perpindahan dari setiap model	47



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
	<i>Gambar 2.1</i> Bagian <i>hammer</i> yang divariasikan, A = desain original, B = desain modifikasi	6
	<i>Gambar 2.2</i> Pin pada <i>shredder hammer</i>	6
	<i>Gambar 2.3</i> Aliran nira di stasiun gilingan	7
	<i>Gambar 2.4</i> <i>Cane crane</i>	8
	<i>Gambar 2.5</i> <i>Cane table</i>	8
	<i>Gambar 2.6</i> <i>Cane carrier</i>	9
	<i>Gambar 2.7</i> <i>Cane cutter</i>	9
	<i>Gambar 2.8</i> <i>Heavy Duty Hammer Shredder (HDHS)</i>	10
	<i>Gambar 2.9</i> Stasiun penggilingan	11
	<i>Gambar 2.10</i> <i>Unigrator</i>	13
	<i>Gambar 2.11</i> Tegangan	14
	<i>Gambar 2.12</i> Komponen tegangan	15
	<i>Gambar 2.13</i> Regangan	16
	<i>Gambar 2.14</i> Ilustrasi angka poisson	17
	<i>Gambar 2.15</i> Modulus Young	18
	<i>Gambar 2.16</i> Momen gaya	19
	<i>Gambar 2.17</i> Momen Inersia Massa terhadap sumbu tetap	19
	<i>Gambar 2.17</i> Moment inersia	18
	<i>Gambar 2.18</i> Tabel momen Inersia penampang	21
	<i>Gambar 2.19</i> Skematis Uji Bending/Lengkung Tekan	21
	<i>Gambar 2.20</i> Hubungan anara tanda untuk momen lentur dan arah tegangan normal	23
	<i>Gambar 2.21</i> Tegangan bending	24
	<i>Gambar 2.22</i> Tegangan normal maksimum	26
	<i>Gambar 2.23</i> Perbandingan dari tiga teori kegagalan statis	27
	<i>Gambar 2.24</i> Lingkaran Mohr	28
	<i>Gambar 2.25</i> Jenis elemen kuadrilateral isoparametrik	29
	<i>Gambar 2.26</i> <i>Element solid187</i>	31
	<i>Gambar 3.1</i> <i>Desain hammer</i>	36
	<i>Gambar 3.2</i> Dimensi <i>hammer unigrator</i>	37

Gambar 3.3 Pemodelan kondisi batas39

Gambar 3.4 Pemodelan *meshing*40

Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian *Hammer Unigrator*41

Gambar 4.1 Distribusi tegangan pada variasi *radius* atas *hammer unigrator*43

Gambar 4.2 Distribusi tegangan pada variasi jari-jari bawah *hammer unigrator*44

Gambar 4.3 *Displacement* pada model variasi radius atas45

Gambar 4.4 *Displacement* pada model variasi radius bawah46

Gambar 4.5 Grafik tegangan pada variasi jari-jari atas48

Gambar 4.6 Grafik tegangan pada variasi jari-jari bawah49





RINGKASAN

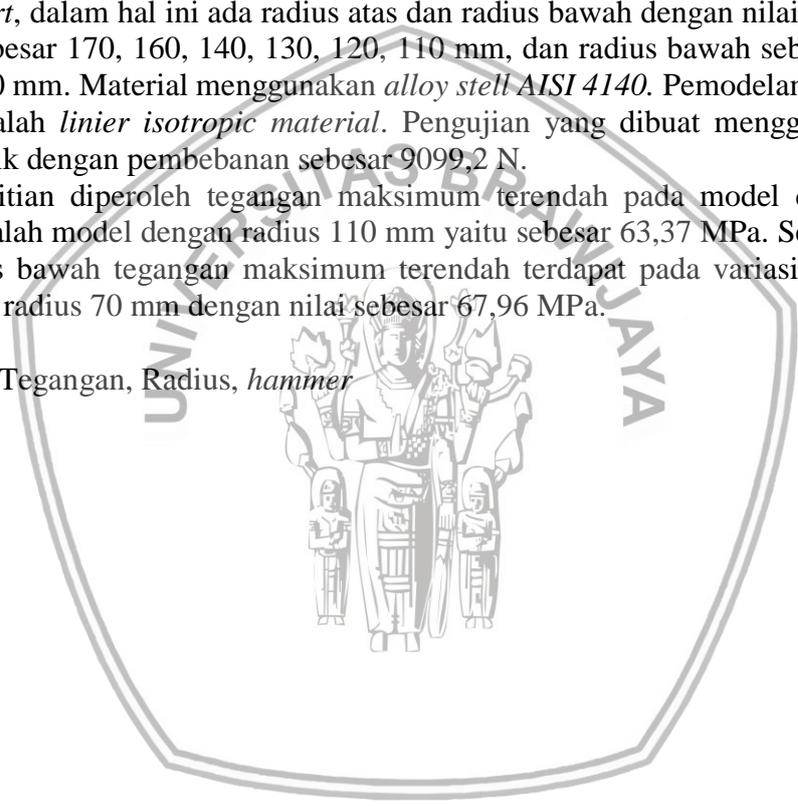
Isfan Appra Adha, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, Analisis Tegangan Pada *Design Hammer Unigrator*, Dosen Pembimbing : Moch. Agus Choiron, Nafisah Arina Hidayati

Hammer unigrator adalah alat produksi yang berfungsi sebagai perusak struktur tebu, dengan membuka sel-sel batang tebu sehingga nira yang terdapat dalam batang tebu dapat diambil dengan sempurna. Bekerja dengan cara memukul dan menghaluskan batang tebu.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi komputer memanfaatkan *software Ansys 14.5*. Sebanyak 12 pemodelan dilakukan untuk memperoleh desain *hammer* yang memiliki nilai tegangan maksimal yang kecil. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah radius kelengkungan *hammer* pada bagian yang berdekatan dengan *support*, dalam hal ini ada radius atas dan radius bawah dengan nilai kelengkungan radius atas sebesar 170, 160, 140, 130, 120, 110 mm, dan radius bawah sebesar 130, 120, 100, 90, 80, 70 mm. Material menggunakan *alloy stell AISI 4140*. Pemodelan material yang digunakan adalah *linier isotropic material*. Pengujian yang dibuat menggunakan model pengujian statik dengan pembebanan sebesar 9099,2 N.

Hasil penelitian diperoleh tegangan maksimum terendah pada model dengan variasi radius atas adalah model dengan radius 110 mm yaitu sebesar 63,37 MPa. Sedangkan pada variasi radius bawah tegangan maksimum terendah terdapat pada variasi radius bawah model dengan radius 70 mm dengan nilai sebesar 67,96 MPa.

Kata Kunci : Tegangan, Radius, *hammer*



SUMMARY

Isfan Appra Adha, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2018, Stress Analysis of Hammer Unigrator Design, Academic Supervisor: Moch. Agus Choiron, Nafisah Arina Hidayati

Hammer Unigrator is a production tool that functions as a destroyer of sugar cane structure, by opening sugarcane stem cells so that the sap contained in sugarcane stems can be taken perfectly. Works by hitting and smoothing sugarcane stems.

The research method used in this research is computer simulation using Ansys 14.5 software. A total of 12 modeling was carried out to obtain a hammer design that has a small maximum voltage value. The variation used in this study is the radius of the curvature of the hammer in the part adjacent to the support, in this case there is an upper radius and a lower radius with a curvature of the upper radius of 170, 160, 140, 130, 120, 110 mm and a lower radius of 130, 120, 100, 90, 80, 70 mm. Material using the AISI 4140 stell alloy. Modeling of the material used is linear isotropic material. Tests made using static testing models with a load of 9099.2 N.

The results of the study obtained the lowest maximum stress on the model with a radius variation above is a model with a radius of 110 mm which is equal to 63.37 MPa. Whereas in the lowest maximum variation of the lower radius there is a variation in the radius under the model with a radius of 70 mm with a value of 67.96 MPa.

Keywords : Stress, Radius, hammer



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gula merupakan suatu karbohidrat sederhana yang banyak diproduksi dalam bentuk sukrosa padat (gula pasir). Gula dihasilkan dari proses pengubahan sari tebu dan diolah lebih lanjut menjadi gumpalan kristal. Pada proses produksi gula terdapat berbagai tahapan diantaranya adalah proses, penimbangan, penggilingan, pemurnian, penguapan, pengkristalan, pemutaran, pengeringan, pendinginan, penyaringan, dan pengemasan. Dari setiap tahapan, proses produksi gula memiliki berbagai macam mesin produksi yang saling terhubung dan berinteraksi yang berguna untuk menjalankan proses tahapan tersebut. Salah satu proses dari tahapan proses produksi gula yang mempunyai beban besar adalah proses penggilingan. Dimana selama musim panen tebu, kapasitas pengolahan tebu untuk menjadi nira bisa mencapai 2,49 ton per tahun (AGI, 2016). Agar mesin-mesin produksi dapat bekerja secara efektif dan efisien maka diperlukan pemeliharaan secara berkala. Pemeliharaan mesin menjadi suatu hal yang penting untuk dilakukan agar proses produksi dapat dilakukan dengan lancar. Pada stasiun gilingan terdapat beberapa unit peralatan diantaranya *monorail crane*, meja tebu, *carrier tebu*, *sensor leveler*, *cane cutter*, *heavy duty hammer shredder* (HDS). Masalah yang sering terjadi pada mesin pencacah tebu adalah tingkat keausan yang sangat cepat akibat faktor kekerasan kulit tebu dan kadar keasaman (PH) air tebu (Edzona, 2018). Dua faktor tersebut yang dapat menyebabkan umur pakai mesin pencacah tebu relatif lebih cepat mengalami keausan. *Hammer HDS* dan *hammer tip HDS* merupakan dua komponen yang paling sering mengalami kerusakan dibanding komponen lainnya (Taufiq, 2014).

Heavy Duty Hammer Shredder (HDHS) atau Unigrator adalah alat yang bekerja untuk menghancurkan tebu dengan cara memotong dan memukul tebu yang masuk, agar menjadi ukuran yang lebih kecil, sehingga mempermudah proses pemerahan nira. Kerusakan pada *hammer unigrator* dapat terjadi pada saat proses penggilingan berlangsung berupa patah dan retak yang disebabkan oleh beban *impact* yang dihasilkan oleh tebu yang masuk pada *hammer unigrator*. Alat ini terletak pada ujung *cane carrier* I dimana ia siap menerima cacahan tebu yang di bawah oleh *cane carrier* untuk di hancurkan. Unigrator terdiri dari pemukul dan *hammer tips* yang berputar pada landasan (PTPN X, 2018).

Untuk memperoleh efisiensi proses penggilingan, maka diperlukan proporsi yang tepat antara jumlah material yang ditumbuk dengan jumlah penumbuknya. Pada penambahan jumlah *hammer* pada mesin penumbuk batu dapat menghasilkan cacahan yang lebih halus. Hal ini didukung oleh permukaan *hammer* yang datar (Shamvardhini, 2017). Pada analisis kegagalan *hammer* penghancur batu parit dihasilkan bahwa pelapisan pada *hammer* diperlukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan. Prosedur ini sesuai untuk menurunkan keausan pada penggilingan material yang keras (Kallel M, 2017). Hal yang harus diperhatikan dari kekuatan *hammer* adalah untuk apa *hammer* itu digunakan dan kapasitas berapa beban yang diterima oleh *hammer* itu sendiri. Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa penambahan jumlah *hammer*, perubahan bentuk dari desain *hammer* dan perlakuan permukaan pada *hammer* bisa meningkatkan jumlah produksi dan kekuatan dari *hammer* itu sendiri. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut tentang *hammer* pada penggilingan tebu (*unigrator*), dimana kerusakan pada salah satu *hammer* akan menghambat proses produksi tebu dan menyebabkan berkurangnya gula yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang diatas maka untuk memperoleh kualitas *hammer* yang bisa mencukupi keperluan produksi diperlukan analisa lebih lanjut mengenai kekuatan dari desain *hammer* yang dalam hal ini digunakan distribusi tegangan pada *hammer unigrator* dan memperbaiki desain yang sudah ada menggunakan *software FEA*. Pada penelitian ini akan dibuat desain *hammer* dengan variasi *radius* kelengkungan dari geometri model *hammer unigrator* agar bisa mengurangi nilai dari tegangan maksimal yang terjadi. Dari penelitian ini diharapkan dapat memperoleh desain *hammer* yang memiliki nilai tegangan maksimal yang rendah dan bisa menjadi acuan bagi penggunaan *hammer* di pabrik gula yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh modifikasi *radius* geometri lengan pada desain *hammer unigrator* terhadap besarnya tegangan maksimal ?
2. Bagaimana distribusi tegangan pada desain *hammer unigrator*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini digunakan agar penelitian yang dilakukan tidak melebar dari rumusan masalah. Batasan masalah tersebut antara lain:

1. Model geometri *hammer unigrator* berdasarkan model desain dari PTPN X.
2. Modifikasi geometri lengan dilakukan dengan bervariasi radius kelengkungan pada *hammer unigrator*
3. Material yang digunakan adalah *Alloy Steel AISI4140*
4. Pengujian menggunakan *software Ansys 14.5* dengan pemodelan statik.

1.4 Tujuan Penelitian

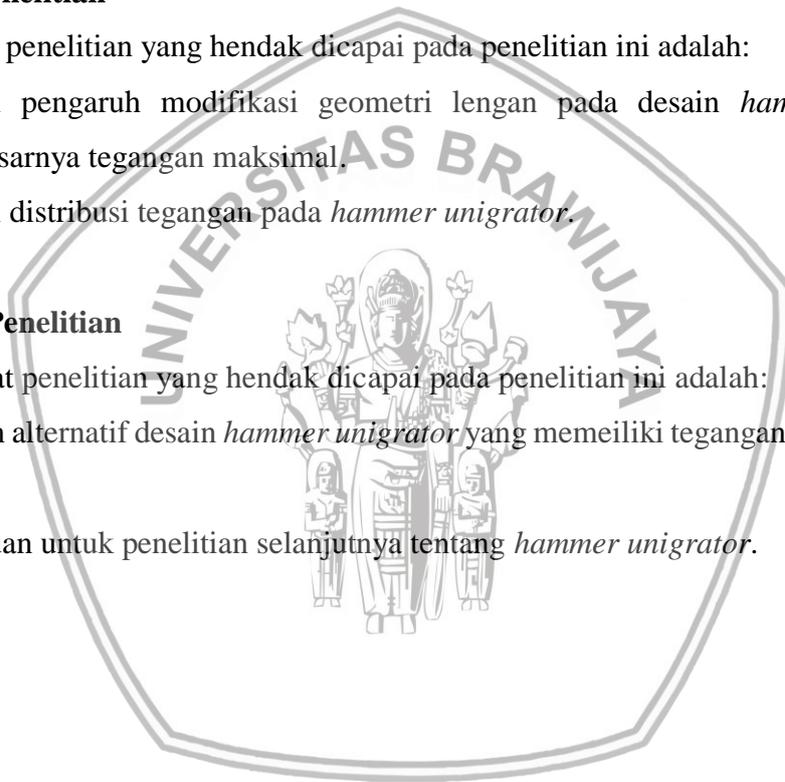
Tujuan penelitian yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh modifikasi geometri lengan pada desain *hammer unigrator* terhadap besarnya tegangan maksimal.
2. Mengetahui distribusi tegangan pada *hammer unigrator*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif desain *hammer unigrator* yang memiliki tegangan maksimal yang rendah.
2. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya tentang *hammer unigrator*.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

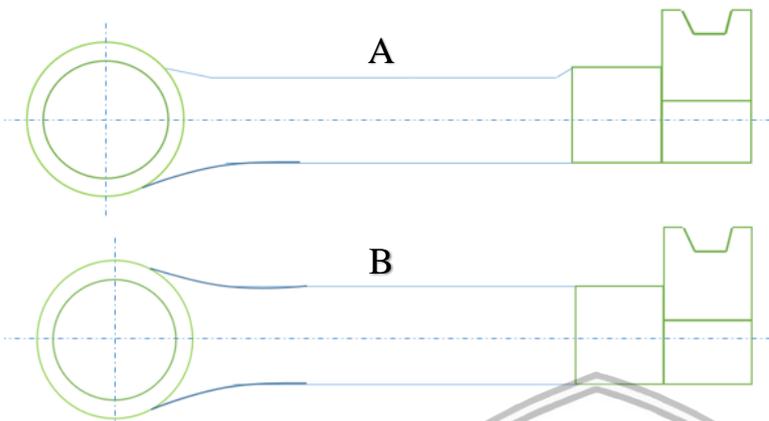
2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada stasiun gilingan pabrik gula terdapat beberapa unit peralatan untuk mencacah tebu diantaranya *Monorail crane*, Meja tebu, *Carrier tebu*, *Sensor leveler*, *Cane Cutter 1*, *Cane Cutter 2*, dan *Heavy Duty Hammer Shredder* (HDS). Diantara unit-unit tersebut, terdapat mesin yang memiliki kontribusi sebesar 36% dalam *downtime* di stasiun gilingan, yaitu mesin HDS. *Hammer* HDS dan *hammer tip* HDS merupakan dua komponen yang terdapat pada mesin HDS dan paling sering mengalami kerusakan dibanding komponen lainnya. (Taufiq, 2014) Pada saat proses penggilingan masalah yang sering terjadi pada mesin pencacah tebu adalah tingkat keausan yang sangat cepat akibat faktor kekerasan kulit tebu dan kadar keasaman (PH) air tebu (Edzona, 2018). Dua faktor tersebut yang dapat menyebabkan umur pakai mesin pencacah tebu relatif lebih cepat mengalami keausan.

Ilmi (2017) melakukan modifikasi desain dan geometri *tube torsion bar suspension unit* untuk Panser Anoa 6x6 hasil dengan mengurangi radius fillet dan diameter dari desain awal mampu mengurangi tegangan kritis sebesar 1.2% dimana tegangan tertinggi berada di angka 777.5 MPa. Sedangkan dengan pengurangan diameter dalam secara rata-rata mampu mengurangi tegangan kritis sebesar 2.3%, dimana tegangan tertinggi berada di angka 769.6 MPa. Sedangkan pada kombinasi radius fillet dan diameter dalam secara rata-rata mampu mengurangi tegangan kritis sebesar 6.16% dengan tegangan tertinggi yaitu 739.2 MPa.

(Rockfield Sugar Industry Capabilities, 2016) Agar dapat melakukan perbaikan desain *hammer* ketika mengalami kerusakan maka diperlukan pemahaman kondisi operasi lapangan dan kondisi pembebanan, selain itu macam-macam desain palu, pengaturan *shredder*, dan memastikan batasan desain diperlukan agar dapat menginformasikan rekomendasi perbaikan desain. Pendekatan dilakukan dengan analisa elemen hingga area rentang gerak dari desain yang dibuat. Hasil yang diharapkan yaitu diperolehnya desain *hammer* terstandarisasi dan memiliki ketahanan lelah yang tinggi. Pada gambar 2.1 ditunjukkan desain original dari *hammer* yang pada lengannya memiliki sudut dan gambar dibawahnya adalah desain modifikasi yang bisa dilakukan dengan merubah sudut tersebut menjadi *arc* yang memiliki jari-jari yang tujuannya untuk meminimalisasikan terjadinya

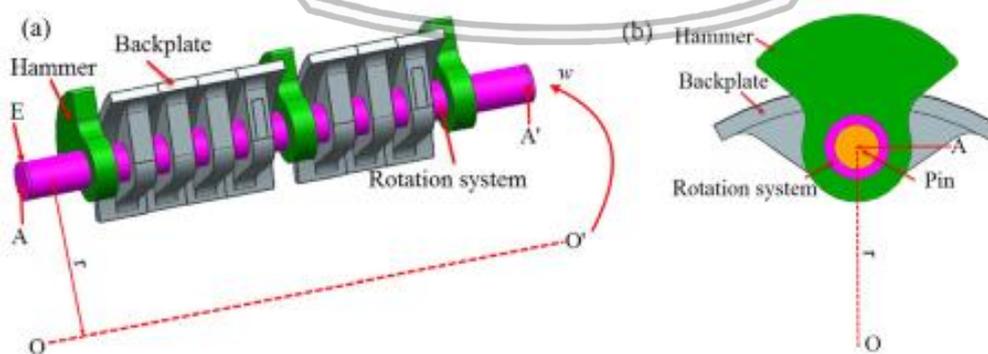
kerusakan. Dari sini kita dapat memvariasikan *radius* kelengkungan geometri *hammer unigrator*



Gambar 2.1 Bagian *hammer* yang divariasikan, A = desain original, B = desain modifikasi
Sumber: *Rockfield Sugar Industry Capabilities*(2016)

Cahyo (2006) mengatakan bahwa di stasiun gilingan pada pabrik gula terdapat mesin kritis pada unit stasiun gilingan tersebut yaitu *cane cutter*, *hammer unigrator*. Hal ini diketahui melalui pertimbangan beberapa aspek yaitu, pengaruh kegagalan terhadap pencapaian target produksi, dan resiko keselamatan kerja terhadap biaya perawatan yang akan ditimbulkan.

Posisi yang berbeda dari pin yang berputar di sekitar poros utama pada interval yang berbeda ditunjukkan di saat-saat 0.225 detik, 0.25 detik, 0.275 detik dan 0.3 detik, pin berada pada 0° , 90° , 180° , dan 270° dari poros utama masing-masing tegangan maksimum terjadi pada 0° dari pin yang dibuat pada 270° dari poros utama. Selain itu, tekanan pada pin lebih tinggi pada 0° dari poros utama dari pada posisi lain (Xianyan Zhou, 2015).

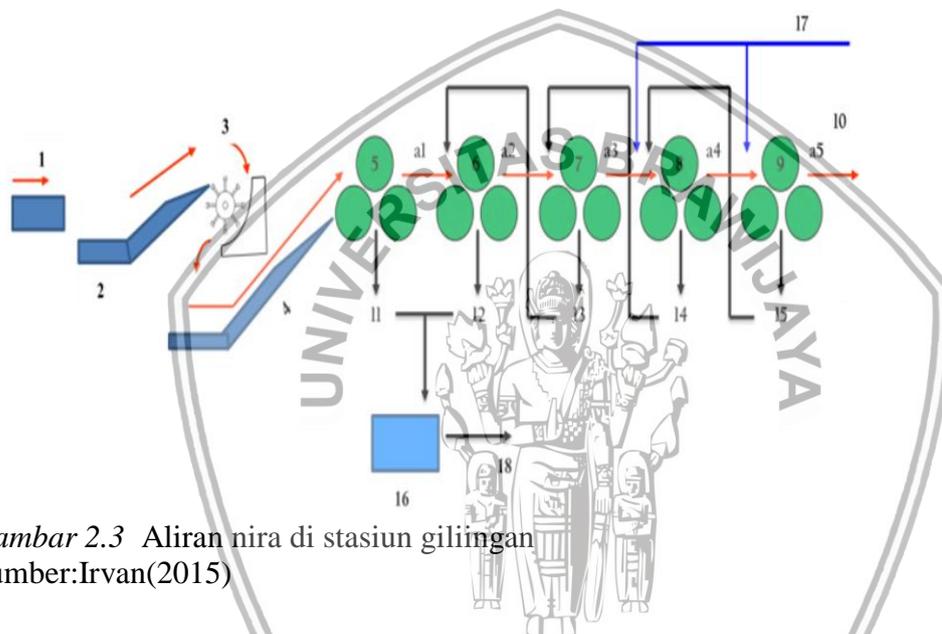


Gambar 2.2 Pin pada *sharded hammer*
Sumber: Xianyan Zhou (2015)

2.2 Stasiun Penggilingan (Pemerahan Nira)

Tujuan utama stasiun pemerahan nira yaitu untuk mendapatkan nira mentah sebanyak mungkin atau memisahkan nira dari ampas tebu dengan cara digiling. Didalam pemerahan ini perlu ditambahkan air imbibisi agar kandungan gula yang masih ada didalam ampas akan larut, sehingga ampas akhir diharapkan mengandung kadar gula serendah mungkin.

Stasiun pemerahan nira melakukan 2 perlakuan yaitu perlakuan pendahuluan (preparasi) dan perlakuan pemerahan. Stasiun pemerahan nira dibagi menjadi 2 bagian, yaitu alat preparasi dan alat pemerah nira.



Gambar 2.3 Aliran nira di stasiun gilingan
Sumber: Irvan(2015)

Keterangan Gambar

- | | |
|------------------------|-------------------------------------|
| 1. Meja tebu | 12. Nira gilingan II |
| 2. <i>Cane carrier</i> | 13. Nira gilingan III |
| 3. <i>Unigrator</i> | 14. Nira gilingan IV |
| 4. Elevator | 15. Nira gilingan V |
| 5. Gilingan I | 16. Nira mentah ke saringan getar |
| 6. Gilingan II | 17. Air imbibisi murni |
| 7. Gilingan III | 18. Nira mentah ke stasiun gilingan |
| 8. Gilingan IV | A1. <i>carrier I</i> |
| 9. Gilingan V | A2. <i>carrier II</i> |
| 10. Ampas ke ketel | A3. <i>carrier III</i> |
| 11. Nira gilingan I | A4. <i>carrier IV</i> |

2.2.1 Alat Preparasi

1. *Cane Crane*

Alat yang berfungsi untuk membongkar tebu dari truk atau dengan cara mengangkat tebu tersebut dan meletakkannya di *cane table*. Penggerak utama *cane crane* adalah motor

listrik dan dioperasikan oleh operator, berkapasitas masing-masing 10 ton yang beroperasi bergantian.



Gambar 2.4 Cane crane
Sumber : Nirbhay Industries (2018)

2. Meja Tebu (*Cane Table*)

Alat ini berfungsi untuk menampung dan mengatur tebu masuk ke *cane crane*. Meja tebu dilengkapi dengan rantai penggerak yang digerakkan oleh motor listrik. Dalam meja tebu terdapat perata tebu (*leveler*) yang berfungsi agar jatuhnya tebu ke *cane carrier* tidak terlalu banyak (tetap stabil). Dalam meja tebu terdapat rantai dan cakar/pengait yang berfungsi untuk membuat tebu bergerak dan jatuh ke arah *cane carrier*.



Gambar 2.5 Cane table
Sumber: Indra Alfiandi (2014)

3. *Cane Carrier*

Tebu dari *cane table* selanjutnya dijatuhkan ke *cane carrier* untuk di bawa ke *cane cutter*. *Cane carrier I* berfungsi untuk membawa tebu utuh dari *cane table*, sedangkan *cane carrier II* berfungsi untuk membawa tebu yang telah melewati *cane cutter* dan unigrator menuju unit gilingan.



Gambar 2.6 Cane carrier

Sumber: Indra Alfiandi (2014)

4. Pisau Tebu (*Cane Cutter*)

Alat ini berfungsi untuk mencacah tebu menjadi bagian yang lebih kecil agar sel-selnya terbuka sehingga memudahkan proses penggilingan. *Cane cutter I* memiliki 56 buah mata pisau dengan jarak 25 cm dari *carrier* dan *cane cutter II* memiliki 80 buah mata pisau dengan jarak 30 cm dari *carrier*. Tebu dipotong dan dicacah di dalam *cane cutter* dengan kecepatan putar sekitar 600 rpm, bergantung pada jumlah dan jenis tebu yang masuk.

Mekanisme kerja alat ini yaitu putaran proses *cane cutter* yang diteruskan ke piringan baja sehingga dapat berputar. Pada ujung piringan baja terdapat pisau dan pada saat berputar pisau akan memotong dan menyayat tebu menjadi cacahan yang mempunyai ukuran kurang lebih sama, sehingga sel-sel tebu menjadi terbuka dan akan lebih mudah untuk diambil niranya. Arah putaran *cane cutter* berlawanan dengan arah *cane carrier*.



Gambar 2.7 Cane cutter

Sumber: National Sugar Mill Part (2018)

5 Unigrator atau *Heavy Duty Hammer Shredder (HDHS)*

Karena sifat tebu masih kasar, maka tebu perlu dihaluskan lagi dengan HDHS yang sifatnya sama dengan penumbuk dan pemotong yang bekerja secara bersamaan dengan cara memotong dan memukul tebu yang masuk, sehingga menjadi ukuran yang lebih kecil. Hal

ini bertujuan untuk mempermudah proses pemerahan nira. Putaran HDHS sebesar 950 rpm. HDHS (*Heavy Duty Hammer Shredder*) digerakkan oleh turbin dengan kecepatan putar 907 rpm dan tekanan 7, 8 kgf/cm².



Gambar 2.8 *Heavy Duty Hammer Shredder (HDHS)*
Sumber: Sugar Bio Energy (2018)

2.2.2 Alat Pemerah Nira

1. Gilingan

Tujuan alat pemerah nira atau gilingan adalah untuk pemerah nira, memisahkan dengan sabut tebu dengan cara penekanan diantara rol-rol gilingan. Hasil pemerahan nira dari setiap unitnya menunjukkan kemurnian yang berbeda-beda, dimana semakin kebelakang kemurniannya semakin rendah.

Pemerahan nira dapat dibedakan menjadi:

- Pemerahan kering (*dry crushing*) pada gilingan gilingan I
- Pemerahan basah (*wet crushing*) pada gilingan berikutnya

Pada pemerahan basah dimana pemerah nira dari bagian yang sulit diperah, maka dengan bantuan air imbibisi diusahakan nira tebu yang terperah bisa maksimal. Keberhasilan pemerahan dari gilingan I akan mempengaruhi keberhasilan gilingan berikutnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pada proses pemerahan nira yaitu:

- a. Hasil kerja alat preparasi dalam membuka sel-sel tebu
- b. Tekanan hidrolis dan kecepatan rol gilingan
- c. Kadar sabut tebu
- d. Pencampuran, jumlah dan suhu air imbibisi



Gambar 2.9 Stasiun penggilingan
Sumber: Indra Alfiandi (2014)

Setelah tercacah, tebu dibawa ke dalam gilingan oleh *cane carrier II* dengan kecepatan putar 1350 rpm. Ada 5 set rol gilingan dengan kapasitas giling yang terpasang 15.000 ton/hari. Tekanan steam yang masuk untuk menggerakkan gilingan 18-22 kgf/cm². Tiap set rol gilingan terdiri atas 3 rol gilingan yaitu rol depan, rol belakang, dan rol atas serta dilengkapi dengan rol pengumpan. Setiap ampas atau sabut tebu yang melewati unit gilingan akan terperah 2 kali yaitu pada rol atas dan rol depan serta pada rol atas dan rol belakang.

Nira yang keluar dari gilingan I dan II dipompa menuju saringan nira mentah, ditampung kemudian dialirkan menuju penampung nira mentah (*raw juice tank*) dengan *flowrate* sebesar 399 m³/jam, nira hasil gilingan I dan II dilewatkan ke DSM dan di alirkan ke tangki nira mentah yang selanjutnya dibawa ke pos pemurnian, sedangkan ampas yang tertahan di saringan akan dikembalikan ke gilingan I. Kecepatan putar pada gilingan I berkisar 4000 rpm dengan tekanan 11.2 kgf/cm². Lalu ampas tersebut diangkut dengan menggunakan *intermediet carrier* menuju gilingan II dan dibasahi dengan nira gilingan III. Pada gilingan II memiliki kecepatan putar berkisar 4200 rpm dengan tekanan 11-14 kgf/cm². Kemudian ampas gilingan II diangkut dengan menggunakan *intermediet carrier* menuju gilingan III dan dibasahi dengan nira gilingan IV serta air inbibisi dengan suhu 70 °C. Tujuan pemberian air inbibisi adalah untuk melarutkan kandungan gula pada ampas, sehingga ampas akhir diharapkan mengandung gula serendah mungkin. Bila suhu terlalu tinggi, maka akan dapat merusak alat dan dapat melarutkan getah lilin yang terkandung dalam tebu. Pada gilingan III memiliki kecepatan putar berkisar 4300 rpm dengan tekanan 13, 8 kgf/cm². Lalu ampas tersebut diangkut dengan menggunakan *intermediet carrier* menuju gilingan IV dan dibasahi dengan nira gilingan V serta air inbibisi dengan suhu 70 °C. Pada gilingan IV memiliki kecepatan putar berkisar 4400 rpm dengan tekanan 11-14 kgf/cm². Terakhir ampas tersebut diangkut dengan menggunakan *intermediet carrier*

menuju gilingan V dan dibasahi dengan air inbibisi dengan suhu 70 °C. Pada gilingan V memiliki kecepatan putar berkisar 4500 rpm dengan tekanan 11-14 kgf/cm².

Nira yang keluar dari gilingan III-V ditambahkan susu kapur pada talang nira yang akan masuk ke saringan nira dengan tujuan mengurangi *inverse* sukrosa, serta dapat mengurangi korosi pada gilingan. Ampas dari gilingan akhir dikirim ke stasiun ketel dengan menggunakan *main carrier*. Ampas ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar di stasiun ketel untuk menghasilkan uap.

2. Alat Pembantu

a. *Intermediate Carrier*

Alat ini berfungsi sebagai pembawa ampas dari gilingan yang satu ke gilingan berikutnya dan sebagai alat pengumpan.

b. Alat pembantu penekan gilingan (Hidrolik)

Alat ini berfungsi untuk memeriksa tekanan pada rol gilingan atas pada saat melakukan pemerahan, sehingga tekanan yang diberikan gilingan pada ampas tetap konstan. Alat yang digunakan di PG Kebon Agung adalah akumulator gas.

c. Plat ampas

Alat ini berfungsi untuk mengantarkan ampas dari bukaan kerja depan ke belakang, sehingga ampas tidak jatuh terikut bersama nira. Alat ini terpasang antara rol depan dengan belakang.

d. *Juice strainer*

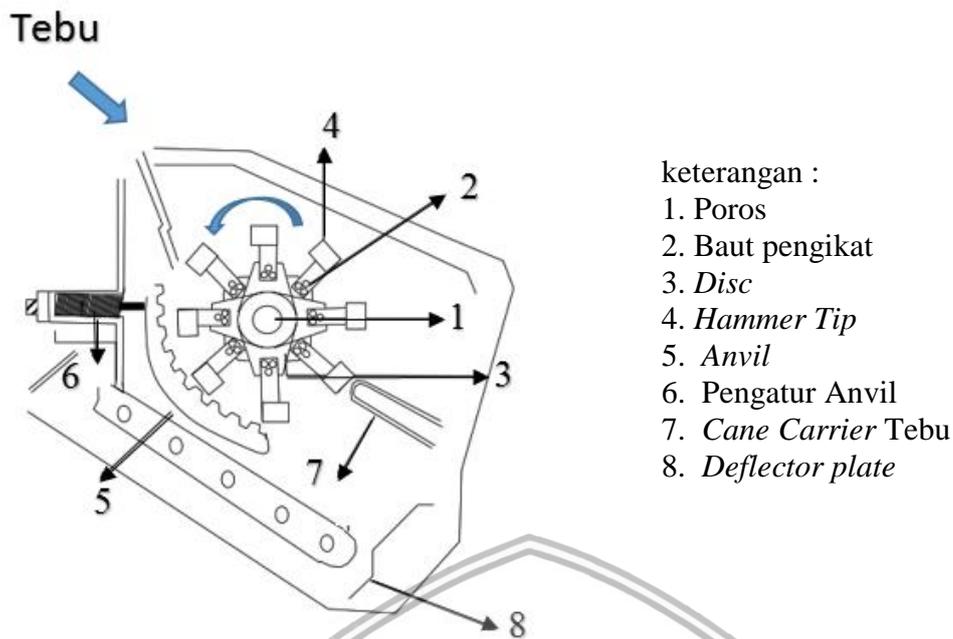
Alat ini berfungsi untuk memisahkan nira dan ampas halus yang terbawa bersama nira pada gilingan I dan II. Kemudian membawa kembali ampas halus yang tersaring ke gilingan I.

e. *Main Carrier*

Alat ini berfungsi sebagai pembawa ampas dari gilingan akhir menuju stasiun ketel.

2.2.3 *Hammer Unigrator*

Alat ini berfungsi sebagai perusak struktur tebu, membuka sel-sel batang tebu sehingga nira yang terdapat dalam batang tebu dapat diambil dengan sempurna. Bekerja dengan cara memotong, memukul dan menghaluskan batang tebu.



keterangan :

1. Poros
2. Baut pengikat
3. Disc
4. Hammer Tip
5. Anvil
6. Pengatur Anvil
7. Cane Carrier Tebu
8. Deflector plate

Gambar 2.10 Unigrator
Sumber: Irvan (2015)

Fungsi bagian:

1. Poros : Bagian yang berhubungan dengan elektromotor sebagai pusat perputaran
2. Baut pengikat : Baut untuk mengikat/menempelkan pisau
3. Disc : Tempat diikatnya/ditempelkannya pisau
4. Hammer tip : Bagian yang berfungsi memukul-mukul tebu sehingga selnya terbuka
5. Anvil : Jarak antara hammer dengan dasar
6. Pengatur anvil : Pengatur jarak anvil
7. Cane carrier tebu : Carrier untuk membawa/menggerakkan tebu
8. Deflector plate : Untuk mengatur agar serpihan tebu mengikuti arah putaran dari hammer

Saat tebu masuk ke dalam unigrator, dan ditumbuk oleh *hammer* sehingga menyebabkan sel-sel tebu terbuka, akibat dari hal ini *hammer* mengalami tegangan dari hasil penumbukan tebu, dan bisa menyebabkan *hammer* mengalami kegagalan. Dan kebanyakan kegagalan terjadi biasanya pada bagian *hammer* yang dekat dengan poros.

2.3 Analisis Tegangan dan Regangan

2.3.1 Gaya

Gaya merupakan interaksi benda yang memiliki massa mengalami perubahan gerak, dalam bentuk arah atau konstruksi geometri, atau gaya yang dihasilkan dari diri beban yang bekerja pada suatu batang atau struktur. Gaya dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$F = m \cdot g \quad (2-1)$$

Keterangan:

F = Gaya (N)

m = Massa (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.3.2 Tegangan

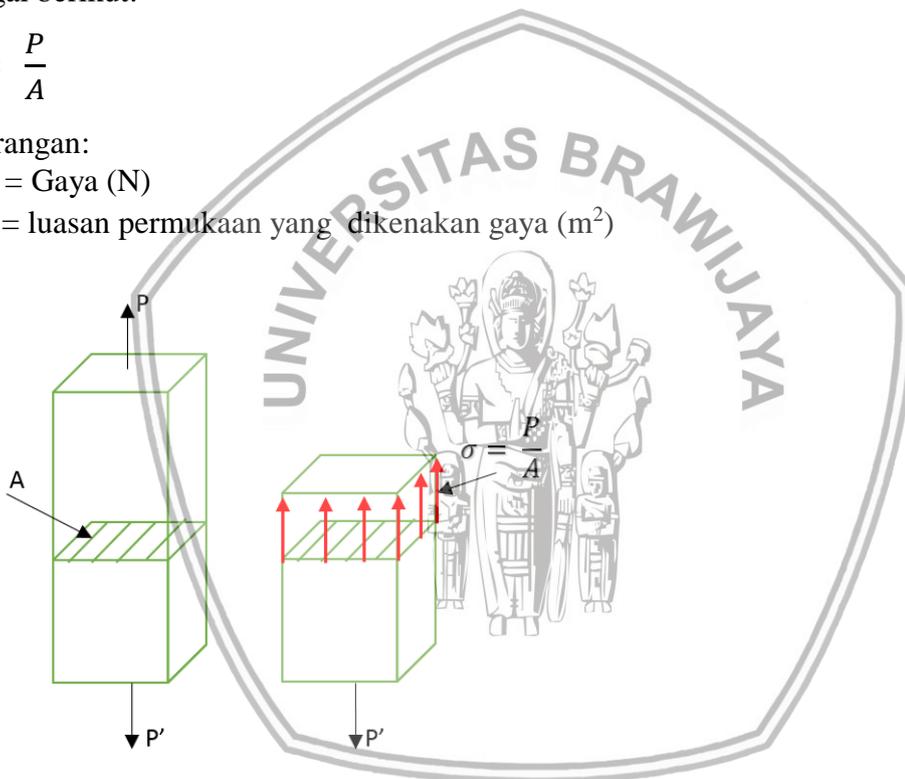
Secara sederhana tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satu satuan luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya, dimana gaya bekerja tegak lurus dengan permukaan benda. Secara matematis definisi tegangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-2)$$

Keterangan:

P = Gaya (N)

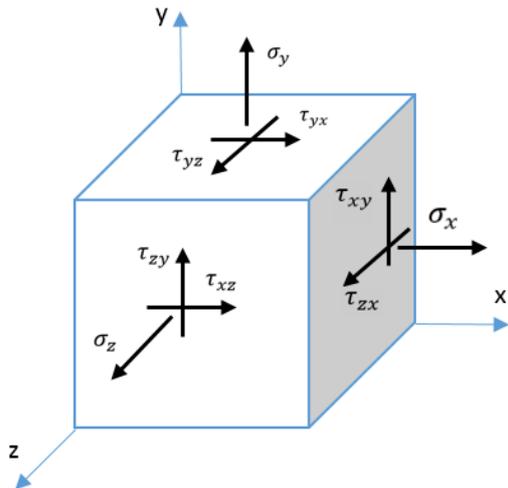
A = luasan permukaan yang dikenakan gaya (m^2)



Gambar 2.11 Tegangan

Sumber: Mechanics of Materials (2012,p.7)

Tegangan dibagi menjadi dua macam, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja secara tegak lurus pada permukaan benda. Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan permukaan benda. Dalam kasus tegangan tiga dimensi, sebuah elemen tegangan akan mengalami tegangan-tegangan normal pada semua permukaannya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12. Tegangan-tegangan geser memiliki dua buah indeks bawah, dimana yang pertama menunjukkan bidang tegangan bekerja dan yang kedua mengidentifikasi arahnya dalam bidang tersebut.



Gambar 2.12 Komponen tegangan
 Sumber: Endi (2011)

2. 3. 3 Regangan

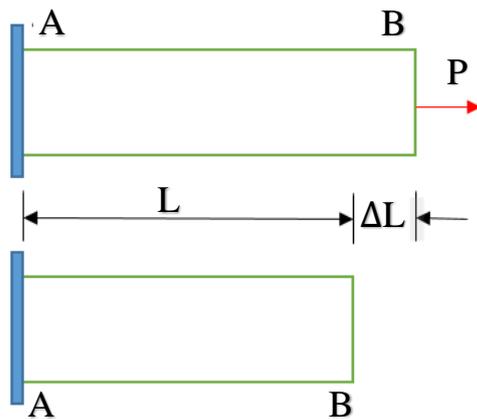
Regangan adalah besaran yang menyatakan suatu perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal dari suatu material, berikut adalah persamaan matematis untuk regangan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{2-3}$$

Keterangan:

- ϵ = Regangan (m/m)
- ΔL = Perubahan panjang (m)
- L_0 = Panjang awal (m)





Gambar 2.13 Regangan

Sumber: Mechanics of Materials (2012,p.55)

2. 3. 4 Modulus Elastisitas

Hubungan antara tegangan dan regangan yang dinyatakan dalam modulus elastisitas secara matematis dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2-4)$$

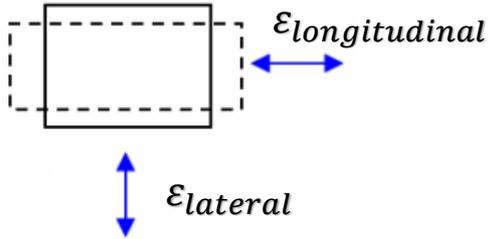
Keterangan :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan (m/m)

Dalam hubungan antara tegangan dan regangan, selain modulus elastisitas terdapat parameter lain yang sangat penting yaitu angka poisson (*poisson ratio*). Angka poisson adalah angka perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder, E. J. and Witzak, M.W, 1975). Berikut adalah persamaan matematis dan ilustrasi gambar untuk angka poisson:



Gambar 2.14 Ilustrasi angka poisson
 Sumber: Mechanics of Materials (2012,p.104)

Persamaan matematis untuk angka poisson :

$$\nu = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_v} \quad (2-5)$$

Keterangan:

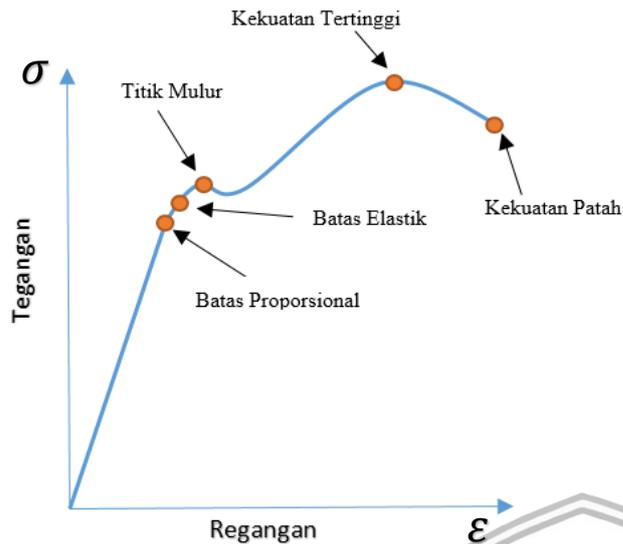
ν = Angka Poisson (*non-dimensional*)

ϵ_h = Regangan Horizontal (m/m)

ϵ_v = Regangan Vertikal (m/m)

Dengan adanya angka poisson, modulus elastisitas dapat dibagi menjadi tiga macam, mereka adalah Modulus Young, Modulus Geser, dan Modulus Bulk.

Modulus Young adalah modulus elastisitas secara umum dimana penggunaan regangan hanya pada satu dimensi saja yaitu regangan panjang. Modulus Young disebut juga dengan modulus tarik (bahasa Inggris: *tensile modulus* atau *elastic modulus*), yaitu ukuran kekakuan suatu bahan elastis yang merupakan ciri dari suatu bahan. Modulus Young didefinisikan sebagai rasio tegangan dalam sistem koordinat Kartesius terhadap regangan sepanjang aksis pada jangkauan tegangan di mana hukum Hooke berlaku. Dalam mekanika benda padat, kemiringan (*slope*) pada kurva tegangan-regangan pada titik tertentu disebut dengan modulus tangen. Modulus tangen dari kemiringan linear awal disebut dengan modulus Young. Nilai modulus Young bisa didapatkan dalam eksperimen menggunakan uji kekuatan tarik dari suatu bahan. Pada bahan anisotropis, modulus Young dapat memiliki nilai yang berbeda tergantung pada arah di mana bahan diaplikasikan terhadap struktur bahan. Modulus Young adalah penggambaran modulus elastis yang paling umum



Gambar 2.15 Diagram tegangan-regangan uji tarik logam
Sumber: Perancangan Teknik Mesin (1986,p.172)

2. 3. 5 Momen

1. Momen Gaya

Momen gaya atau torsi adalah keefektifan sebuah gaya yang bekerja pada suatu benda untuk memutar benda tersebut terhadap suatu titik poros tertentu. Torsi (momen gaya) sama dengan gaya pada gerak translasi. Torsi menunjukkan kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi. Torsi didapat dari hasil kali antara gaya dan lengan gaya dikenal dengan julukan torsi atau momen gaya. Secara matematis :

$$\tau = F \times L \quad (2-6)$$

$L = r \sin \theta$ maka torsi juga bisa dirumuskan :

$$\tau = F \times r \sin \theta \quad (2-7)$$

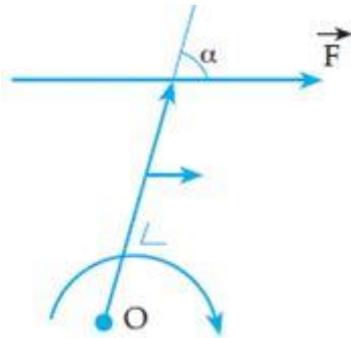
Keterangan:

τ = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Lengan momen (m)

θ = Sudut antara gaya dan lengan gaya



Gambar 2.16 Momen gaya

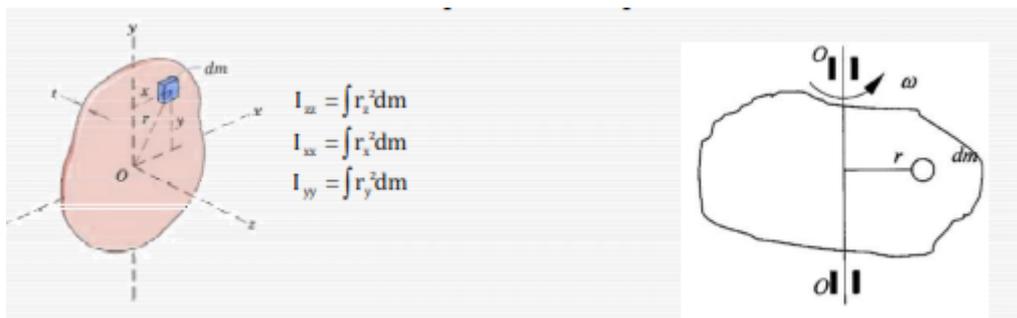
Sumber: Zurrotul Faridah

2. Momen Inersia

Setiap benda memiliki kuantitas yang mewakili keadaan benda tersebut. Massa suatu benda mewakili kelembaman benda ketika benda bergerak translasi. Pada saat benda bergerak rotasi massa tidak lagi mewakili kelembaman benda, karena benda yang bergerak rotasi terkait dengan suatu pros tertentu yang mana keadaan ini tidak dapat diabaikan. Keadaan ini mengharuskan adanya suatu kuantitas baru yang mewakili kelembaman benda yang bergerak rotasi. Besaran yang mewakili kelembaman benda yang bergerak rotasi dimakan momen inersia (momen kelembaman) dan dilambangkan dengan (I).

Pernyataan untuk momen inersia muncul dari analogi hukum newton kedua untuk gerak rotasi. Momen inersia adalah perkalian massa dengan kadrat jarak benda ke poros. Persamaan ini dapat diperluas untuk sistem benda yang berotasi maupun untuk benda dengan bentuk tertentu.

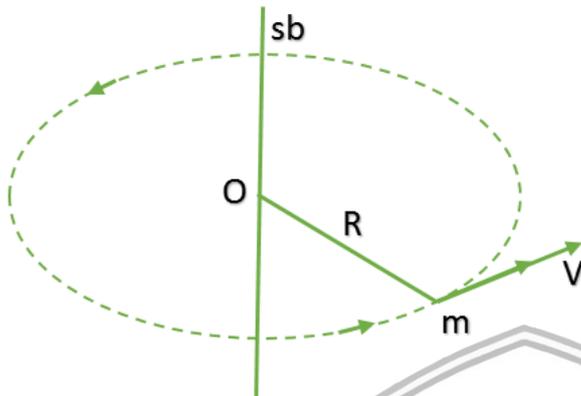
Momen inersia massa adlah hambatan dari suatu benda terhadap percepatan sudut. Momen inersia massa tergantung pada massa benda, bentuk benda dan ukuran benda.



Gambar 2.17 Momen inersia massa terhadap sumbu tetap

Sumber: F.Amri Ristadi

Dalam titik partikel terdapat massa (m) yang melakukan gerak rotasi pada sumbu jari jari (R). Untuk memahami mengenai rumus inersia, dapat melihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.17 Momen inersia
Sumber: Rivaldy Adiningtyas (2016)

Berdasarkan gambar 2.17 dapat peroleh momen inersia yang ditunjukkan dengan perkalian massa dengan jarak kuadrat menuju sumbu putar (jari jari/ R). Dengan begitu diperoleh rumus momen inersia yaitu:

$$I = m \times r^2 \quad (2-8)$$

Keterangan::

I = Momen inersia (kg. m²)

m = Massa partikel (kg)

r = Jari-jari rotasi (m)

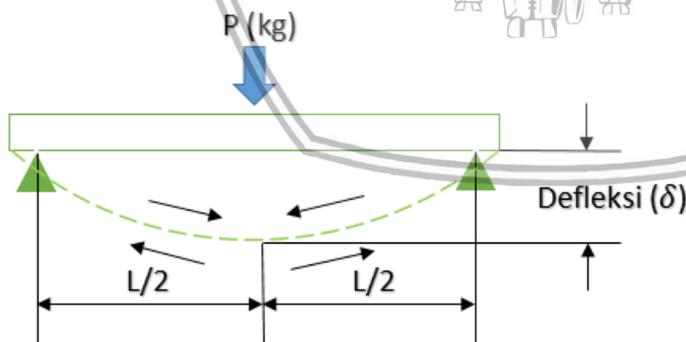
Selain rumus momen inersia diatas, ada pula *Gambar 2.18* tabel momen inersia untuk benda benda yang bentuknya teratur dan berotasi pada sumbu tertentu. Berikut penjelasan dan rumusnya:

AREAS AND MOMENTS OF INERTIA OF AREAS AROUND CENTROIDAL AXES	
<p>RECTANGLE</p> <p>$A = bh$ $I_o = bh^3/12$</p>	<p>CIRCLE</p> <p>$A = \pi R^2$ $I_o = I_p/2 = \pi R^4/4$</p>
<p>TRIANGLE</p> <p>$A = bh/2$ $I_o = bh^3/36$</p>	<p>SEMICIRCLE</p> <p>$A = \pi R^2/2$ $I_o = 0.110R^4$</p>
<p>THIN TUBE</p> <p>$A = 2\pi R_{avg}t$ $I_o = I_p/2 \approx \pi R_{avg}^3t$</p>	<p>HALF OF THIN TUBE</p> <p>$A = \pi R_{avg}t$ $I_o \approx 0.095\pi R_{avg}^3t$</p>

Gambar 2.18 Tabel momen inersia penampang
Sumber: Mekanika Bahan (1997,p.441)

2. 4 Teori Uji Bending/Lengkung Tekan

Untuk mengetahui kekuatan bending suatu material dapat dilakukan dengan pengujian bending terhadap material tersebut. Kekuatan bending atau kekuatan lengkung adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan.



Gambar 2.19 Skematis Uji Bending/Lengkung Tekan
Sumber: Mekanika Bahan (1997,p.292)

Pada pengujian bending terjadi defleksi yang menyebabkan momen timbul pada tumouan, arah momen menunjukkan sumber beban, bagian atas spesimen akan mengalami penekukan ke dalam sehingga menderita tegangan tekan sedangkan pada spesimen bagian bawah akan mengalami tarikan keluar sehingga menderita tegangan tarik. Hal ini

menyebabkan deformasi lengkungan sesuai dengan arah pembebanan. Lengkungan yang terjadi pada struktur yang mengalami tegangan bending diawali dengan didapatnya nilai radius kelengkungan struktur

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad (2-9)$$

Dimana κ adalah kelengkungan struktur dan ρ adalah radius kelengkungan dari struktur. Ketika struktur mengalami deformasi maka disana terjadi regangan dengan rumus.

$$\varepsilon = -\frac{y}{\rho} = -\kappa y \quad (2-10)$$

Dimana ε adalah regangan normal yang terjadi pada struktur. Tanda negatif (-) menunjukkan nilai kelengkungan positif dan menyebabkan nilai tegangan menjadi negatif. Ketika membahas regangan itu akan selalu berkaitan dengan tegangan yang terjadi pada struktur seperti rumus dibawah ini

$$\sigma = E\varepsilon = -\frac{Ey}{\rho} = -E\kappa y \quad (2-11)$$

Dimana σ adalah tegangan normal dan E adalah modulus elastisitas. Jika pada struktur tersebut terdapat momen maka rumus yang digunakan dimulai dari kelengkungan dan modulus elastisitas yang merupakan kostanta yang bukan nol di suatu penampang struktur, maka keduanya tidak dilibatkan dalam proses integrasi daerah penampang melintang, yang dapat dituliskan dengan

$$\int_A y dA = 0 \quad (2-12)$$

Dimana y adalah jarak elemen dari sumbu netral, dan penampang selalu berhubungan dengan inersia dengan rumus seperti persamaan 2.13

$$I = \int_A y^2 \quad (2-13)$$

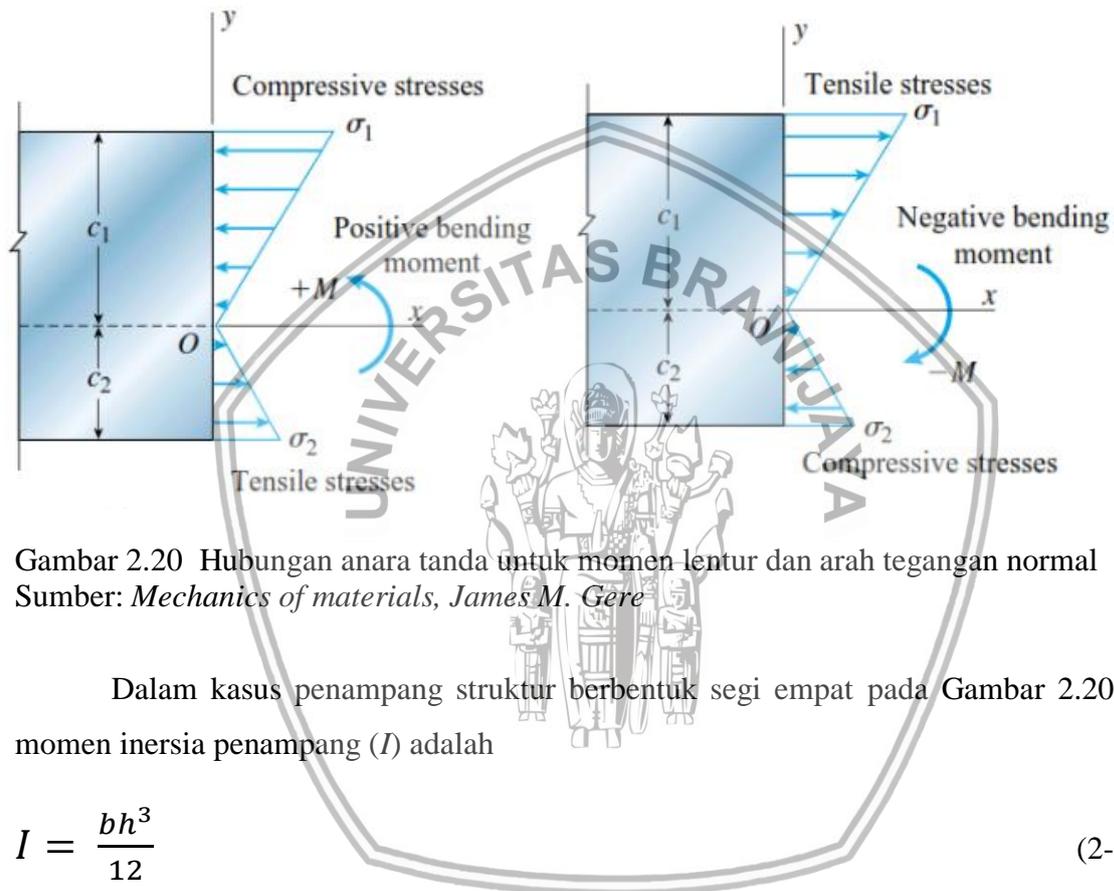
Dimana I adalah momen inersia Dan dapat disusun kembali untuk menyatakan kelengkungan dan momen lentur dan disebut momen kelengkungan.

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2-14)$$

Dalam menentukan tegangan yang dinyatakan dalam momen lentur, di dapat dengan memasukkan (Pers.2-14) ke dalam rumus tegangan (Pers.2-11) maka diperoleh (Pers.2-15). Jika momen bending disuatu balok adalah positif, maka tegangan bending akan positif pula (tarik) di bagian bawah penampang, dimana y bernilai negatif karna lebih mengarah ke bagian bawah balok. Hal ini berakibat tegangan di bagian atas balok menjadi negatif (tekan).

Jika momen bending adalah negatif, maka tegangan yang terjadi akan sebaliknya. Nilai y menjadi positif karena mengarah keluar atau bagian atas balok. Hal ini menyebabkan bagian atas balok menderita tegangan tarik dan bagian bawah mengalami tegangan tekan. Hubungan ini ditunjukkan oleh Gambar 2.19 dibawah.

$$\sigma_b = \frac{M.y}{I} \quad (2-15)$$



Gambar 2.20 Hubungan antara tanda untuk momen lentur dan arah tegangan normal
Sumber: *Mechanics of materials, James M. Gere*

Dalam kasus penampang struktur berbentuk segi empat pada Gambar 2.20, nilai momen inersia penampang (I) adalah

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (2-16)$$

Sehingga tegangan bending yang berlaku

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2-17)$$

Modulus elastisitas bending :

$$E_b = \frac{PL^3}{4bd^3\delta} \quad (2-18)$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan bending (Pa)

I = Momen inersia luas (m^4)

P = Beban (N)

E_b = Modulus elastisitas bending (Pa)

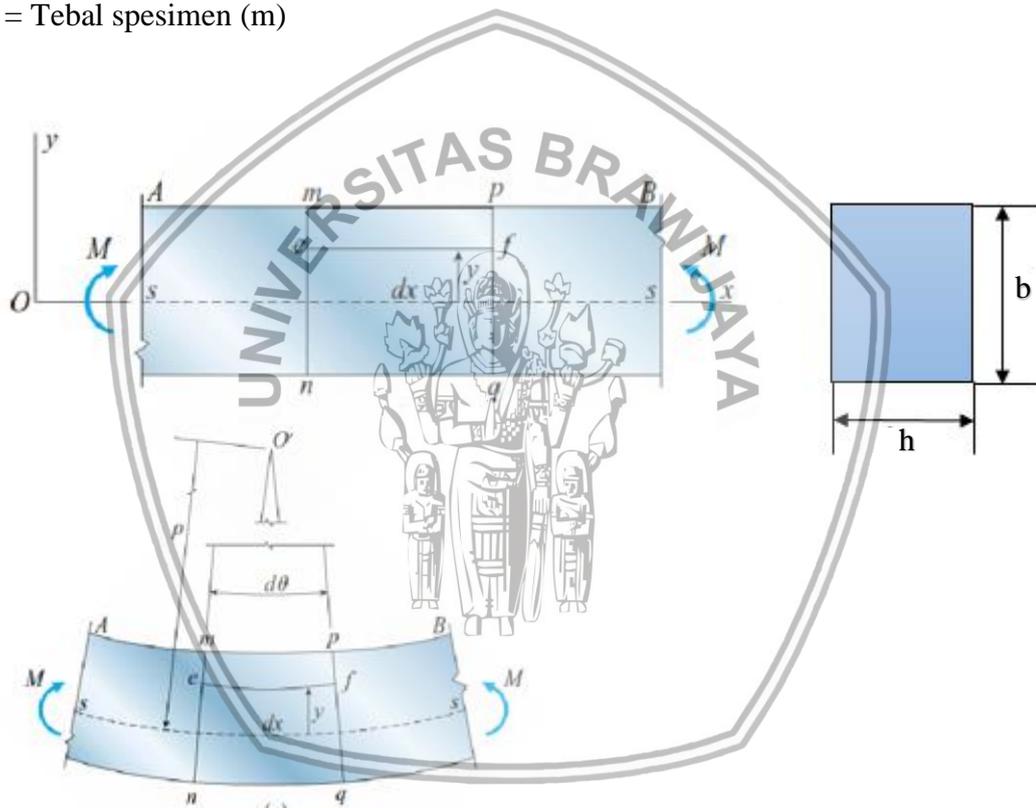
δ = Defleksi (m)

L = Panjang Span/jarak antara titik tumpuan (m)

L_o = Panjang spesimen (m)

b = Lebar spesimen (m)

h = Tebal spesimen (m)



Gambar 2.21 Tegangan bending

Sumber : *Mechanics of materials*, James M. Gere

2.5 Teori Kegagalan

Kriteria kegagalan bertujuan untuk memprediksi atau memperkirakan kegagalan dari bagian-bagian mesin dan anggota struktural. Sangat banyak teori yang ada, namun hanya teori yang paling umum dan teruji yang berlaku untuk bahan isotropik yang dibahas di sini. Teori-teori ini, tergantung pada sifat material yang dimaksud (yaitu rapuh atau getas), tercantum dalam tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1
Failur Theorie

<i>Material type</i>	<i>Failure Theories</i>
<i>Ductile</i>	<i>Maximum shear stress, Von mises</i>
<i>Brittle</i>	<i>Maximum normal stress, Mohr Theory</i>

Ketika elemen mesin dikenakan sistem sistem tegangan yang rumit, itu penting untuk memprediksi mode kegagalan sehingga metodologi desain mungkin berdasarkan kriteria kegagalan tertentu. Teori kegagalan pada dasarnya adalah satu set kriteria kegagalan dikembangkan untuk kemudahan desain. Dalam desain mesin, sebuah elemen dikatakan gagal jika ia berhenti melakukan fungsinya fungsi. Pada dasarnya ada dua jenis kegagalan mekanis:

- A. *Yielding*- terjadinya deformasi inelastis yang berlebihan pada bagian mesin yang tidak sesuai untuk menjalankan fungsinya. Ini kebanyakan terjadi pada bahan ulet.
- B. *Fraktur* – suatu komponen patah menjadi dua bagian atau lebih. Ini kebanyakan terjadi pada material rapuh. Ini mungkin terjadi jika suatu materi dikenakan
- Beban siklik.
 - Beban statis jangka panjang pada suhu tinggi.
 - Beban impact.
 - Work hardening*.
 - Quenching* yang berlebihan.

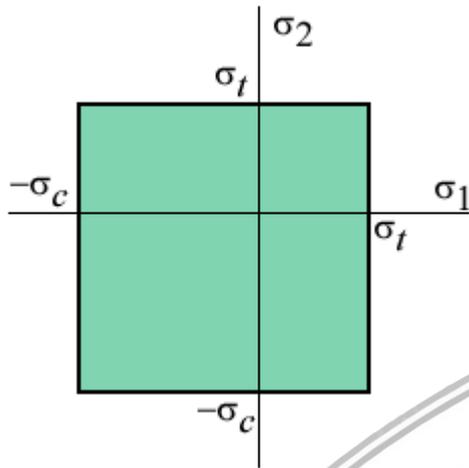
Dengan mempunyai berbagai macam sifat tarik dari material padat, maka bagaimana suatu respons tarik dari material dapat digunakan untuk memprediksi kegagalan dalam suatu komponen yang mengalami beban multiaksial. kondisi tegangan menyebabkan kegagalan dalam suatu batang uji standar dan juga menyebabkan kegagalan dalam suatu komponen yang mengandung beban kombinasi. Banyak teori yang membahas hal tersebut diantaranya adalah :

1. Teori Tegangan Normal Maksimum

Merupakan teori kegagalan yang paling sederhana yang menjelaskan kegagalan terjadi bila tegangan tarik maksimum atau tegangan tekan melampaui kekuatan tarik atau tekan uniaksial dari material. Terori ini pada umumnya cocok untuk material getas.

$$-\sigma_c < \{\sigma_1, \sigma_2\} < \sigma_t$$

di mana σ_1 dan σ_2 adalah tekanan utama untuk tegangan 2D.



Gambar 2.22 Tegangan normal maksimum

Sumber: Perancangan Teknik Mesin (1997,p.242)

2. Kriteria Tresca

Teori Tresca menjelaskan kegagalan yang terjadi bila tegangan geser maksimum melampaui kekuatan geser berkaitan dengan luluh dalam uji tarik uniaksial, persamaannya adalah :

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2-19)$$

Keterangan:

τ_{max} = Tegangan geser maksimum

σ_1, σ_3 = Tegangan tarik utama yang terbesar dan terkecil

Untuk kondisi beban uniaksial ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$), kekuatan luluh geser diperoleh sama dengan setengah dari kekuatan luluh tarik.

3. Kriteria Von Mises

Dalam teori ini, luluh diasumsikan terjadi bila energi distorsi dalam uji tarik yang berhubungan dengan suatu perubahan bentuk adalah sama dengan energi distorsi dalam komponen yang mengalami beban multiaksial. Energi elastik yang berhubungan dengan suatu perubahan volume tidak termasuk di dalam analisis ini. Henky (1924) memberi pengertian secara fisis bahwa material akan mengalir atau terdeformasi secara plastis bila energi distorsi maksimum mencapai beban harga kritisnya. Sehingga kriteria Von Mises

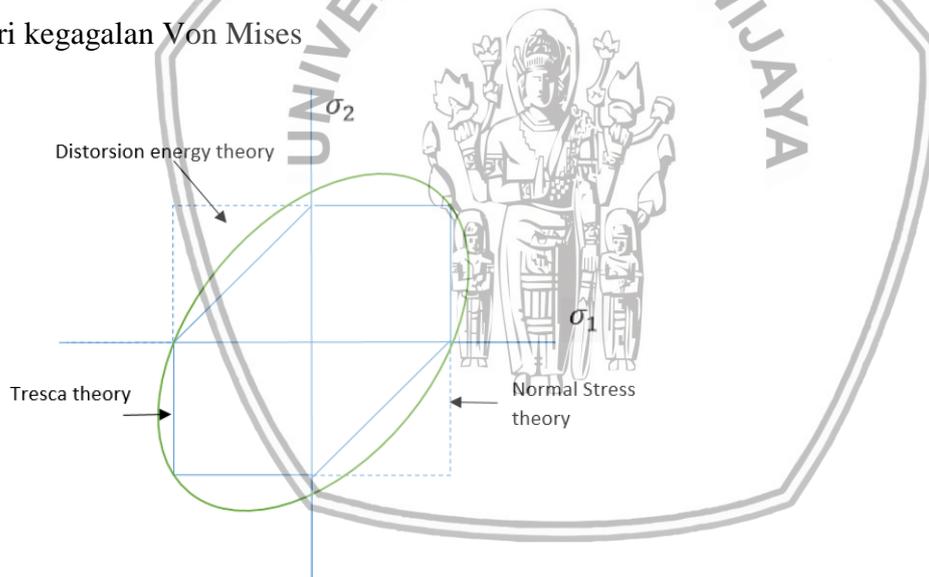
dikenal juga sebagai kriteria Energi Distorsi. Penggunaan energi distorsi pada suatu spesimen atau komponen yang mengalami beban multiaksial, adalah cocok dengan memandang suatu ekuivalent σ_e yang rumuskan dengan :

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2] \quad (2-20)$$

Keterangan :

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan utama

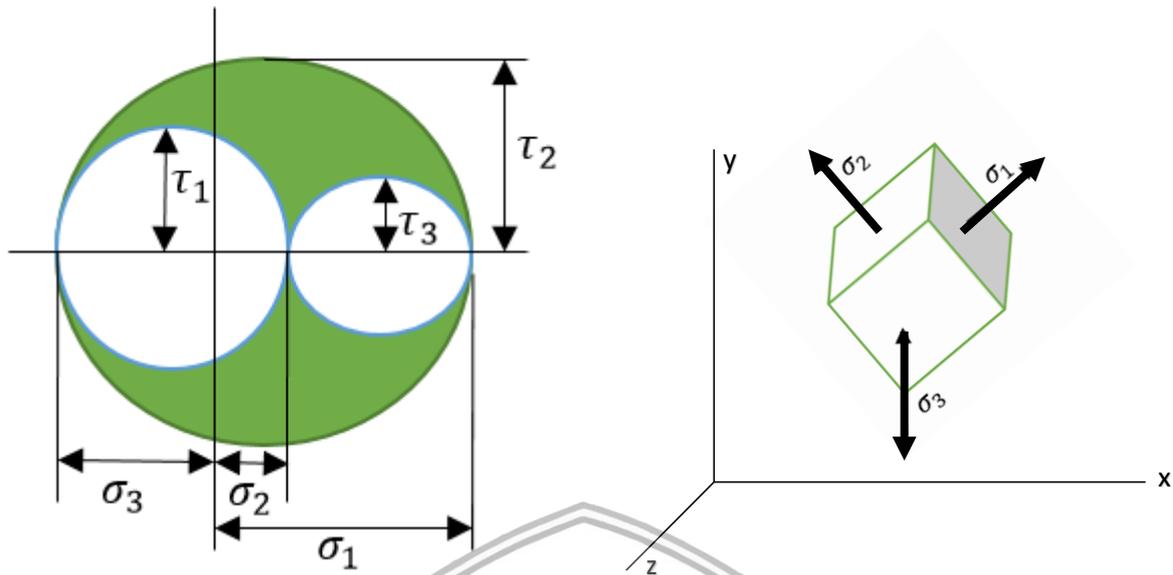
Kriteria luluh dua dimensi untuk tegangan normal, tegangan geser dan teori energi distorsi ditunjukkan oleh gambar dibawah, dengan catatan bahwa ketiga teori kegagalan memprediksi kondisi luluh yang sama dibawah beban uniaksial ($\sigma_1 = \sigma_1 ; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$) dan kondisi pembebanan biaksial seimbang ($\sigma_1 = \sigma_2 ; \sigma_3 = 0$) bagaimanapun, kondisi kegagalan yang berbeda diprediksi untuk geser murni ($\sigma_1 = -\sigma_2 ; \sigma_3 = 0$) dengan teori energi distorsi memprediksi luluh bila tegangan yang bekerja adalah $0.577 \sigma_{ys}$. kebanyakan data memenuhi pada prediksi dari teori energi distorsi, dan pada penelitian ini digunakan teori kegagalan Von Mises



Gambar 2.23 Perbandingan dari tiga teori kegagalan statis
Sumber: Perancangan Teknik Mesin (1997,p.242)

4 Teori Mohr

Gambar 2.22 dibawah ini memperlihatkan keadaan tegangan triaksial, dengan tiga tegangan utama, yang dapat digambarkan dengan tiga buah lingkaran Mohr. Dapat dikatakan bahwa semua kondisi tegangan yang mungkin terjadi dalam benda, terletak di dalam daerah yang diberi warna antara lingkaran-lingkaran dalam gambar dibawah



Gambar 2.24 Lingkaran Mohr
Sumber : Metalurgi Mekanik (1996)

Lingkaran Mohr adalah untuk memberi gambaran geometris tentang persamaan yang mengungkapkan transformasi komponen tegangan ke sistem sumbu yang berbeda-beda, namun lingkaran Mohr merupakan cara yang paling baik untuk membayangkan (visualize) keadaan tegangan.

2. 6 Tinjauan Elemen Hingga

FEM adalah singkatan dari *Finite Element Method*, dalam bahasa Indonesia disebut *Metode Elemen Hingga*. Konsep paling dasar FEM adalah, menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah. Kata “*finite* atau terhingga” digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik.

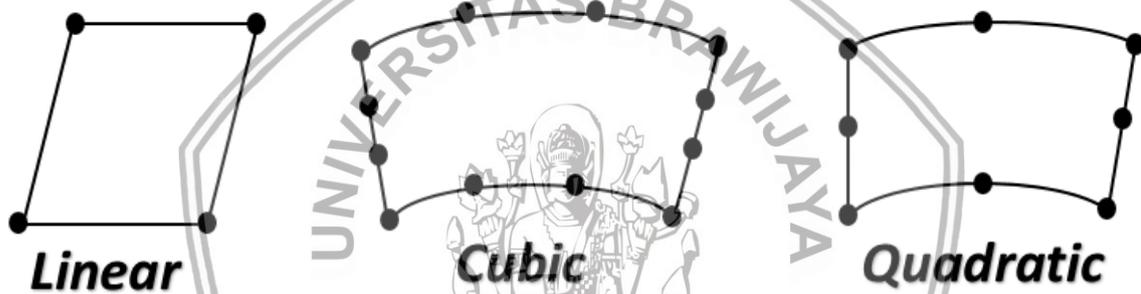
Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut “*discretizing* atau diskritisasi”. Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut *nodal*, atau *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi sebuah object menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun kita kepada pembuatan persamaan diferensial. Jadi secara lebih matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Namun biasanya definisi FEM secara matematis memberikan kesan yang rumit

yang sebenarnya tidak perlu. Oleh karena itu dalam pelajaran kita, pendekatan matematis tidak terlalu ditekankan.

2. 6. 1 Elemen Isoparametrik

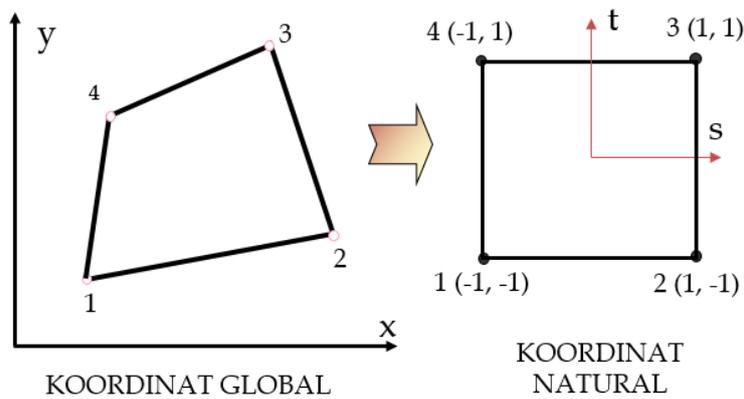
Secara bahasa isoparametrik merupakan kata sifat yang memiliki arti tidak seimbang. dalam ilmu matematika isoparametrik memiliki parameter yang sama dibawah sistem koordinat yang berbeda

Dalam menyelesaikan persoalan-persoalan yang rumit sering kali digunakan metode element hingga untuk mendapatkan pendekatan-pendekatan terhadap suatu persoalan agar mendapatkan jawaban yang mendekati nilai eksak. Sehingga salah satu caranya dengan menggunakan elemen isoparametrik. Dalam pengaplikasiannya isoparametrik dapat menggunakan 2, 3 atau 4 noda.



Gambar 2.25 Jenis elemen kuadrilateral isoparametrik
Sumber: Ansys 14.5

Rumus perpindahan untuk elemen 2-D kuadrilateral solid 4 node



Hal pertama yang harus dilakukan adalah mencari respon perpindahan seperti dibawah yang didalam nya ada *shape function*

$$u = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 + N_4 u_4$$

$$v = N_1 v_1 + N_2 v_2 + N_3 v_3 + N_4 v_4$$

Shape function seperti rumus dibawah ini, setelah itu dimasukkan kedalam rumus regangan

$$N_1 = \frac{(1-s)(1-t)}{4} \quad N_2 = \frac{(1+s)(1-t)}{4}$$

$$N_3 = \frac{(1+s)(1+t)}{4} \quad N_4 = \frac{(1-s)(1+t)}{4}$$

Rumus regangan terdiri dari matrik perpindahan dan matrik hubungan regangan dan perpindahan, setelah itu dimasukkan ke dalam rumus tegangan

$$\{\varepsilon\} = [B] \{d\}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial X} \\ \frac{\partial v}{\partial Y} \\ \frac{\partial u}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial X} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{16} & B_{17} & B_{18} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} & B_{26} & B_{27} & B_{28} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} & B_{35} & B_{36} & B_{37} & B_{38} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{Bmatrix}$$

$$B_{12} = B_{14} = B_{16} = B_{18} = B_{21} = B_{23} = B_{25} = B_{27} = 0$$

$$B_{11} = B_{32} = \frac{1}{8|J|} (Y_{24} + sY_{43} + tY_{32}) \quad B_{22} = B_{31} = \frac{1}{8|J|} (X_{42} + sX_{34} + tX_{23})$$

$$B_{13} = B_{34} = \frac{1}{8|J|} (Y_{31} + sY_{34} + tY_{14}) \quad B_{24} = B_{33} = \frac{1}{8|J|} (X_{13} + sX_{43} + tX_{41})$$

$$B_{15} = B_{36} = \frac{1}{8|J|} (Y_{42} + sY_{12} + tY_{41}) \quad B_{26} = B_{35} = \frac{1}{8|J|} (X_{24} + sX_{21} + tX_{14})$$

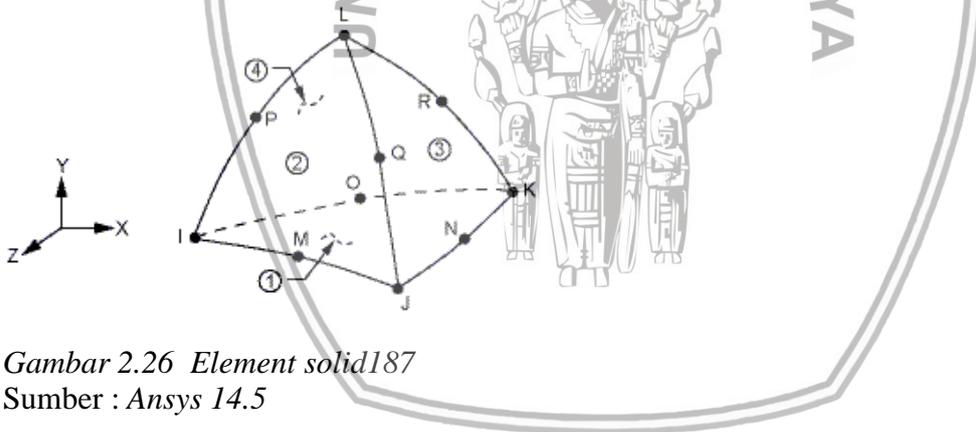
$$B_{17} = B_{38} = \frac{1}{8|J|} (Y_{13} + sY_{21} + tY_{23}) \quad B_{28} = B_{37} = \frac{1}{8|J|} (X_{31} + sX_{12} + tX_{32})$$

Rumus tegangan terdiri dari matrik regangan dan matrik hubungan tegangan dan regangan

$$\{\sigma\} = [C] \{\varepsilon\}$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5(1-\nu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma \end{Bmatrix}$$

Sebenarnya apabila diketahui lebih banyak noda akan lebih baik, sehingga hasil yang diperoleh juga akan semakin mendekati nilai kebenarannya. Isoparametrik biasanya di gambarkan di koordinat kartesian, namun tidak harus selalu. Elemen yang digunakan pada penelitin ini adalah element solid187. Element ini sangat cocok untuk pemodelan geometri yang rumit.



Gambar 2.26 Element solid187

Sumber : Ansys 14.5

Dimana :

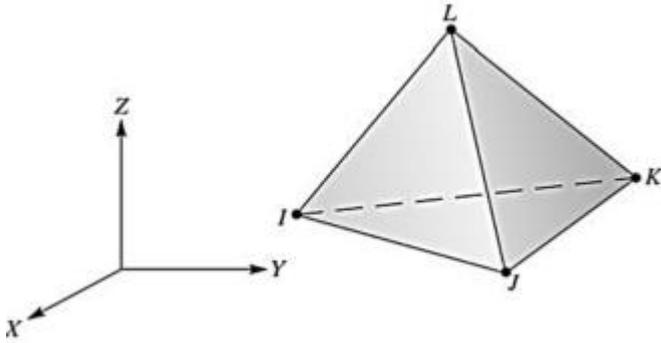
$\{\sigma\}$ = Tegangan

$\{\varepsilon\}$ = Regangan

[C] = matrik hubungan tegangan dan regangan.

[B] = matrik hubungan regangan dan perpindahan.

Rumus perpindahan untuk elemen 3-D



Hal pertama yang harus dilakukan adalah mencari respon perpindahan seperti dibawah yang didalam nya ada *shape fuction*

$$u = N_1 u_i + N_2 u_j + N_3 u_k + N_4 u_l$$

$$v = N_1 v_i + N_2 v_j + N_3 v_k + N_4 v_l$$

$$w = N_1 w_i + N_2 w_j + N_3 w_k + N_4 w_l$$

Shape function seperti rumus dibawah ini, setelah itu dimasukkan kedalam rumus regangan

$$N_1 = \frac{1}{6v} (a_i + b_i x + c_i y + d_i z)$$

$$N_2 = \frac{1}{6v} (a_j + b_j x + c_j y + d_j z)$$

$$N_3 = \frac{1}{6v} (a_k + b_k x + c_k y + d_k z)$$

$$N_4 = \frac{1}{6v} (a_l + b_l x + c_l y + d_l z)$$

Rumus regangan terdiri dari matrik perpindahan dan matrik hubungan regangan dan perpindahan, setelah itu dimasukkan ke dalam rumus tegangan

$$\{\varepsilon\} = [B] \{d\}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{du}{dx} \\ \frac{dv}{dy} \\ \frac{dw}{dz} \\ \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \\ \frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy} \\ \frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz} \end{Bmatrix}$$

Rumus tegangan terdiri dari matrik regangan dan matrik hubungan tegangan dan regangan
 $\{\sigma\} = [C] \{\varepsilon\}$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1+\nu} \begin{bmatrix} \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix}$$

Kelebihan dari metode element hingga sebagai metode analisis numerik adalah dapat menyelesaikan persoalan model fisik dengan kondisi batasan yang rumit

2. 6. 2 Software Fenite Ekement Analysis (FEA)

software yang berbasis elemen hingga yang mempunyai kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan sangat halus, mampu bekerja dengan elemen lebih banyak dan menghasilkan *output* dengan ketelitian tinggi. ANSYS dapat digunakan untuk berbagai analisis antara lain: analisis struktural, analisis thermal, analisis elektrik, analisis magnetis, dan analisis fluida.

Langkah Pemodelan dalam menggunakan software berbasis FEM

1. *Preprocessing* (Proses Awal)

- Pendefinisian Masalah
- Pemilihan Tipe Elemen untuk mendiskritisasikan model yang dibuat

- Material Properties (memasukkan data material)
- Pemodelan Geometri dari benda kerja
- *Meshing* (Pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil/diskrit)
- Mendefinisikan analisis solusi yang dipakai (*Analysis Type*)
- Memasukkan kondisi batas (*Boundary Condition*)
- Menerapkan pembebanan

2. *Solution* (Proses Solusi)

- Penyelesain (*Solving*)

3. *General Post Processing* (Proses Pembacaan Hasil)

- *Plot Result*

Dengan menggunakan *contour plot* akan tampak distribusi tegangan atau variabel lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan. Di sini model digambarkan dengan sebaran warna yang menunjukkan besarnya tegangan atau variabel yang terjadi.

- *List Result*

Hasil analisis dalam bentuk *list result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detail nilai perpindahan, tegangan atau variabel lain yang terjadi pada tiap node atau elemennya.

- *Animasi*

Hasil analisa yang diperoleh juga ditampilkan dalam bentuk simulasi (animasi).

2. 7 Hipotesis

Dari tinjauan pustaka, dapat diambil hipotesis bahwa nilai tegangan maksimal yang didapat oleh *hammer unigrator* terjadi di bagian lengan yang berada didekat dengan support dan cara menguranginya adalah dengan memperluas area di daerah yang mendapatkan tegangan maksimum tersebut, dengan mengurangi nilai radius lengan dari *hammer*, dengan berkurangnya *radius* maka menyebabkan nilai tegangan maksimal yang dimiliki oleh *hammer* akan berkurang. Karna luasan dari *hammer* semakin bertambah.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan simulasi komputer dengan *software* berbasis Metode Elemen Hingga (FEM). Pemakaian metode ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi waktu dan biaya percobaan, dan juga untuk membrediksi hasil percobaan yang dapat dijadikan referensi untuk melaksanakan eksperimental nyata. Informasi yang diperlukan dalam penelitian ini didapatkan dalam penelltian ini didapatkan melalui studi literatur dari buku pustaka, jurnal penelitian dan internet.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

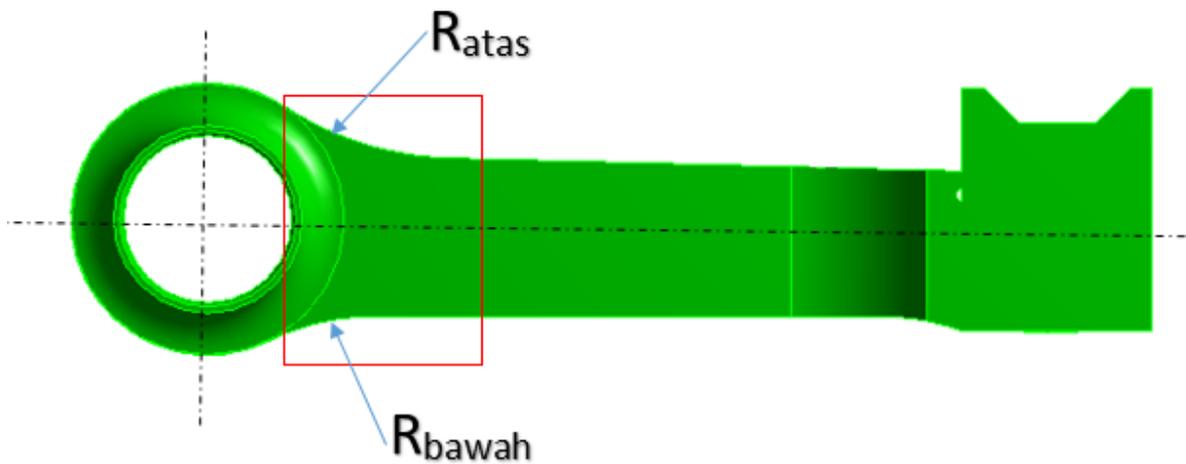
Pelaksanaan penelitian ini bertempat di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem (SPRS) Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, pada bulan februari 2018 sampai selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah geometri radius lengan *hammer unigrator* dalam hal ini adalah jari-jari kelengkungan dari pada lengan. Bagian atas dan bawah yang berdekatan dengan *support*, dalam hal ini ada radius atas dan radius bawah dengan nilai kelengkungan radius atas sebesar 170, 160, 150, 140, 130, 120, 110 mm, dan radius bawah sebesar 130, 120, 110, 100, 90, 80, 70 mm. Geometri lengan ini ditentukan berdasarkan data dari pabrik gula dan dimodifikasi dengan *software* berbasis FEM. Dalam penelitian ini digunakan dua model variasi geometri, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain hammer

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

Berikut variasi ukuran yang akan dimodalkan dengan scala satu ukuran dijaga tetap, dengan dimensi awal memiliki *radius* atas 150 mm dan *radius* bawah 110 mm.

Tabel 3.1 Variasi pemodelan radius atas

Model	Radius atas	Radius bawah
1	170 mm	110 mm
2	160 mm	
3	140 mm	
4	130 mm	
5	120 mm	
6	110 mm	

Tabel 3.2 Variasi pemodelan radius bawah

Model	Radius atas	Radius bawah
7	150 mm	130 mm
8		120 mm
9		100 mm
10		90 mm
11		80 mm
12		70 mm

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang tidak dapat ditentukan oleh peneliti dan besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah distribusi tegangan pada *hammer unigrator* terhadap beban vertikal.

3.3.3 Variabel Terkontrol

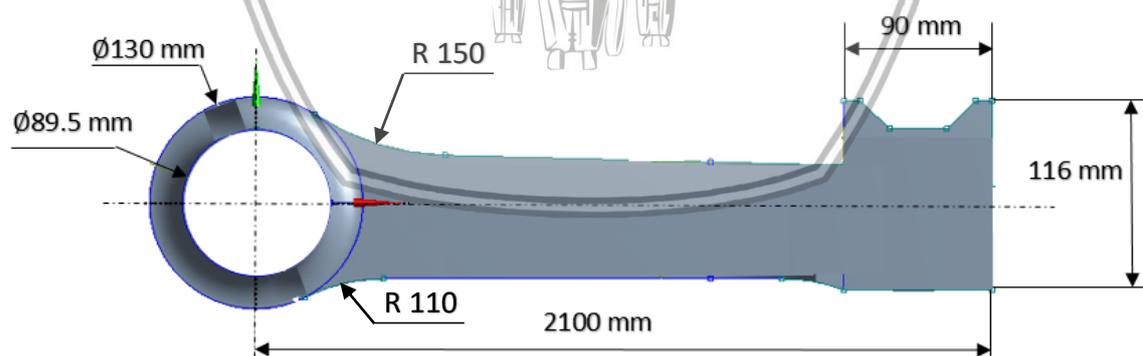
Variabel terkontrol adalah variabel penelitian dimana kondisinya dijaga tetap atau konstan pada saat penelitian. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah :

- 1 Material yang digunakan adalah *Alloy Steel AISI 4140*
- 2 Pembebanan yang dikenakan pada *hammer unigrator* adalah sebesar 9099.2 N
- 3 Material yang digunakan diasumsikan *linier isotropic*
- 4 Menggunakan analisa *static structural*

3.4 Pemodelan Penelitian

3.4.1 Pemodelan Geometri

Struktur digambar dengan software CAD dengan ukuran yang sama seperti di dunia industri. Desain ini di dapat dari data PTPN X, setelah di gambar maka di *import* ke *software* CAE dan dimodelkan dengan *Static Structural*, dengan ketebalan *hammer* sebesar 48 mm.



Gambar 3.2 Dimensi *hammer unigrator*
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

3.4.2 Pemodelan Material

Material yang digunakan pada penelitian *hammer unigrator* ini adalah *Alloy Steel AISI 4140* dengan properties material sebagai berikut

Properties material dari *Alloy Steel AISI 4140* :

Density	: 7850 kg/m ³
Young Modulus	: 200 GPa
Poisson's Ratio	: 0.3
Tensile Yield Strength	: 415 MPa
Tensile Ultimate Strength	: 655 MPa

3.4.3 Pemodelan Kondisi Batas dan Pembebanan

Pemodelan *hammer unigrator* pada proses penggilingan tebu dilakukan dengan memodelkan satu buah *hammer* dengan pemberian beban secara statis. Beban yang diterima adalah dibagian kepala dan lengan, karna itu pemodelan pembebanan diberikan pada bagian kepala seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. kondisi batas diberikan pada bagian ujung lengan yang menjadi tumpuan ketika *hammer* berputar.

Awal pembebanan terjadi ketika tebu masuk dalam *unigrator*, karna itu beban yang diterima oleh *hammer* adalah akibat beban motor dan beban tebu. Gaya yang digunakan disini adalah sebesar 10,000 N. Angka tersebut didapat dari perhitungan daya motor sebesar 1500 kW dan putaran poros sebesar 750 rpm. Kondisi batas yang digunakan disini adalah berupa *force* dan *fix support*, dimana tujuan dari *fix support* adalah agar bagian *hammer* yang melekat dengan poros tidak bergerak kemana-mana (*all dof*).

Pada saat proses loading (memberi muatan), kondisi pertama kali tebu masuk ke dalam *unigrator* setidaknya ada bagian *hammer* yang menerima beban terlebih dahulu menderita beban maksimum yang berasal dari beban motor, dan ini sebagai dasar perhitungan, maka digunakan beban dengan asumsi bahwa *hammer* yang mengalami kerusakan adalah *hammer* yang sering menerima pemakanan pertama kali.

Analisa dilakukan ketika *hammer* menerima pembebanan statis, pada saat proses penggilingan maka *hammer* yang menerima pembebanan paling besar adalah bagian tengah, beban tidak terdistribusi merata dan bagian pinggir menerima beban yang lebih kecil. Hal ini dijadikan sebagai dasar perhitungan beban pada tiap *hammer* bisa diasumsikan sebanyak 60% yang menerima pembebanan.

Pengaturan beban kerja yang nantinya akan bekerja pada *hammer unigrator* digunakan disini adalah berupa gaya hasil perhitungan dari daya motor yang bekerja dari *hammer unigrator*. Dalam hal ini perhitungan beban ditentukan dengan rumus:

$$P = T \times \omega$$

$$T = F \times L$$

Keterangan :

P = Daya motor (kW)

T = Torsi (Nm)

ω = Putaran rotor (rpm)

F = Gaya (N)

L = Panjang *hammer*

n = Jumlah *hammer*

Berikut adalah perhitungan gaya yang dilakukan dalam penelitian ini:

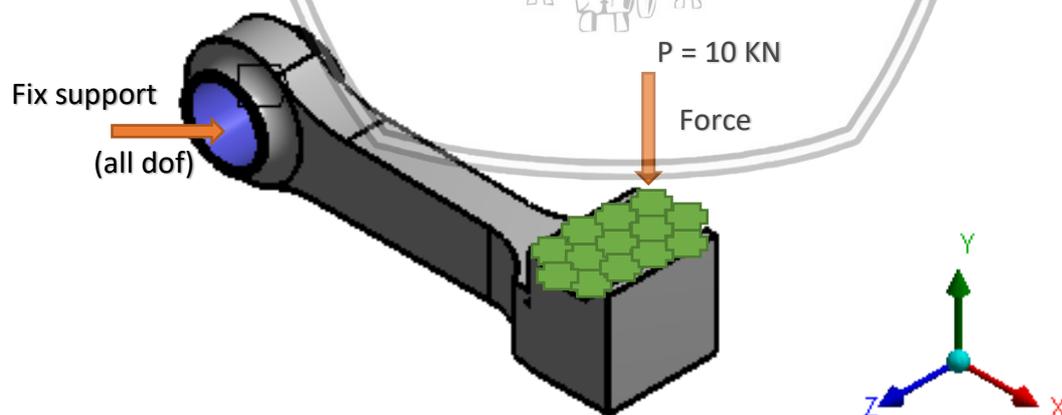
- Beban Motor

$$P = T \times \omega$$

$$T = P / \omega$$

$$T = 1500 \times 10^3 \times 60 / 750 \times 2 \times 3.14 = 19108.3 \text{ Nm}$$

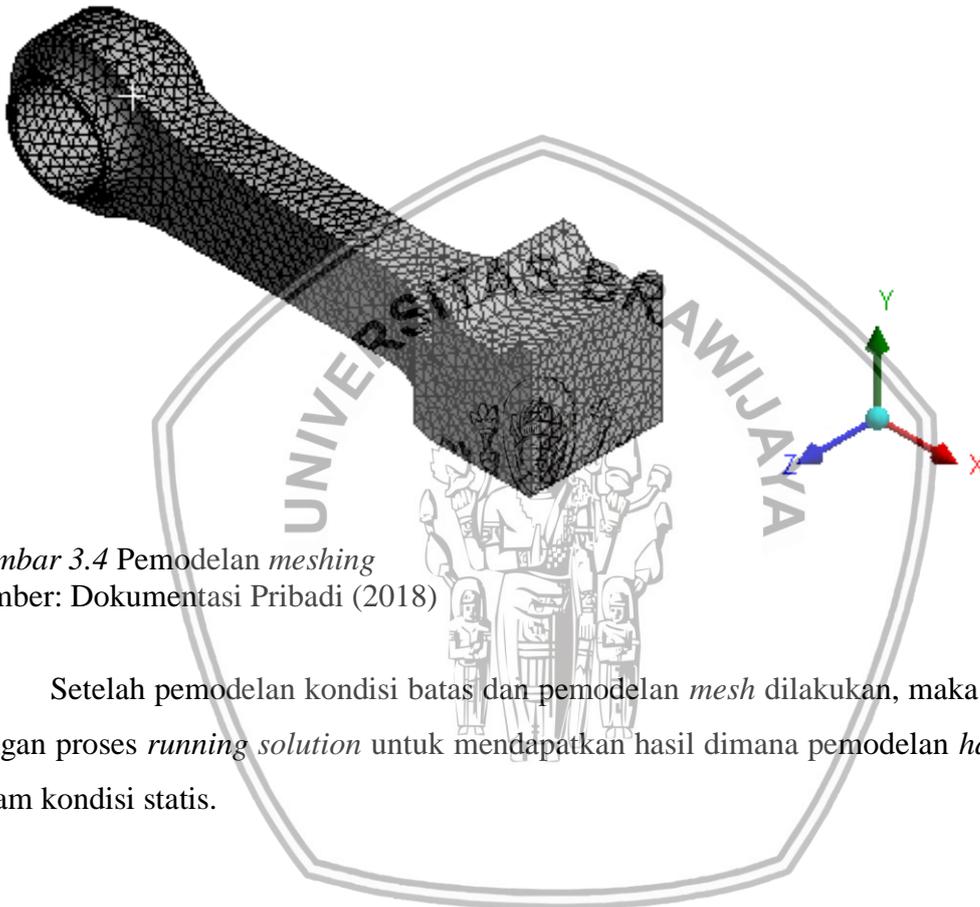
$$F = T / L = 19108.3 / 2.1 = 9099.2 \text{ N}$$



Gambar 3.3 Pemodelan kondisi batas
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

3.5 Meshing

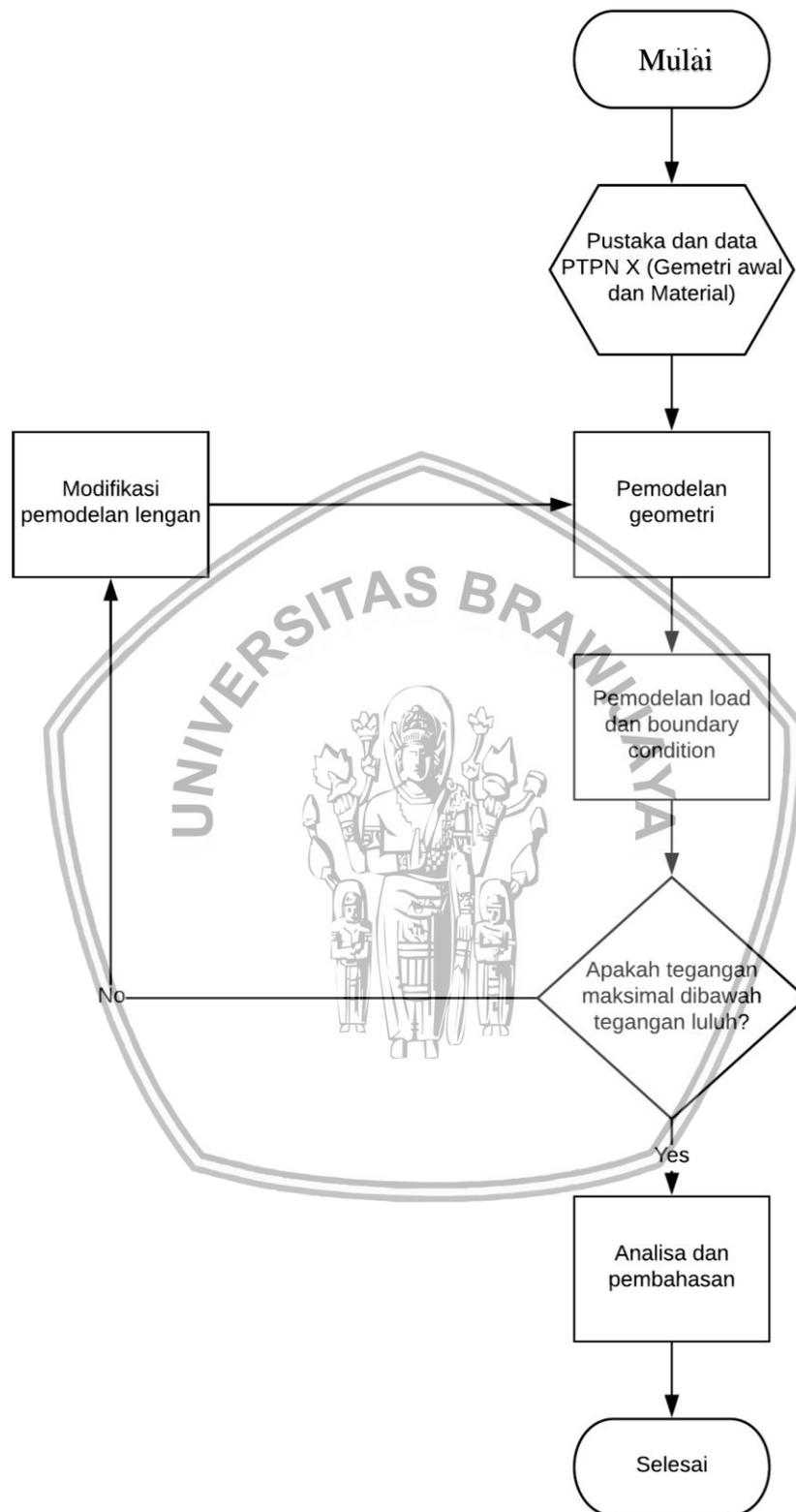
Meshing adalah proses membagi-bagi objek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Semakin kecil *meshing* yang dibuat maka hasil perhitungan akan semakin teliti namun membutuhkan daya komputasi yang besar. *Mesh* untuk *hammer unigrator* dalam penelitian ini adalah default dari *software* nya sendiri, dengan jumlah node sebanyak 53469 node dan jumlah element sebanyak 35584 element.



Gambar 3.4 Pemodelan *meshing*
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

Setelah pemodelan kondisi batas dan pemodelan *mesh* dilakukan, maka dilanjutkan dengan proses *running solution* untuk mendapatkan hasil dimana pemodelan *hammer* diuji dalam kondisi statis.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian *Hammer Unigrator*
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

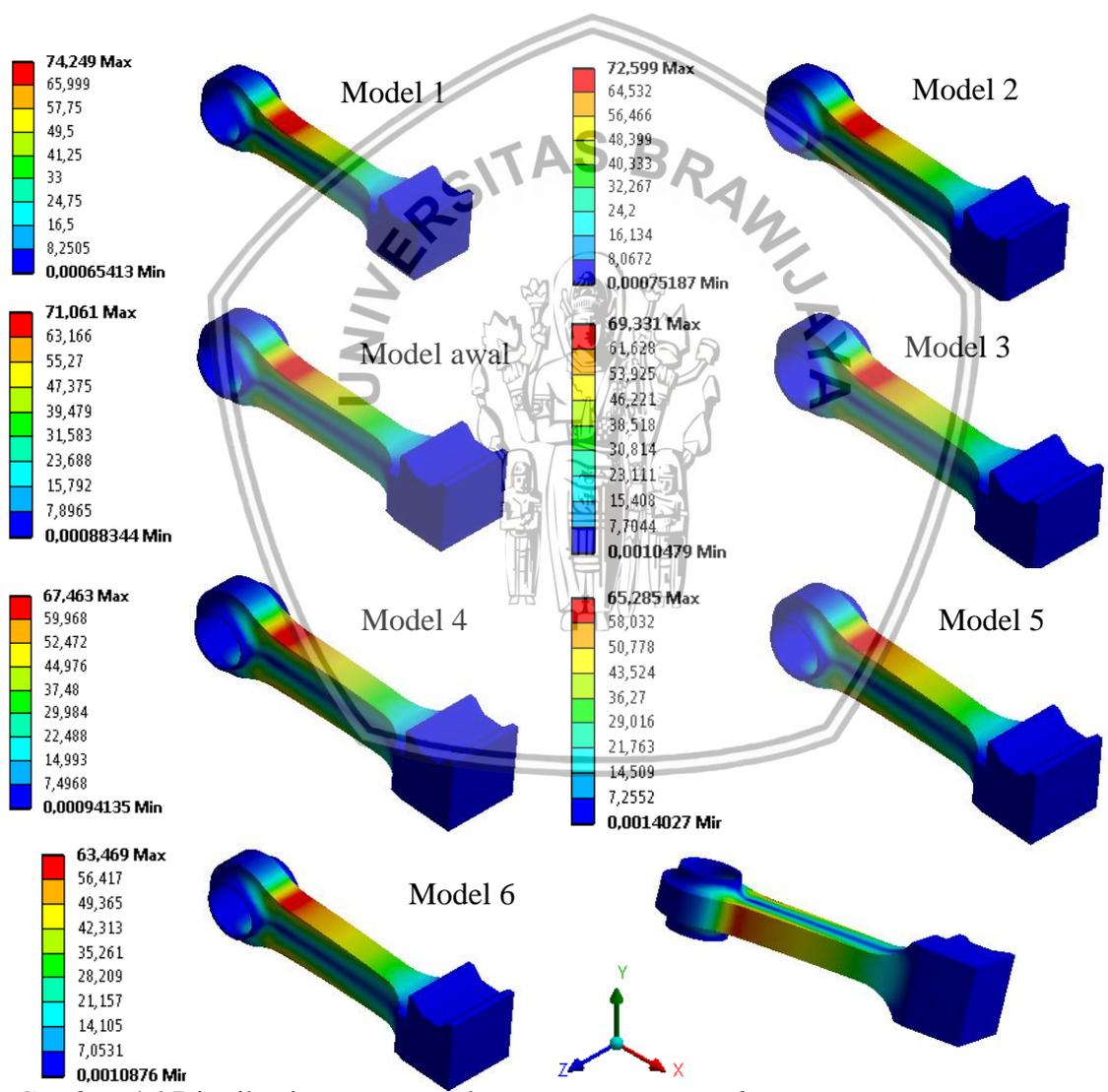


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Simulasi

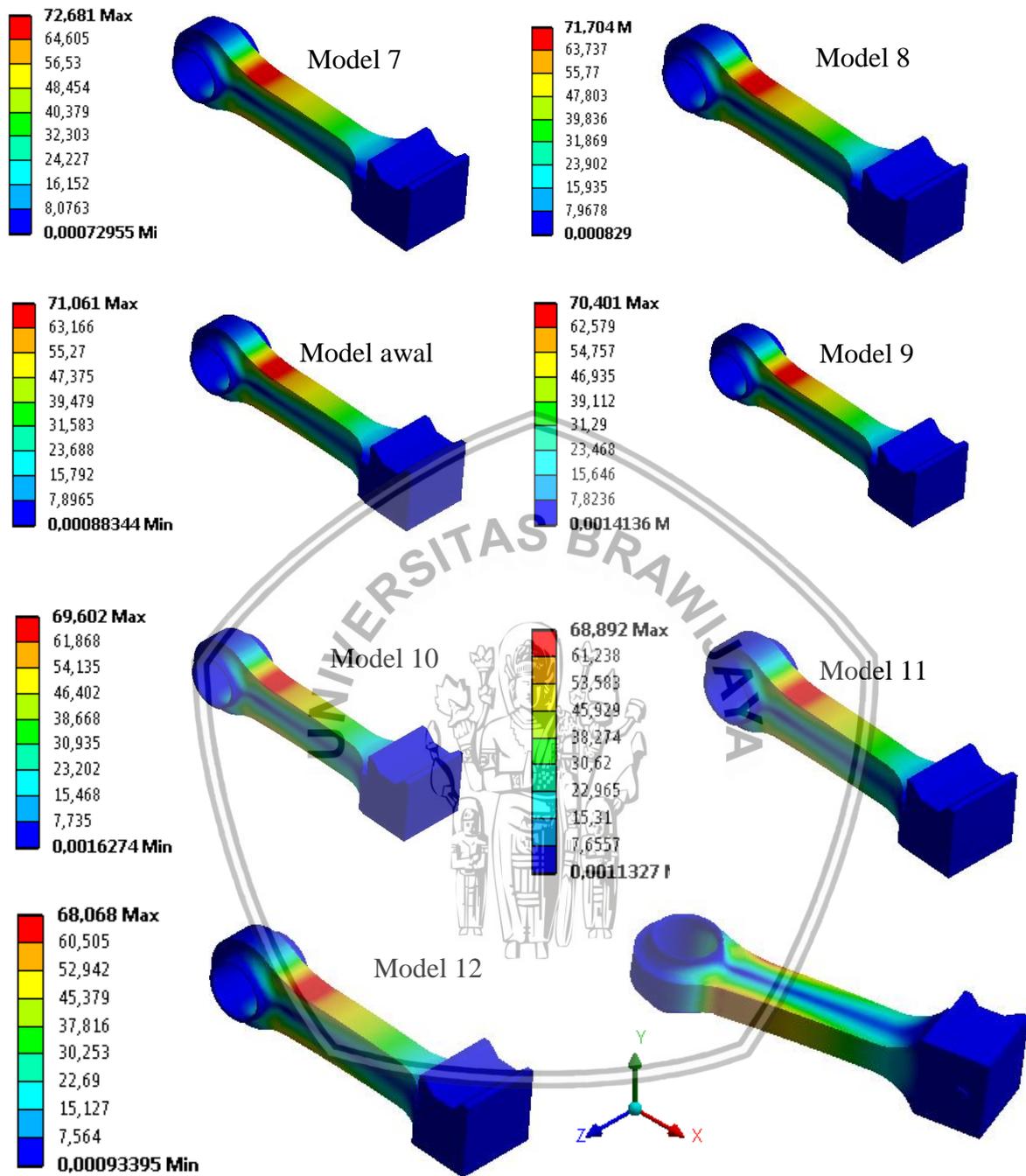
Gambar dibawah ini merupakan hasil simulasi dari *hammer unigrator* berupa tegangan dan perpindahan.

4.1.1 Tegangan



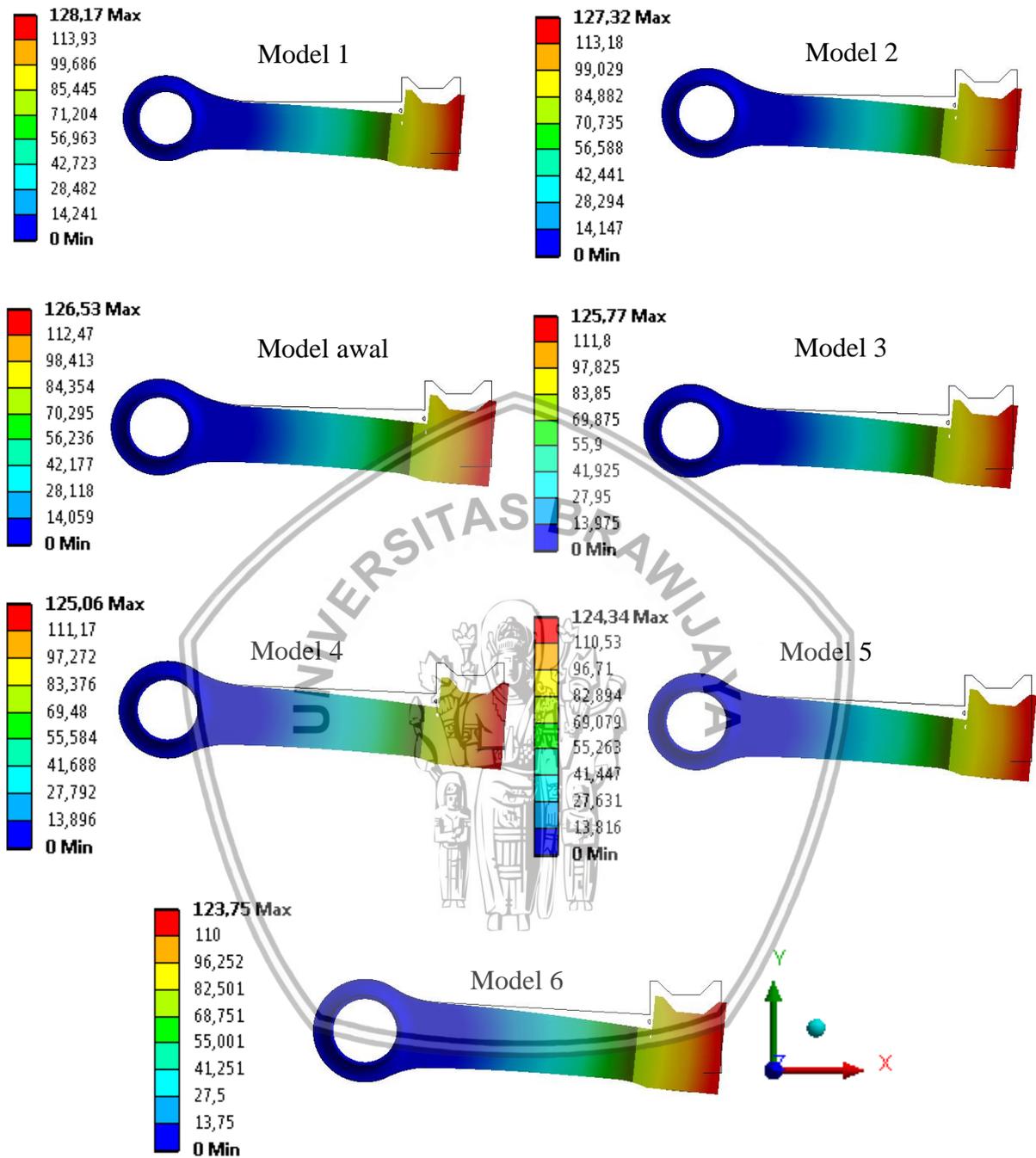
Gambar 4.1 Distribusi tegangan pada variasi radius atas *hammer unigrator*
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)



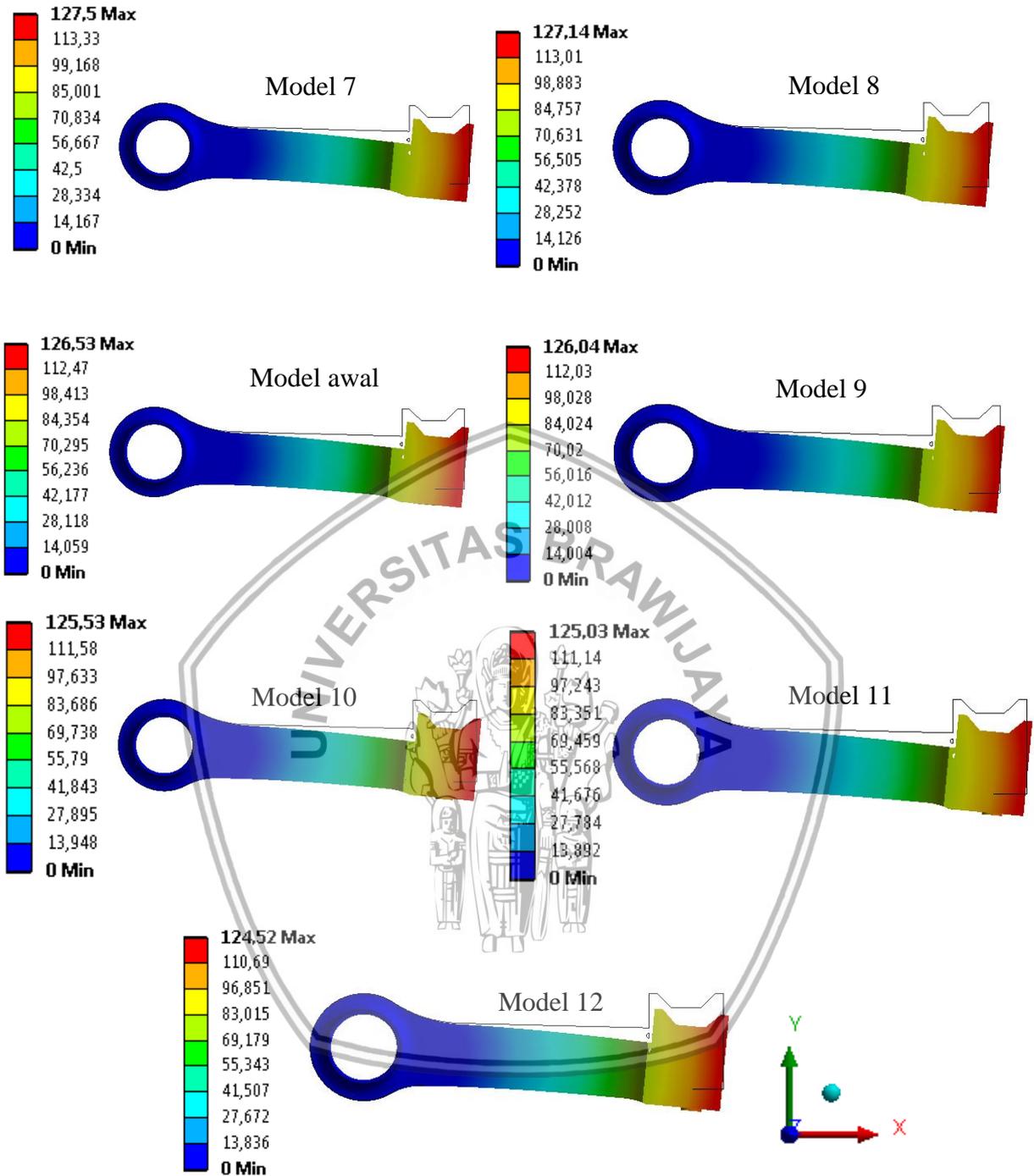


Gambar 4.2 Distribusi tegangan pada variasi jari-jari bawah *hammer unigrator*
 Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

4.1.2 Perpindahan



Gambar 4.3 Displacement pada model variasi radius atas
Sumber: Dokumentasi Pribadi(2018)



Gambar 4.4 Displacement pada model variasi radius bawah
 Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

4.2 Pembahasan

4.2.1 Tegangan

Analisa tegangan pada *hammer unigrator* pada stasiun gilingan tebu dilakukan dengan memodelkan satu buah *hammer* yang dikenai beban statis.

Pada pemodelan *hammer unigrator* dengan variasi radius atas maupun bawah, menghasilkan distribusi tegangan akibat pembebanan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2. Dengan pemberian beban pada bagian kepala, akan menghasilkan konsentrasi tegangan yang tinggi pada pangkal *hammer*, ini ditunjukkan dengan distribusi warna merah pada area tersebut. Distribusi tegangan yang tinggi lebih tampak pada bagian *radius* atas untuk kesemua model. Sedangkan pada bagian *radius* bawah menderita tegangan yang lebih rendah, hal ini ditunjukkan dengan area berwarna oranye. Kepala *hammer* berwarna biru karena tidak ada tegangan disebabkan karena kepala *hammer* berpindah sesuai arah gaya.

Tegangan maksimal yang dihasilkan yaitu 74.13 MPa pada model 1 untuk variasi radius atas. Sedangkan tegangan maksimal pada variasi radius bawah yaitu sebesar 72.57 MPa yang terjadi pada model 7. Pada tabel 4.1 disajikan nilai tegangan dan deformasi setiap model.

Tabel 4.1 Nilai tegangan maksimal dan perpindahan dari setiap model

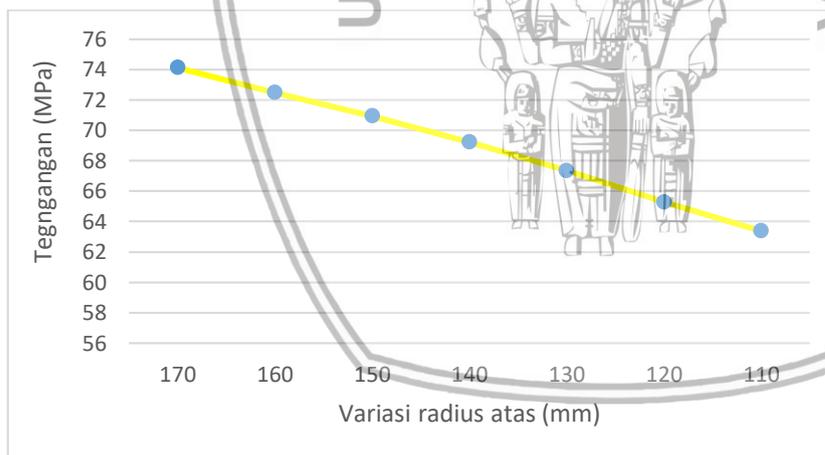
Model	R atas (mm)	R bawah (mm)	Tegangan Maksimal (MPa)	Deformasi maksimal (mm)
awal	150	110	71.06	126.53
1	170	110	74.24 (+ 4,4 %)	128.17
2	160		72.59 (+ 2,1 %)	127.32
3	140		69.33 (- 2,4%)	125.77
4	130		67.46 (- 5,0%)	125.06
5	120		65.28 (- 8,1%)	124.34
6	110		63.46 (- 10,6%)	123.75
7	150		130	72.68 (+ 2,2%)
8		120	71.70 (+ 0,9%)	127.14
9		100	70.40 (- 0,9%)	126.04
10		90	69.60 (- 2,0%)	125.53
11		80	68.89 (- 3,0%)	125.03
12		70	68.06 (- 4,2%)	124.52

4.2.2 Perpindahan

Countour deformasi dari variasi radius atas dan radius bawah menunjukkan bahwa deformasi terbesar terjadi di daerah yang langsung dikenai oleh beban dan jauh dari *support*, dan di daerah *support* terjadi deformasi minimum. Hal ini terjadi karena, di daerah yang dikenai beban tidak diberi tumpuan sehingga daerah tersebut bisa bergerak dikarenakan pembebanan yang diberikan. Sedangkan di daerah yang dekat dengan poros, diberikan tumpuan berupa *fix support* yang menyebabkan daerah tersebut tidak bisa bergerak walaupun diberikan beban. Hal ini sesuai dengan prinsip struktur cantilever, dimana suatu struktur di ujungnya diberi beban dan salah satu ujung lainnya di beri tumpuan *support*, dan menyebabkan tegangan terbesar terjadi di daerah *support* dan deformasi terbesar terjadi pada daerah yang dikenai beban. Area *support* berwarna biru menunjukkan perpindahan yang kecil, karna menahan beban yang diterima oleh *hammer*, ditunjukkan dengan nilai tegangan yang besar.

4.3 Analisis grafik tegangan *hammer unigrator*

4.3.1 Analisis grafik tegangan variasi radius atas *hammer unigrator*

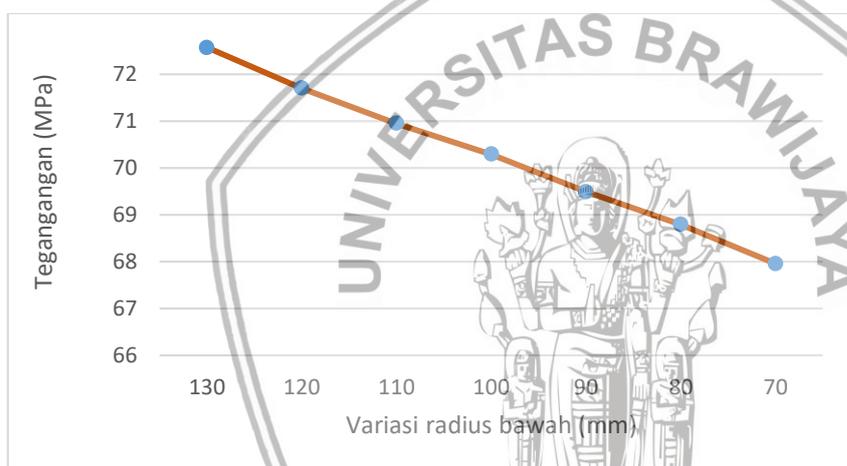


Gambar 4.5 Grafik tegangan pada variasi jari-jari atas
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)

Gambar 4.5 diatas menunjukkan penurunan nilai tegangan selaras dengan penurunan nilai jari-jari kelengkungan dari *hammer unigrator*. Dimana nilai tegangan tertinggi terdapat pada variasi jari-jari kelengkungan atas 170 mm sebesar 74,13 MPa, dan nilai terendah pada variasi 110 mm sebesar 63,37 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pengurangan jari-jari atas dari *hammer unigrator* dapat menyebabkan berkurangnya nilai dari tegangan maksimal yang di dapat oleh *hammer unigrator*. Ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi

radius kelengkungan atas dari *hammer unigrator* menyebabkan nilai tegangan nya menurun, karna dengan berkurangan nya *radius* kelengkungan menyebabkan bertambahnya luas penampang dan menyebabkan tegangan yang dihasilkan menurun. Dan hal ini sesuai juga dengan rumus tegangan yang menyatakan bahwa tegangan berbanding terbalik dengan luas penampang, yang mengatakan bahwa semakin besar nilai dari luas penampang maka nilai dari tegangan itu sendiri akan menurun. Dan semakin lebar suatu permukaan menyebabkan inersia dari benda akan meningkat sehingga menyebabkan tegangan yang terjadi menurun. Distribusi tegangan pada bagian bawah lebih rendah dari pada bagian atas, hal ini ditunjukkan oleh kountur warna pada gambar 4.1. Hal ini disebabkan karna beban lokasi yang diberikan yaitu pada bagian atas *hammer*.

4.3.2 Analisis grafik tegangan variasi radius bawah *hammer unigrator*



Gambar 4.6 Grafik tegangan pada variasi jari-jari bawah
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Gambar 4.6 diatas menunjukkan penurunan nilai tegangan selaras dengan penurunan nilai jari-jari kelengkungan dari *hammer unigrator*. Dimana nilai tegangan tertinggi terdapat pada variasi jari-jari kelengkungan bawah 130 mm sebesar 72,57 MPa, dan nilai terendah pada variasi 70 mm sebesar 67,96 MPa Hal ini menunjukkan bahwa dengan pengurangan jari-jari atas dari *hammer unigrator* dapat menyebabkan berkurangnya nilai dari tegangan maksimal yang di dapat oleh *hammer unigrator*. Ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi *radius* kelengkungan bawah dari *hammer unigrator* menyebabkan nilai tegangan nya menurun, karna dengan berkurangan nya *radius* kelengkungan menyebabkan bertambahnya luas penampang dan menyebabkan tegangan yang dihasilkan menurun. Dan hal ini sesuai juga dengan rumus tegangan yang menyatakan bahwa tegangan berbanding terbalik dengan luas penampang, yang mengatakan bahwa semakin besar nilai dari luas penampang maka

nilai dari tegangan itu sendiri akan menurun. Dan semakin lebar suatu permukaan menyebabkan inersia dari benda akan meningkat sehingga menyebabkan tegangan yang terjadi menurun. Distribusi tegangan pada bagian bawah lebih rendah dari pada bagian atas, hal ini ditunjukkan oleh kontur warna pada gambar 4.2. Hal ini disebabkan karna beban lokasi yang diberikan yaitu pada bagian atas *hammer*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil dan pembatentang penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Hasil tegangan maksimal pada variasi *radius* kelengkungan atas *hammer unigrator*, dari variasi 170 mm hingga variasi 110 mm menunjukkan nilai tegangan yang selalu menurun, variasi 170 mm memiliki nilai tegangan maksimal terbesar yaitu sebesar 74,13 MPa dan nilai tegangan pada variasi 110 mm yang terkecil sebesar 63,37 MPa. Hasil tegangan maskimal pada variasi jari-jari kelengkungan bawah dari *hammer unigrator*, dari variasi 130 mm hingga variasi 700 mm menunjukkan nilai tegangan yang selalu menurun, variasi 130 mm memiliki nilai tegangan terbesar yaitu sebesar 72,57 MPa dan nilai tegangan pada variasi 70 mm yang terkecil sebesar 67,96 MPa. Ini menunjukkan bahwa dengan pengurangan jari-jari atas dari *hammer unigrator* dapat menyebabkan berkurangnya nilai dari tegangan maksimal.
2. Distribusi tegangan pada pengujian pada tiap model hampir sama berada di area yang sama, yaitu sekitar kelengkungan di daerah *support*. Hasil deformasi menunjukkan bahwa bagian yang mengalami defleksi terbesar adalah bagian yang langsung terkena oleh beban.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang *hammer unigrator*.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut tetang pemodelan dengan memperhitungkan *fatigue life* nya.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis kegagalan pada *hammer unigrator*.



DAFTAR PUSTAKA

- Huda, A.T.N., Novareza, O., & Andriani, D.P. (2014). Analisis Aktivitas Perawatan Mesin Hds Di Stasiun Gilingan Menggunakan *Maintenance Value Stream Map* (Mvsm). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*. (Iii) 311-321.
- Ilmi, M.B. (2017). Optimasi Geometri *Tube Torsion Bar Suspension Unit* Panser Anoa 6x6 Pt. Pindad Dengan Metode Elemen Hingga. Tugas Akhir. Tidak Dipublikasikan, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ir. Gandhi Harahap M.Eng. (1986). Perencanaan Teknik Mesin. Jakarta: ERLANGGA
- Irvan, K. (2015). Pengenalan Alat & Proses Pengolahan Gula Di Pt Perkebunan Nusantara X Pg. Djombang Baru. Laporan Praktek Kerja. Tidak Dipublikasikan, Yogyakarta: POLITEKNIK LPP
- James M. Gere. (2004). *Mechanics of Materials*. USA: Belmont
- Kallel, M. (2017). *Hammer premature wear in mineral crushing process*. *Tribology International*. 115 : 493-505.
- Prasetyo C, P. & Suparno. (2016). Perancangan Sistem Kebijakan Perawatan Berdasarkan Reliability Centered Maintenance Ii Di Pg Meritjan – Kediri. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi*. (III) : 2-10.
- Sakthivel, M. (2017). *Design And Analysis Of Twin Shaft Shredder Using Pro-E And Hyperworks Software*. Vol 3 *International Journal of Advanced Research in Basic Engineering Sciences and Technology (IJARBEST)*. 24(3) 836-858.
- Sriati Djaprie. (1996). *Metalurgi Mekanik*. Jakarta : ERLANGGA
- Sutikno, E. (2011). Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain *Carbody Tec Railbus* Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*. (II) : 65-81.
- Zhou, X. (2016). *Study on the stress characteristic and fatigue life of the shredder pin*. *Engineering Failure Analysis*. 59 : 444-455.