

**ANALISIS KEKUATAN PADA DESAIN ARM EXCAVATOR
KELAS 20 TON**



**Ilyas Ade Chandra
5315122792**

**Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **ANALISIS KEKUATAN PADA DESAIN ARM
EXCAVATOR KELAS 20 TON**

Nama Mahasiswa : **Ilyas Ade Chandra**

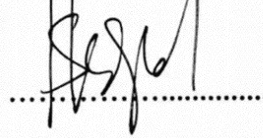
Nomor Registrasi : **5315122792**

NAMA DOSEN

TANDA TANGAN

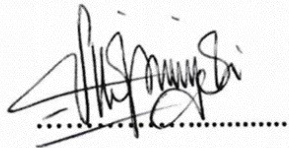
TANGGAL

Drs. Sirojuddin, M.T.
NIP. 196010271990031003
(Dosen Pembimbing I)



24/02/17

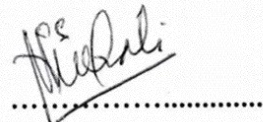
Siska Titik Dwiwati, S.Si., M.T.
NIP. 197812122006042002
(Dosen Pembimbing II)



27/02/17

PENGESAHAN PANITIAN UJIAN SKRIPSI

Prof. Dr. Hj. Zulfiati S., M.T.
NIP. 195008071976032001
(Ketua Penguji)



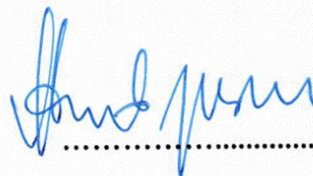
24/2/2017

Ragil Sukarno, S.T., M.T.
NIP. 197902112012121001
(Sekretaris)



20/2/2017

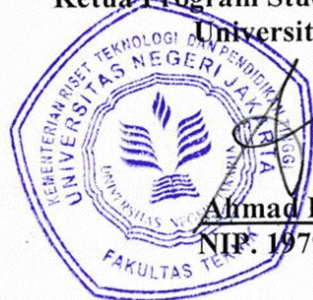
Dr. Eng. Agung Premono, M.T.
NIP. 197705012001121002
(Dosen Ahli)



24/2/2017

Tanggal Lulus : 10 Februari 2017

Mengetahui,
Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta



Ahmad Kholil, S.T., M.T.
NIP. 197908312005011001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : **Ilyas Ade Chandra**

No. Registrasi : **5315122792**

Tempat, tanggal lahir : **Jakarta, 23 Maret 1995**

Alamat : **Perumahan Taman Wisma Asri Jl.Durian X Blok C.12
No.57 RT.02 RW.05 Kel.Teluk Pucung Kec.Bekasi
Utara Kota Bekasi 17121**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi dengan judul “**Analisis Kekuatan pada Desain Arm Excavator Kelas 20 Ton**” adalah karya tulis ilmiah yang saya buat.
2. Karya tulis ilmiah ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ilmiah ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Jakarta, Januari 2017
Yang Membuat Pernyataan



Ilyas Ade Chandra

No. Registrasi 5315122792

ABSTRAK

Ilyas Ade Chandra. Skripsi: Analisis Kekuatan pada Desain *Arm Excavator* Kelas 20 Ton. Jakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, 2017.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforce*, *reinforce* versi *engineer* PT.PQR, dan *reinforce* versi *engineer* PT.XYZ. Analisis kekuatan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software Autodesk Inventor Professional 2015. Dimensi tinggi *arm excavator* kelas 20 ton 589 mm, panjang *arm excavator* kelas 20 ton 3742 mm, dan lebar *arm excavator* kelas 20 ton 325 mm. Simulasi dilakukan pada rancangan desain yang berbeda yaitu *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforce*, *reinforce* versi *engineer* PT.PQR, dan *reinforce* versi *engineer* PT.XYZ. Ketiganya diberi beban yang sama yaitu 14.648 N di *pin* 1, 11.107 N di *pin* 2, 23.770 N di *pin* 3, dan 94.165 N di *pin* 4. Penentuan *constraints* pada *arm excvator* yaitu di bagian *pin hydraulic arm* dan *center arm*. Setelah proses analisis dilakukan, hasil menunjukkan bahwa desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi PT.XYZ adalah yang paling kuat dan aman. Hal ini dilihat dari nilai tegangan maksimum yang terjadi sebesar 34,2145 MPa dan nilai *safety factor* sebesar 7,30685.

Kata kunci: kekuatan, *arm excavator*, *reinforce*

ABSTRACT

Ilyas Ade Chandra. Thesis: Analysis of the Strength on the Design of 20 Ton Class Arm Excavator. Jakarta: Education of Mechanical Engineering Faculty of the State University of Jakarta, 2017.

The purpose of this study was to analyze the strength on the design of 20 ton class arm excavator unreinforce, reinforce version of engineer PT.PQR, and reinforce engineer PT.XYZ version. Analysis of the strength using the finite element method with the help of Autodesk Inventor Professional 2015. Height dimensional of 20 ton class arm excavator 589 mm, long dimensional of 20 ton class arm excavator 3742 mm, and the width dimensional of 20 ton class arm excavator 325 mm. Simulations carried out on the design of different design that 20 ton class arm excavator unreinforce, reinforce version of engineer PT.PQR, and reinforce engineer PT.XYZ version. All three were given the same loads is 14.648 N on pin 1, 11.107 N on pin 2, 23.770 N on pin 3, and 94.165 N on pin 4. Determining the constraints on the design of arm excavator are hydraulic arm pin and center arm. After the analysis is done, the result showed that the design of reinforce 20 ton class arm excavator of engineer PT.XYZ version is the most strong and safety. The maximum stress that occurs of 34,2145 MPa and the value of safety factor of 7,30685.

Keywords : strength, arm excavator, reinforce

KATA PENGANTAR

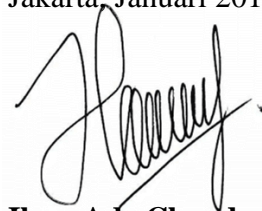
Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir skripsi ini dengan judul “**ANALISIS KEKUATAN PADA DESAIN ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON**” disusun guna memenuhi sebagian persyaratan untuk melengkapi dan memenuhi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Penulis dalam menulis skripsi ini menyadari sepenuhnya bahwa terlaksananya sampai kepada bentuk skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu memberikan dukungan moral dan do'anya hingga penulis bisa menyelesaikan studi.
2. Bapak Ahmad Kholil, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.
3. Bapak Drs. Sirojuddin, M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
4. Ibu Siska Titik Dwiwati S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T. selaku Penasehat Akademik yang juga telah banyak membantu penulis.
6. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin, khususnya kepada angkatan 2012 yang telah memberikan dukungan motivasi serta membantu penulis.
7. Siti Nur Aisyah yang telah memberikan motivasi, do'a, dan semangatnya hingga penulis bisa menyelesaikan studi.
8. Sahabat seperjuangan yaitu Febriyanto, Aditya Anggun Wijaya dan Tri Sutrisno yang telah memberikan semangat dan warna tersendiri di kehidupan penulis.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun, agar pada karya-karya yang akan datang lebih baik lagi. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Jakarta, Januari 2017



Ilyas Ade Chandra

No. Registrasi 5315122792

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3. Pembatasan Masalah	4
1.4. Perumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Teori Dasar Perancangan	7
2.1.1. Perancangan dan Gambar Teknik	7
2.1.2. Fase Dalam Perancangan	9
2.1.3. Jenis-Jenis Perancangan	10
2.2. Teori Dasar Metode Elemen Hingga	11
2.2.1. Tipe Elemen	12
2.2.2. <i>Stress, Strain, dan Displacement</i> dalam 3 Dimensi	13
2.3. <i>Autodesk Inventor</i>	15
2.4. <i>Stress Analysis</i>	19
2.5. Konsep Tegangan dan Regangan.....	19
2.5.1. Tegangan.....	19
2.5.2. Regangan.....	23
2.6. Teori Kegagalan Material	25
2.6.1. Teori Tegangan Normal Maksimum	25
2.6.2. Teori Tegangan Geser Maksimum	26
2.6.3. Teori Tegangan <i>Von Misses</i>	27
2.7. <i>Safety Factor</i>	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	35
3.3. Diagram Alir Penelitian	37
3.3.1. Uraian Prosedur Penelitian	38
3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data.....	55
3.4.1. Penentuan Pembebanan Gaya pada <i>Excavator</i>	55
3.4.2. Penentuan Berat Total <i>Arm Excavator</i>	57
3.4.3. Posisi Titik Berat <i>Arm Excavator</i>	57
3.4.4. <i>Free Body Diagram Arm Excavator</i>	59

3.4.5. Varian Model.....	60
3.5. Teknik Analisis Data	60
3.5.1. Alasan Pemilihan Varian Konsep.....	60
BAB IV HASIL PENELITIAN.....	61
4.1. Model Desain.....	61
4.2. Bahan dan Material.....	65
4.3. Perhitungan Teori	66
4.4. Kondisi Batas.....	71
4.5. Hasil Analisis dengan <i>Software Autodesk Inventor Professional 2015</i>	74
4.5.1. Hasil Analisis dari <i>Am Excavator Kelas 20 Ton Unreinforcement</i>	75
4.5.2. Hasil Analisis dari <i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.PQR</i>	77
4.5.3. Hasil Analisis dari <i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.XYZ</i>	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1. Kesimpulan	84
5.2. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN.....	88
RIWAYAT HIDUP	163

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Bagian-Bagian dari <i>Excavator</i> Kelas 20 Ton.....	2
Gambar 2.1.	Diagram Alir Proses Perancangan.....	10
Gambar 2.2.	Elemen <i>Tetrahedral</i>	13
Gambar 2.3.	<i>Stress State</i>	13
Gambar 2.4.	Tegangan Normal	21
Gambar 2.5.	Tegangan pada Pembebanan Elemen	21
Gambar 2.6.	Tegangan yang Bekerja pada Sebuah Bidang Elemen	23
Gambar 2.7.	Diagram Tegangan – Regangan	24
Gambar 2.8.	Perbandingan Teori Tegangan Geser Maksimum dengan Teori Tegangan <i>Von Misses</i>	28
Gambar 2.9.	Tegangan Elemen Tiga Dimensi	28
Gambar 2.10.	a) Kurva Regangan – Tegangan, b) Kurva Tegangan – Regangan Material Ulet dan Material Getas	33
Gambar 3.1.	Diagram Alir Proses Analisis <i>Software Inventor</i>	37
Gambar 3.2.	<i>Arm Excavator</i> dalam Dua Dimensi.....	39
Gambar 3.3.	Dimensi <i>Part 1 Arm Excavator</i>	39
Gambar 3.4.	Dimensi <i>Part 2 Arm Excavator</i>	40
Gambar 3.5.	Dimensi <i>Part 3 Arm Excavator</i>	40
Gambar 3.6.	Dimensi <i>Part 4 Arm Excavator</i>	41
Gambar 3.7.	Dimensi <i>Part 5 Arm Excavator</i>	41
Gambar 3.8.	Dimensi <i>Part 6 Arm Excavator</i>	42
Gambar 3.9.	Dimensi <i>Part 7 Arm Excavator</i>	42
Gambar 3.10.	Dimensi <i>Part 8 Arm Excavator</i>	43
Gambar 3.11.	Dimensi <i>Part 9 Reinforce Arm Excavator</i>	43
Gambar 3.12.	Dimensi <i>Part 10 Reinforce Arm Excavator</i>	44
Gambar 3.13.	Dimensi <i>Part 11 Reinforce Arm Excavator</i>	44
Gambar 3.14.	Dimensi <i>Part 12 Reinforce Arm Excavator</i>	45
Gambar 3.15.	Dimensi <i>Part 13 Stiffner Arm Excavator</i>	45
Gambar 3.16.	Pemberian <i>Meshing</i> pada <i>Arm Excavator</i>	46
Gambar 3.17.	Pemberian <i>Constraints</i> pada <i>Arm Excavator</i>	47
Gambar 3.18.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 1)</i>	48
Gambar 3.19.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 2)</i>	48
Gambar 3.20.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 3)</i>	49
Gambar 3.21.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 4)</i>	50
Gambar 3.22.	Pemberian Gravitasi pada <i>Arm Excavator</i>	51
Gambar 3.23.	Pemberian Material pada <i>Arm Excavator</i>	51
Gambar 3.24.	Proses Perhitungan pada <i>Software</i>	52
Gambar 3.25.	<i>Report Von Misses Stress</i>	52
Gambar 3.26.	<i>Report Displacement</i>	53
Gambar 3.27.	<i>Report Safety Factor</i>	53
Gambar 3.28.	<i>Excavator</i> dengan <i>Attachment Breaker</i>	55
Gambar 3.29.	Pembebanan Gaya pada <i>Excavator</i>	55
Gambar 3.30.	Spesifikasi <i>Breaker JTHB 210</i>	56
Gambar 3.31.	Pandangan Depan <i>Arm</i> Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu X.....	58
Gambar 3.32.	Pandangan Samping <i>Arm</i> Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu X	58

Gambar 3.33.	Diagram Benda Bebas <i>Arm Excavator</i>	59
Gambar 4.1.	<i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Unreinforcement</i>	61
Gambar 4.2.	<i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer</i> PT.PQR.....	62
Gambar 4.3.	<i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer</i> PT.XYZ.....	62
Gambar 4.4.	Pandangan Depan <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Unreinforcement</i>	63
Gambar 4.5.	Pandangan Depan <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer</i> PT.PQR.....	64
Gambar 4.6.	Pandangan Depan <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer</i> PT.XYZ.....	64
Gambar 4.7.	Pembebanan Gaya pada <i>Excavator</i>	66
Gambar 4.8.	Diagram Benda Bebas <i>Arm Excavator</i>	67
Gambar 4.9.	Pemberian <i>Constraints</i> pada <i>Arm Excavator</i>	71
Gambar 4.10.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 1)</i>	72
Gambar 4.11.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 2)</i>	72
Gambar 4.12.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 3)</i>	73
Gambar 4.13.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 4)</i>	74
Gambar 4.14.	Tegangan yang Terjadi pada Rangka <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Unreinforcement</i>	76
Gambar 4.15.	Tegangan yang Terjadi pada Rangka <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer</i> PT.PQR.....	78
Gambar 4.16.	Tegangan yang Terjadi pada Rangka <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer</i> PT.XYZ.....	80
Gambar 4.17.	Perbandingan Tegangan <i>Von Mises</i> dari Setiap Variasi Desain <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton	82
Gambar 4.18.	Perbandingan <i>Safety Factor</i> dari Setiap Variasi Desain <i>Arm</i> <i>Excavator</i> Kelas 20 Ton	82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 1)</i>	48
Tabel 3.2.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 2)</i>	49
Tabel 3.3.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 3)</i>	49
Tabel 3.4.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 4)</i>	50
Tabel 4.1.	Data Properti Material <i>JIS SM 50 YA</i>	65
Tabel 4.2.	Data Properti Material <i>JIS G 5101 (SC49)</i>	65
Tabel 4.3.	Data Properti Material <i>Steel, Mild</i>	66
Tabel 4.4.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 1)</i>	72
Tabel 4.5.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 2)</i>	73
Tabel 4.6.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 3)</i>	73
Tabel 4.7.	Pemberian Gaya pada <i>Arm Excavator (Force 4)</i>	74
Tabel 4.8.	Ringkasan Hasil Analisis <i>Software</i> dari <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Unreinforcement</i>	75
Tabel 4.9.	Hasil Analisis dari <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Unreinforcement</i>	77
Tabel 4.10.	Ringkasan Hasil Analisis <i>Software</i> dari <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer PT.PQR</i>	77
Tabel 4.11.	Hasil Analisis dari <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer PT.PQR</i>	79
Tabel 4.12.	Ringkasan Hasil Analisis <i>Software</i> dari <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer PT.XYZ</i>	79
Tabel 4.13.	Hasil Analisis dari <i>Arm Excavator</i> Kelas 20 Ton <i>Reinforce</i> Versi <i>Engineer PT.XYZ</i>	81
Tabel 4.14.	Hasil Analisis Setiap Variasi dari <i>Arm Excavator</i>	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	<i>Stress Analysis Report Arm Excavator Kelas 20 Ton Unreinforcement</i>	88
Lampiran 2.	<i>Stress Analysis Report Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR</i>	106
Lampiran 3.	<i>Stress Analysis Report Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ</i>	125
Lampiran 4.	<i>Assembly Arm Excavator Kelas 20 Ton</i>	144
Lampiran 5.	<i>Part - Part Arm Excavator Kelas 20 Ton</i>	150

BAB I

PENDAHULUAN

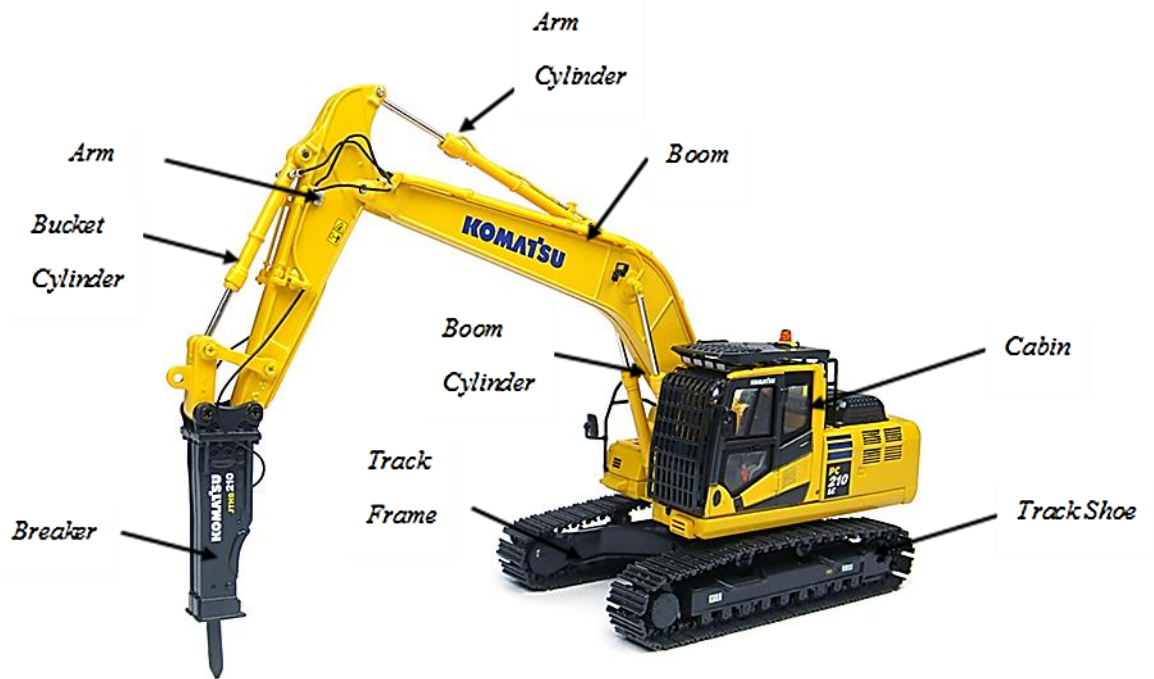
1.1. Latar Belakang

Alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Tujuan penggunaan alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relatif lebih singkat (Ahmad Kholil, 2012 :1).

Salah satu pabrik yang memproduksi alat berat jenis *excavator* terbesar di Indonesia adalah PT. XYZ (*manufacturer of heavy equipment*) dan membangun bisnis dengan agen distributor produk tersebut yakni PT. PQR.

Excavator merupakan salah satu alat berat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan material dari satu tempat ke tempat yang lain, meratakan permukaan tanah, mengeruk sungai, penghancur gedung, pertambangan, menggali parit, lubang dan pondasi. Tujuan penggunaan *excavator* adalah untuk membantu melakukan pekerjaan pemindahan material sehingga dapat menghemat waktu. Beberapa bidang dan industri yang menggunakan *excavator* antara lain konstruksi, pertambangan, infrastruktur dan sebagainya.

Secara umum konstruksi *hydraulic excavator* terdiri dari *attachment* dan *base machine*. *Attachment* terdiri dari *boom*, *arm*, *bucket* dan *base machine* terdiri dari *base frame*, *track frame*, dan *track shoe* (Payogo Septyabudi, 2013 : 1).



Gambar 1.1. Bagian-Bagian dari *Excavator* Kelas 20 Ton

Sumber : (<http://www.komatsu.eu/komatsu-attachments-hydraulic-breakers.asp>)

Perkembangan produk dalam dunia industri akan semakin dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas suatu produk tersebut. Produk merupakan titik awal dan titik akhir kesuksesan dalam industri manufaktur. Oleh karena itu, kesuksesan dalam persaingan industri tersebut akan ditentukan oleh keberhasilan mengembangkan produk sesuai dengan keinginan dan harapan konsumen.

PT. PQR dan PT. XYZ mengembangkan produk *excavator* kelas 20 ton yang berbeda, dalam hal ini pada bagian rangka *arm excavator* dengan membuat inovasi berupa *reinforce* yang diletakkan di bagian terluar dari rangka *arm excavator* tersebut. Tujuannya adalah untuk memperpanjang usia rangka *arm excavator* kelas 20 ton ketika *excavator* kelas 20 ton menggunakan *attachment breaker* sebagai pengganti fungsi *bucket* dalam pengerjaan proyek konstruksi dengan waktu yang lama.

Untuk itu pada penelitian ini, penulis melakukan *redesign arm excavator* kelas 20 ton dan melakukan analisis untuk mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton baik yang sudah diberikan *reinforce* yang dilakukan oleh pihak PT. PQR dan pihak PT. XYZ maupun yang belum diberikan inovasi (*unreinforcement*) dan menentukan desain *arm excavator* kelas 20 ton versi apa yang lebih kuat dan aman dengan pemodelan dan perakitan *arm excavator*, *arm cylinder*, dan *bucket cylinder* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor Professional 2015* dan *AutoCAD*.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas dapat diambil beberapa identifikasi masalah yaitu sebagai berikut :

1. Perencanaan *reinforce* pada *arm excavator* kelas 20 ton ini hanya bisa digunakan untuk *excavator* kelas 20 ton dengan menggunakan *attachment breaker*.
2. Bagaimana kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement*?
3. Bagaimana kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. PQR?
4. Bagaimana kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ?
5. Menentukan desain *arm excavator* kelas 20 ton versi apa yang lebih kuat dan aman.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang serta identifikasi masalah diatas, pembatasan masalah dalam penulisan ini sebatas mengenai analisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton sebagai berikut :

1. Menganalisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement*.
2. Menganalisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. PQR.
3. Menganalisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah diatas, maka masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. “Bagaimana kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement*?”
2. “Bagaimana kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. PQR?”
3. “Bagaimana kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ?”

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement*.
2. Untuk mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. PQR.
3. Untuk mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ.
4. Untuk mengetahui desain *arm excavator* kelas 20 ton versi apa yang lebih kuat dan aman.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Diharapkan dapat mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement*.
2. Diharapkan dapat mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. PQR.
3. Diharapkan dapat mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ.
4. Diharapkan dapat menjadi referensi kepada perusahaan alat berat untuk menggunakan desain *arm excavator* kelas 20 ton yang lebih kuat dan aman berdasarkan hasil penelitian ini.

Catatan

- ¹ Ahmad Kholil, *Alat Berat*, (Bandung : PT. Remaja Rosdakarya Offset, 2012), halaman 1.
- ² Prayogo Septyabudi, *Meningkatkan Kualitas Boom Casting Unit Hydraulic Excavator Kelas 13 Ton Pada Produksi Alat Berat di PT. XYZ*, (Jakarta : Teknik Industri Ekstensi Astra Binus, 2013), halaman 1.
- ³ <http://www.komatsu.eu/komatsu-attachments-hydraulic-breakers.asp> diakses pada tanggal 11 April 2016, pukul 12.45 WIB

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Teori Dasar Perancangan

Perancangan dan pembuatan produk merupakan bagian yang sangat besar dari semua kegiatan teknik yang ada. Kegiatan perancangan dimulai dengan didaptkannya persepsi tentang kebutuhan manusia, kemudian disusul oleh penciptaan konsep produk, disusul kemudian dengan perancangan, pengembangan, dan penyempurnaan produk, kemudian diakhiri dengan pembuatan dan pendistribusian produk.

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam tahap perancangan dibuat keputusan-keputusan penting yang mempengaruhi kegiatan-kegiatan lain yang menyusul. Di antara keputusan penting tersebut termasuk keputusan yang membawa akibat apakah industri dalam negeri dapat berpartisipasi atau tidak dalam pembangunan proyek. Dalam melaksanakan tugas merancang, perancang memakai dan memanfaatkan ilmu pengetahuan, ilmu dasar teknik, pengetahuan empiris, hasil-hasil penelitian, informasi dan teknologi, yang semuanya dalam versi perkembangan dan kemajuan mutakhir (H. Darmawan Harsokoemo, 2000 : 1).

2.1.1. Perancangan dan Gambar Teknik

Sebelum sebuah produk dibuat, maka produk tersebut haruslah dirancang terlebih dahulu. Dalam bentuknya yang paling sederhana, hasil desain tersebut dapat berupa sebuah sketsa atau gambar sederhana dari produk atau benda teknik yang akan dibuat. Dalam hal ini pembuat produk adalah si perancang sendiri,

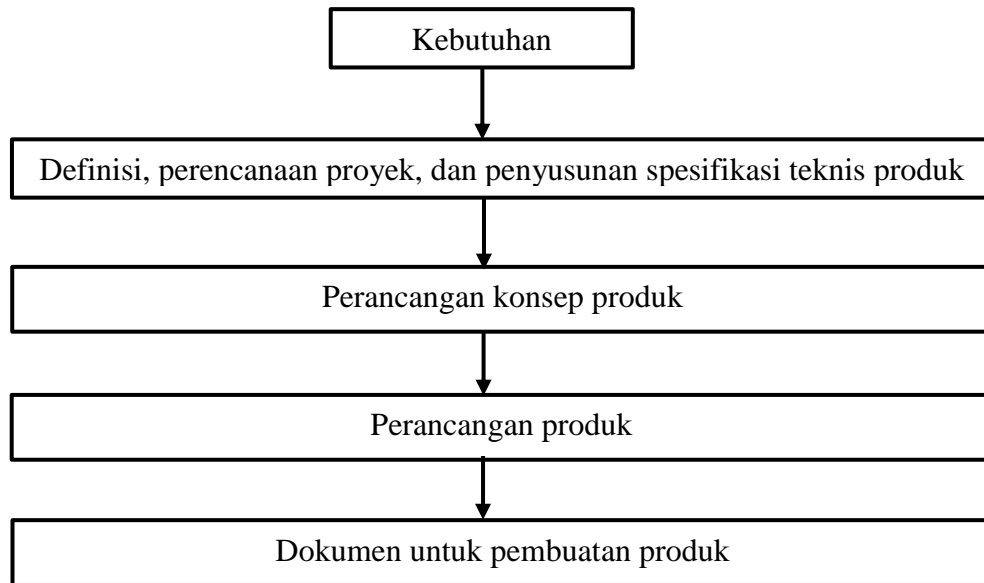
maka sketsa atau gambar yang dibuat cukup sederhana asal dapat dimengerti dirinya sendiri. Pada zaman modern ini sebagian besar produk merupakan benda teknik yang rumit yang mempunyai banyak elemen dan pada umumnya sudah tidak dapat lagi dibuat oleh hanya satu orang saja. Gambar yang dibuat pun sudah tidak sederhana lagi tetapi cukup rumit dan harus dibuat dengan aturan atau cara menggambar yang jelas agar dapat dimengerti oleh semua orang yang terlibat dalam kegiatan pembuatan produk. Gambar hasil desain produk adalah hasil akhir proses perancangan dan sebuah produk barulah dapat dibuat setelah dibuat gambar-gambar desainnya. Gambar adalah alat penghubung atau alat komunikasi antara perancang dan pembuat produk, dan antara semua orang yang terlibat dalam kegiatan perancangan dan pembuatan. Bahkan gambar teknik adalah bahasa universal yang dipakai dalam kegiatan dan komunikasi antara orang-orang teknik.

Perancangan dan pembuatan produk adalah dua kegiatan tunggal, artinya desain hasil kerja perancang tidak ada gunanya jika desain tersebut tidak dibuat, sebaliknya pembuat tidak dapat merealisasikan benda teknik tanpa terlebih dahulu dibuat gambar desainnya. Hasil kreasi berupa benda teknik dalam bentuk gambar merupakan tanggung jawab perancang, sedangkan realisasi fisik benda teknik tersebut adalah tanggung jawab pembuat. Sehingga gambar teknik merupakan bahasa penghubung antara keduanya dan merupakan elemen yang penting dalam suatu proses perancangan (H. Darmawan Harsokoesoemo, 2000 : 2).

2.1.2. Fase Dalam Perancangan

Proses perancangan dimulai dengan ditemukannya kebutuhan manusia akan suatu produk yang dapat dimanfaatkannya untuk meringankan beban hidupnya. Kebutuhan akan suatu produk tersebut pada umumnya tidak ditemukan oleh perancang, meskipun perancang dapat melakukannya. Kebutuhan tersebut dapat pula berupa pesanan yang diterima dari instansi atau perusahaan lain untuk dibuatkan produk, atau dapat pula ditemukan ketika sedang melakukan survei pasar yang menghasilkan kesimpulan perlunya dibuat suatu produk yang dapat dijual ke pasar. Kebutuhan akan suatu produk tersebut kemudian diberikan pada tim perancang untuk membuat desain produknya. Inilah awal proses perancangan.

Proses perancangan itu sendiri kemudian berlangsung melalui kegiatan kegiatan dalam fase yang berurutan, yaitu: 1) fase definisi proyek, perencanaan proyek, analisa masalah, dan penyusunan spesifikasi teknis produk, 2) fase perancangan konsep produk, 3) fase perancangan produk, 4) fase penyusunan dokumen atau pembuatan produk. Fase tersebut dapat dilihat pada diagram alir berikut (H. Darmawan Harsokoemo, 2000 : 5).



Gambar 2.1. Diagram Alir Proses Perancangan
 Sumber : (H. Darmawan Harsokoesoemo, 2000 : 5)

2.1.3. Jenis-Jenis Perancangan

H. Darmawan Harsokoesoemo (2000 : 18-19) *Engineering design* dapat dibagi menjadi beberapa bentuk, yaitu :

1. Perancangan original

Perancangan original disebut juga desain inovatif. Bentuk perancangan ini berada pada hirarki teratas. Hal tersebut menggunakan konsep yang original dan inovatif untuk mencapai suatu kebutuhan. Perancangan original yang sukses sangat jarang terjadi, namun apabila desain tersebut sukses, desain tersebut biasanya mengganggu pasar yang ada karena desain tersebut memiliki benih untuk teknologi terbaru.

2. Perancangan Adaptif

Perancangan adaptif adalah kegiatan merancang produk lama (produk yang sudah ada) yang mengalami perubahan-perubahan baik perubahan

dalam bentuk maupun ukurannya terutama perubahan dalam fungsinya sebagai hasil inovasi perancang, sehingga menjadi produk baru dengan fungsi baru.

3. Merancang ulang (*redesign*)

Merancang ulang dilakukan untuk menaikkan kualitas desain yang ada. Tugasnya dapat berupa mendesain ulang suatu komponen dalam produk yang gagal bekerja, atau mendesain ulang suatu komponen untuk menurunkan biaya produksi. Seringnya, desain ulang dicapai untuk tanpa ada perubahan dari prinsip kerja dari desain yang original.

Beberapa hal yang dilakukan pada kegiatan analisis perancangan adalah (1) analisis tegangan untuk mengetahui kekuatan produk, (2) perhitungan deformasi, (3) frekuensi pribadi, dan lain-lain, (4) pengecekan interferensi untuk mengetahui apakah dalam melakukan gerak untuk menghasilkan fungsinya, komponen-komponen produk saling bertabrakan, (5) analisis kinematik untuk mengecek apakah gerak yang dihasilkan produk sesuai dengan gerak yang disyaratkan (H. Darmawan Harsokoesoemo, 2000 : 26).

2.2. Teori Dasar Metode Elemen Hingga

Bila suatu kontinum dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka bagian kecil ini disebut elemen hingga (Weaver dan Johnston, 1993 : 1).

Sedangkan Hidajat (2005 : 4) mengatakan :

“Metode elemen hingga merupakan prosedur numerik untuk menyelesaikan permasalahan fisik yang diatur dalam diferensial atau teorema energi. Proses pembagian suatu kontinum menjadi elemen-elemen hingga ini sering disebut sebagai proses diskritisasi (pembagian). Dinamakan elemen hingga ukuran elemen kecil ini berhingga dan

umumnya memiliki bentuk geometri yang sederhana dibandingkan dengan kontinumnya”.

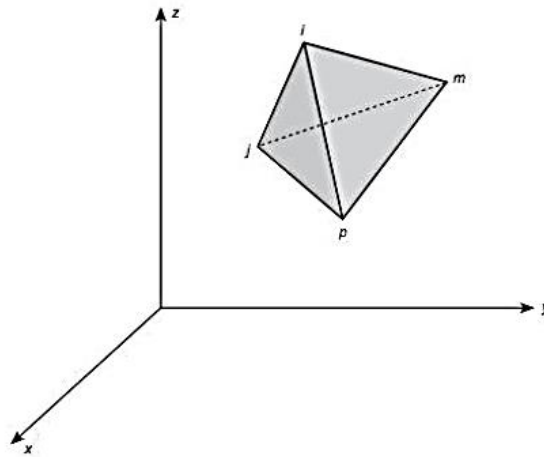
Menurut Erinofiardi (2012 : 365) “metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis data mengenai tegangan, tekanan, kecepatan fluida dan pengaruh temperatur”.

Pada metode elemen hingga pemodelan dilakukan dengan membagi model yang akan dianalisa menjadi beberapa elemen dan menggunakan elemen tersebut sebagai dasar perhitungan dan analisis. Elemen-elemen pada metode elemen hingga terdiri dari beberapa nodal dimana semakin banyak nodal yang digunakan akan diperoleh hasil yang presisi atau teliti.

Secara umum metode elemen hingga terdiri dari langkah dasar, yaitu : mendiskritisasikan daerah-daerah yang meliputi penempatan titik-titik nodal dan penentuan kordinatnya, menentukan derajat atau orde persamaan pendekatan linear, menyusun sistem persamaan-persamaan, menyelesaikan persamaan-persamaan, menghitung kuantitas yang dicari (Hidajat, 2005 : 6).

2.2.1. Tipe Elemen

Dalam metode elemen hingga, suatu struktur benda atau daerah yang akan dianalisis dilakukan dengan cara membagi struktur menjadi sejumlah besar bentuk yang dinyatakan sebagai elemen. Elemen dapat berupa garis lurus, segitiga, segiempat, tetrahedral dan hexahedral. Dalam penelitian ini elemen yang digunakan adalah elemen solid tetrahedral dikarenakan elemen ini mempunyai geometri yang sederhana untuk elemen tiga dimensi dan tidak ada integrasi numerik yang diperlukan untuk membentuk persamaan elemen, sehingga waktu perhitungan lebih efisiensi (Zienkiewich dan Taylor, 2000 : 128).

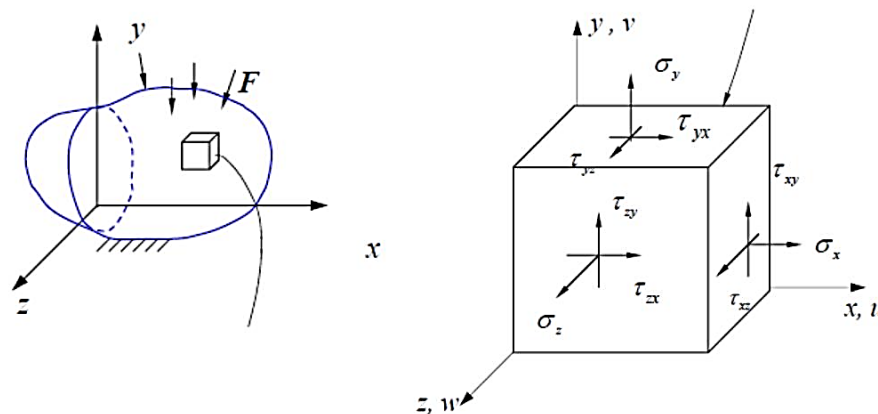


Gambar 2.2. Elemen Tetrahedral

Sumber : (Zienkiewich dan Taylor, 2000 : 128)

2.2.2. *Stress, Strain, dan Displacement* dalam 3 Dimensi

Elemen 3 dimensi adalah elemen yang dapat menahan beban pada semua arah (sumbu x, y dan z) dan umumnya beban yang bekerja adalah beban terpusat.



Gambar 2.3. Stress State

Menurut David Hutton (2004 : 364-365) “dalam *Stress State* vektor *Stress* dan vektor *Strain* mendapat pembebanan dari semua arah (sumbu x, y, z)”, sehingga normal *stress*, berarah tegak lurus pada permukaan elemen dinyatakan dalam τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} dan seterusnya. Dari kesetimbangan momen diperoleh :

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (2.1)$$

Oleh karenanya hanya ada tiga tegangan geser yang independen, dan ada tiga normal *stress*.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_y = \frac{\partial u}{\partial y} \quad \varepsilon_z = \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.2)$$

Dimana u , v , dan w adalah *displacement* pada arah sumbu x , y , dan z .

Tegangan geser (*shear stress*) γ diberikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} = \gamma_{yx}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = \gamma_{zy}, \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = \gamma_{xz} \quad (2.3)$$

Dalam bentuk matrik kolom, *stress* dan *strain* dinyatakan sebagai berikut :

Stress :

$$\boldsymbol{\sigma} = \{ \sigma \} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \text{or} \quad [\sigma_{ij}] \quad (2.4)$$

Strain :

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \{ \varepsilon \} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \text{or} \quad [\varepsilon_{ij}] \quad (2.5)$$

Hubungan *Stress – Strain* :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

Atau

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{E}\boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.7)$$

Displacement:

$$\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

Hubungan *Strain – Displacement* :

$$\{\boldsymbol{\varepsilon}\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

2.3. Autodesk Inventor

Menurut Yon F. Huda (2014 : 1-10) *Autodesk Inventor* adalah salah satu perangkat lunak (*software*) CADD (*Computer Aided Drawing and Design*) yang berbasis gambar tiga dimensi solid. *Autodesk Inventor* dirancang untuk memenuhi

kebutuhan penggambaran (*drawing*) dan perancangan (*designing*), terutama untuk produk-produk mekanis. Sebagai perangkat lunak yang disiapkan untuk proses perancangan produk, *Autodesk Inventor* memiliki beberapa keunggulan, yakni :

1. Kualitas gambar 3 dimensi (3D) yang sangat realistis sehingga pengguna akan benar-benar merasa sedang membuat produk yang sesungguhnya. Kondisi ini sangat membantu perancang dalam merealisasikan gagasan yang mula-mula abstrak menjadi lebih konkrit.
2. Fitur-fitur sangat lengkap sehingga memungkinkan pengguna secara leluasa, mudah dan cepat menggambar atau merealisasikan gagasannya dalam bentuk bentuk gambar 3D dari tingkat sederhana hingga kompleks.
3. Kemampuan *editing* yang sangat luas sehingga memudahkan proses penggambaran, terutama jika diperlukan penyesuaian ukuran produk.
4. Tersedianya ribuan jenis komponen mekanis standar sehingga pengguna tidak harus menggambar seluruh komponen yang diperlukan di dalam gambar maupun rancangannya. Pengguna dapat mengambil komponen seperti baut, *bearing*, *seal* dan lain-lain dari *content center*.

Seiring makin pesatnya perkembangan teknologi manufaktur, perkembangan metode pembuatan gambar teknik mesin menuntut kecepatan dan akurasi yang tinggi. Hal ini karena kecepatan ketersediaan gambar kerja di bengkel produksi atau pabrik sangat berpengaruh terhadap kecepatan proses produksi barang. Keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh *Autodesk Inventor* sangat relevan untuk menjawab kebutuhan dunia manufaktur produk mekanis, sehingga cukup beralasan jika *Autodesk Inventor* dipilih sebagai salah satu dalam

proses pembuatan gambar teknik mesin. dalam kaitannya dalam kemudahan dan kecepatan kerja, tampilan *Autodesk Inventor* dirancang sangat komunikatif dimana tampilan terbagi dalam bagian penting yang memudahkan pekerjaan penggambaran.

Ada beberapa rumus yang digunakan di dalam *software Autodesk Inventor Professional 2015 (Help Autodesk Inventor Professional 2015)* :

Shear forces:

$$T(z) = - \int q(z) dz + \sum_0^n F \quad (2.9)$$

Bending moments:

$$M_B(z) = \int T(z) dz + \sum_0^n M_B \quad (2.10)$$

Deflection angle:

$$\varphi(z) = - \int \frac{M_B(z)}{E * J(z)} dz + \varphi(0) + \frac{\beta}{G * S(z)} \quad (2.11)$$

Dengan :

E *modulus of elasticity in tension*

J *moment of inertia*

G *modulus of rigidity*

β *shear displacement ratio*

Deflection:

$$y(z) = \int \varphi(z) dz + y(0) \quad (2.12)$$

Bending stress:

$$\sigma_B(z) = \frac{M_B(z)}{W_B(z)} \quad (2.13)$$

Shear stress:

$$\tau_S(z) = \frac{T(z)}{S(z)} \quad (2.14)$$

Torsion stress:

$$\tau(z) = \frac{M_{\text{torq}}(z)}{W_{\text{torq}}(z)} \quad (2.15)$$

Tension stress:

$$\sigma_T(z) = \frac{\sum_0^n F_z}{S(z)} \quad (2.16)$$

Reduced stress:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_T)^2 + \alpha * (\tau^2 + \tau_S^2)} \quad (2.17)$$

dengan:

σ_B *bending stress*

τ_S *shear stress*

σ_T *tension stress*

α $\alpha = 3$ for HMH / 4 for Tresca-Guest

τ *torsion stress*

2.4. *Stress Analysis*

Syaiful A. & Alchazin (2012 : 53) *stress analysis* merupakan sebuah alat yang disediakan bagi pengguna *Autodesk Inventor* yang berfungsi untuk menganalisis kekuatan. Alat ini cukup mudah digunakan dan dapat membantu kita untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang harus kita keluarkan akan berkurang, *time to market* dari benda yang kita desain pun dapat dipercepat karena kita sudah mensimulasikan terlebih dahulu benda yang kita desain di komputer sebelum masuk ke proses produksi.

Keakuratan hasil analisis tergantung dari material, *restraint* (bagian yang diam), dan *loads* (beban) yang diberikan. Jadi, untuk mendapatkan hasil yang valid kita harus memastikan bahwa properti dari material yang kita berikan benar-benar mewakili material yang akan kita gunakan. Demikian pula *restraints*, *loads*, kedua hal tersebut harus mewakili kondisi kerja dari benda.

Stress (ketegangan) atau statik analisis menghitung *displacement*, *strains* dan *stresses* berdasarkan material, *restraint*, dan *loads* yang diberikan. Sebuah material akan mengalami patah, atau berubah bentuk ketika *stress*-nya mencapai level tertentu. Setiap material memiliki tingkatan *stress* yang berbeda. *Stress Analysis* pada *Autodesk Inventor* menggunakan *linear static Analysis* berdasarkan *Finite Element Method* (FEM), untuk menghitung *stress*.

2.5. Konsep Tegangan dan Regangan

2.5.1. Tegangan

Tegangan diidentifikasi sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar yang diukur dalam bentuk gaya yang di timbulkan per satuan luas (Jansen dan

Chenoweth, 1989 : 1). Dalam menentukan bahan untuk pembuatan suatu struktur atau komponen, maka hal yang paling utama yang harus ditentukan adalah tegangan yang mampu diberikan pada struktur tersebut. Menurut Jansen dan Chenoweth (1989 : 4) “tegangan ijin merupakan bagian kekuatan batas yang bisa aman digunakan pada perancangan”.

Tegangan yang bekerja pada penampang bahan dapat dirumuskan sebagai berikut : (Singer dan Pytel, 1985 : 5)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.18)$$

Dengan : σ adalah tegangan normal $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

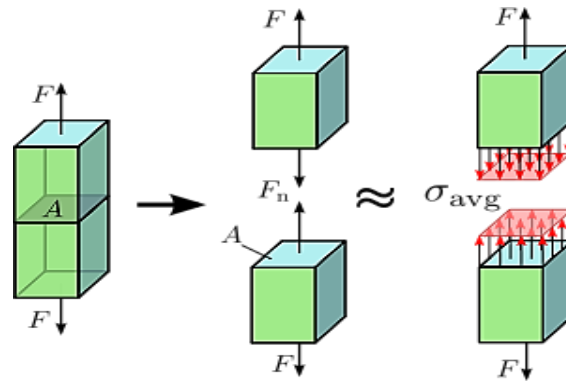
A adalah luas (m^2)

F adalah gaya tegak lurus terhadap potongan $\left(kg \cdot \frac{m}{s^2} \text{ atau } N\right)$

Jansen dan Chenoweth (1989 : 2) secara umum tegangan dasar dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Tegangan normal

Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan yang mengalami tegangan yang sedang ditinjau. Tegangan normal terdiri atas dua tegangan, yaitu : tegangan tarik, tegangan normal yang menghasilkan tarikan (*tension*) pada permukaan sebuah benda dan tegangan tekan, tegangan yang memberikan dorongan (*compressive*) pada permukaan sebuah benda.

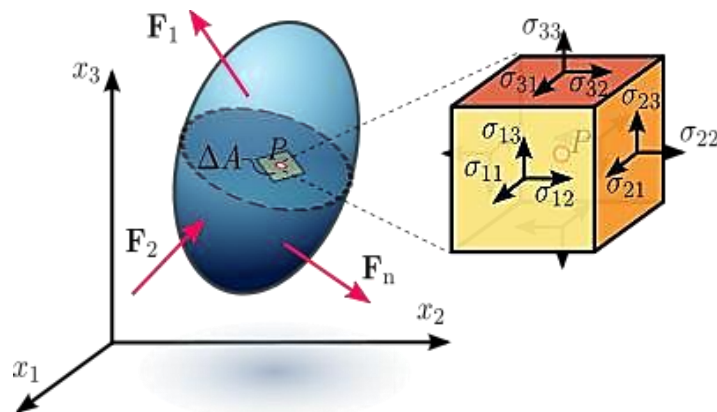


Gambar 2.4. Tegangan Normal

Sumber : [https://en.wikipedia.org/wiki/stress_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/stress_(mechanics))

2. Tegangan geser

Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar terhadap permukaan yang mengalami tegangan.



Gambar 2.5. Tegangan pada Pembebanan Elemen

Sumber : [https://en.wikipedia.org/wiki/stress_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/stress_(mechanics))

Keterangan gambar 2.5 yaitu :

Dengan sumbu $X_1 = x$; $X_2 = y$; $X_3 = z$ maka di dapat persamaan

matriksnya sebagai berikut :

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Dimana $\tau_{xy} = \tau_{yx}$; $\tau_{xz} = \tau_{zx}$; $\tau_{yz} = \tau_{zy}$

σ_x = Tegangan normal yang bekerja pada bidang x dan arah sumbu x.

σ_y = Tegangan normal yang bekerja pada bidang y dan arah sumbu y.

σ_z = Tegangan normal yang bekerja pada bidang z dan arah sumbu z.

τ_{xy} = Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal terhadap sumbu x dalam arah sumbu y.

τ_{xz} = Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal terhadap sumbu x dalam arah sumbu z.

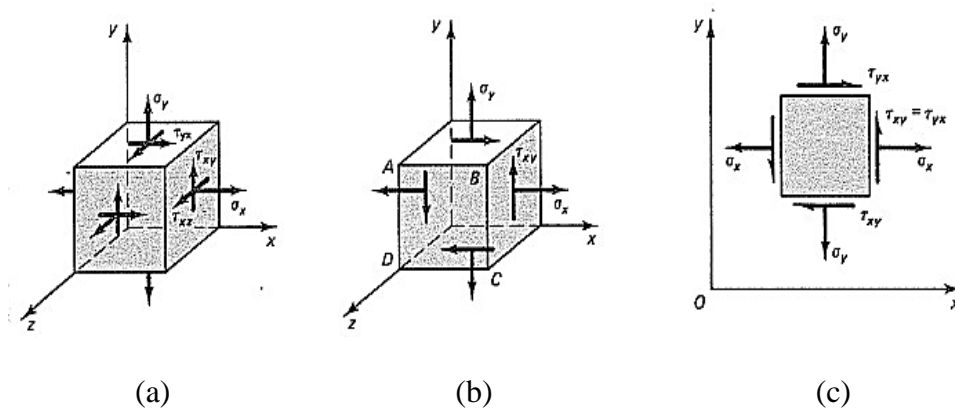
τ_{yx} = Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal terhadap sumbu y dalam arah sumbu x.

τ_{yz} = Tegangan geser yang bekerja pada pada bidang normal terhadap sumbu y dalam arah sumbu z.

τ_{zx} = Tegangan geser yang bekerja pada pada bidang normal terhadap sumbu z dalam arah sumbu x.

τ_{zy} = Tegangan geser yang bekerja pada pada bidang normal terhadap sumbu z dalam arah sumbu y (*Lecture 3 Engineering*).

Persamaan transformasi tegangan bidang diperlihatkan dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6. Tegangan yang Bekerja pada Sebuah Bidang Elemen
Sumber : (G. Dietmar, 2011)

2.5.2. Regangan

Menurut Shigley dan Mitchell (1984 : 41) regangan adalah jumlah pertambahan panjang atau pemuaihan, sedangkan satuan regangan adalah pertambahan panjang per satuan panjang dari batang tersebut. Menurut Singer dan Pytel (1985 : 32) “untuk memperoleh satuan regangan, maka dilakukan dengan membagi perpanjangan dengan panjang yang telah diukur”, dengan demikian rumusnya adalah sebagai berikut :

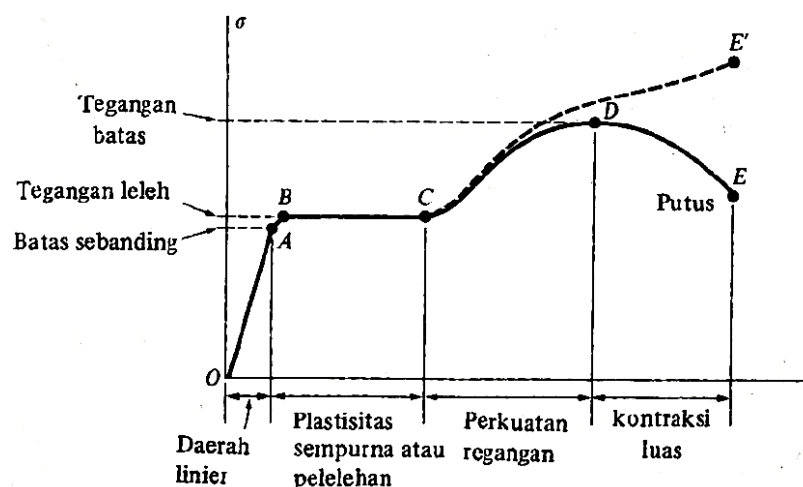
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.20)$$

Dengan : ε = regangan

δ = perubahan bentuk aksial total (mm)

L = Panjang batang (mm)

Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada diagram tegangan – regangan berikut ini :



Gambar 2.7. Diagram Tegangan – Regangan

Sumber : (Gere dan Timoshenko, 1996 : 10)

Dari diagram tegangan – regangan pada gambar 2.7 diketahui pemberian beban sampai batas sebanding akan mempercepat regangan setiap pertambahan tegangan, akibatnya jika tegangan melebihi batas sebanding maka terjadi kurva kemiringan sampai dititik B (tegangan leleh), dari kurva titik B terjadi regangan yang sangat besar sampai pada titik C tanpa adanya 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 tegangan batas, jika penarikan bahan itu dilakukan sebenarnya diikuti dengan pengurangan beban dimana terjadi proses *necking* atau kontraksi luas, membuat bahan menjadi putus dititik E. jika luas penampang sebenarnya pada bagian sempit dari kontraksi luas

digunakan untuk menghitung tegangan, maka kurva tegangan regangan sebenarnya akan mengalami seperti garis terputus-putus CE' .

2.6. Teori Kegagalan Material

Kegagalan pada suatu elemen mesin dapat terjadi dalam berbagai wujud seperti misalnya *yielding*, retak, patah, korosi, aus, dan lain-lain. Penyebab kegagalan juga bermacam-macam seperti misalnya salah desain, beban operasional, kesalahan *maintenance*, cacat material, temperatur, lingkungan, waktu, dan lain-lain. Dalam beberapa kasus kegagalan juga dapat diakibatkan oleh beban mekanis yaitu yang berhubungan dengan jenis tegangan yang terjadi pada komponen mesin. Dengan pengetahuan yang lengkap tentang kegagalan, maka para insinyur dapat mempertimbangkan berbagai aspek penyebab kegagalan dalam perancangan sehingga diharapkan kegagalan tidak akan terjadi selama umur teknisnya (Hasan Syaifuddin, 2015 : 15-16)

Dalam suatu rekayasa teknik, merupakan hal yang penting menentukan batasan tegangan yang menyebabkan kegagalan dari material tersebut. Dalam menggunakan teori kegagalan yang penting adalah menentukan tegangan utama (*principal stress*) . Ada tiga teori kriteria kegagalan statis yang biasa dipakai antara lain :

2.6.1. Teori Tegangan Normal Maksimum

Teori ini menyatakan bahwa kegagalan terjadi bila salah satu dari tegangan utama (*principal stress*) sama dengan kekuatan dari material (Yogo Adi Nugroho, 2012 : 22).

Secara matematis tegangan normal maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$(\sigma_1, \sigma_2)_{\substack{\text{maks} \\ \text{min}}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.21)$$

Jika kriteria kegagalan adalah titik luluh (*yield*), teori ini memperkirakan kegagalan akan terjadi bila :

$$\begin{aligned} \sigma_1 &\geq S_{ut}/n_s \\ \sigma_3 &\geq S_{uc}/n_s \end{aligned} \quad (2.22)$$

dimana: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ = tegangan normal utama

S_{ut} = kekuatan *ultimate* material terhadap tarik

S_{uc} = kekuatan *ultimate* material terhadap tekan

2.6.2. Teori Tegangan Geser Maksimum

Menurut Yogo Adi Nugroho (2012 : 23) teori ini mengatakan bahwa kegagalan akan terjadi bila tegangan geser maksimum pada setiap elemen mesin sama dengan kekuatan geser dari material.

Secara matematis tegangan geser maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$(\tau)_{\substack{\text{maks} \\ \text{min}}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.23)$$

$$(\tau)_{\max}^{\min} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x^2 - 2\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2) + 4\tau_{xy}^2} \quad (2.24)$$

$$\sigma_e = 2\tau_{\max} \quad (2.25)$$

$$\sigma_e = (\sigma_x^2 - 2\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 4\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

Jika tegangan utama disusun dalam bentuk $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ teori tegangan geser maksimal memperkirakan bahwa kegagalan akan terjadi bila :

$$\begin{aligned} |\sigma_1 - \sigma_2| &\geq \sigma_y/n_s \\ |\sigma_2 - \sigma_3| &\geq \sigma_y/n_s \\ |\sigma_3 - \sigma_1| &\geq \sigma_y/n_s \end{aligned} \quad (2.27)$$

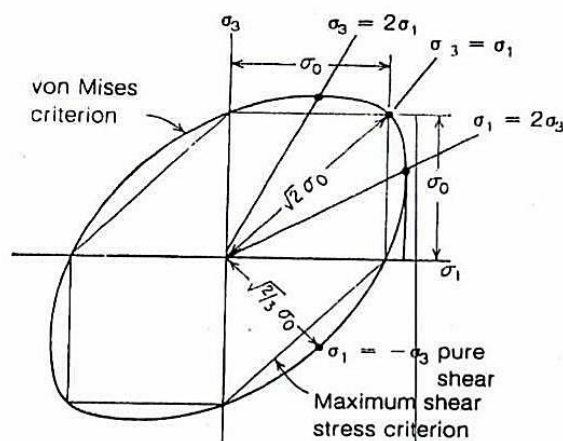
atau

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{\sigma_y}{2} \text{ atau } \sigma_1 - \sigma_3 \geq \sigma_y \quad (2.28)$$

Dimana σ_y adalah kekuatan material pada saat uji tarik. Jadi kegagalan akan terjadi jika salah satu persamaan di atas terpenuhi.

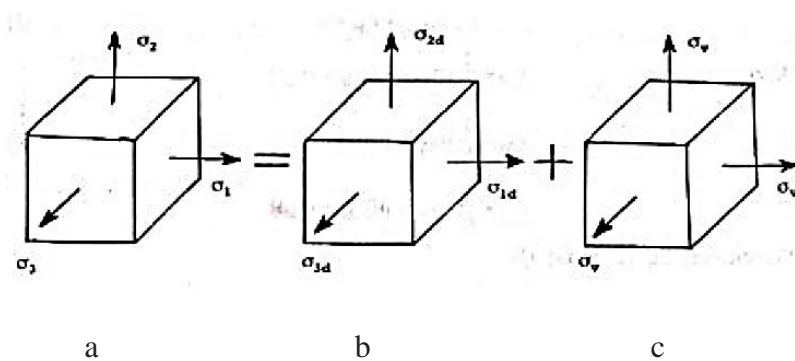
2.6.3. Teori Tegangan Von Misses

Tegangan *von misses* adalah tegangan yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada material apabila material mendapatkan tegangan triaksial yang menghasilkan energi regangan. Kegagalan terjadi ketika besar energi regangan dari tegangan triaksial sama dengan energi regangan dari uji tarik standar material ketika mulai terjadi luluh (Bhandari, 1994 : 93).



Gambar 2.8. Perbandingan Teori Tegangan Geser Maksimum dengan Teori Tegangan *Von Mises*

Dari percobaan – percobaan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa teori energi distorsi (*Von Mises*) memperkirakan kegagalan dengan ketelitian tertinggi pada semua kuadran (G.Richard, dkk, 2011).



Gambar 2.9. Tegangan Elemen Tiga Dimensi

Sumber : (Bhandari, 1994 : 93)

Gambar 2.9 menggunakan sebuah unit kubus yang dikenai tiga tegangan normal σ_1 , σ_2 , σ_3 . Gambar 2.9a menggambarkan elemen dengan tiga tegangan sumbu, gambar 2.9b menggunakan komponen tegangan untuk distorsi, gambar tegangan 2.9c menggunakan tegangan untuk perubahan volume. Rumus energi regangan total yang diberikan adalah :

$$U = \frac{1}{2}\sigma_1\varepsilon_1 + \frac{1}{2}\sigma_2\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\sigma_3\varepsilon_3 \quad (2.29)$$

Dimana ε_1 , ε_2 , ε_3 adalah regangan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E}[\sigma_1 + \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E}[\sigma_2 + \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E}[\sigma_3 + \nu(\sigma_1 + \sigma_2)] \end{aligned} \quad (2.30)$$

Sehingga rumus untuk energi regangan total menjadi :

$$U = \frac{1}{2E}[(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] \quad (2.31)$$

Tegangan *von misses* menurut Bhandari (1985 : 152) diperoleh menggunakan persamaan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$U = U_v + U_d \quad (2.32)$$

$$U_v = \frac{(1-2\nu)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}{6E} \quad (2.33)$$

$$U_d = U - U_v \quad (2.34)$$

$$U_d = \frac{1}{2E} [(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] -$$

$$\frac{(1-2\nu)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}{6E}$$

$$U_d = \frac{(1+\nu)}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (2.35)$$

Dalam uji tarik sederhana, ketika spesimen mulai luluh, maka besar elemen tegangannya adalah $\sigma_1 = \sigma_y$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, sehingga

$$U_d = \left(\frac{1+\nu}{6E} \right) \sigma_y^2 \quad (2.36)$$

Dari persamaan diatas, kriteria tegangan kegagalan untuk teori energi distorsi (tegangan *von misses*) dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1\sigma_2)^2 + (\sigma_2\sigma_3)^2 + (\sigma_3\sigma_1)^2]} \quad (2.37)$$

Untuk keadaan tegangan dua dimensi, $\sigma_2 = 0$ maka

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2} \quad (2.38)$$

Tegangan efektif *von misses* didefinisikan sebagai tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (2.39)$$

atau

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

untuk kasus tegangan dua dimensi $\sigma_2 = 0$ maka

$$\begin{aligned} \sigma' &= \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2} \\ \sigma' &= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\text{kegagalan akan terjadi apabila } \sigma' \geq \frac{S_y}{n_s} \quad (2.41)$$

Untuk geseran murni $\sigma_1 = \tau = -\sigma_3$ dan $\sigma_2 = 0$

$$\sigma_y = \sigma_1^2 + \sigma_1\sigma_2 + \sigma_1^2 = 3\sigma_1^2 = 3\tau_{\max}^2 \quad (2.42)$$

$$\sigma_1 = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0.577S_y = \tau_{\max} \quad (2.43)$$

2.7. Safety Factor

Istilah *safe stress*, *allowable stress* atau *permissible stress* dan *design stress* memiliki pengertian yang sama. Tegangan yang digunakan dalam mendesain sebuah mesin harus memiliki faktor keamanan agar kegagalan tidak terjadi. Tegangan tersebut biasa disebut juga *allowable stress*.

Dibawah batas luluh, deformasi yang dihasilkan proporsional terhadap beban yang dikenakan. Tegangan luluh terjadi ketika beban yang dikenakan menyebabkan adanya deformasi plastis. Sedangkan *ultimate stress* merupakan tegangan maksimum yang mampu dicapai oleh material sebelum mengalami patah.

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan suatu bagian mesin (Shigley dan Mitchell, 1984 : 11). Untuk menghindari terjadinya keruntuhan struktur maka kekuatan sebenarnya dari suatu bahan haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut faktor keamanan (*factor of safety*).

Keruntuhan struktur dapat berarti patah atau runtuhnya sama sekali suatu struktur atau dapat berarti bahwa deformasinya telah melampaui beberapa harga

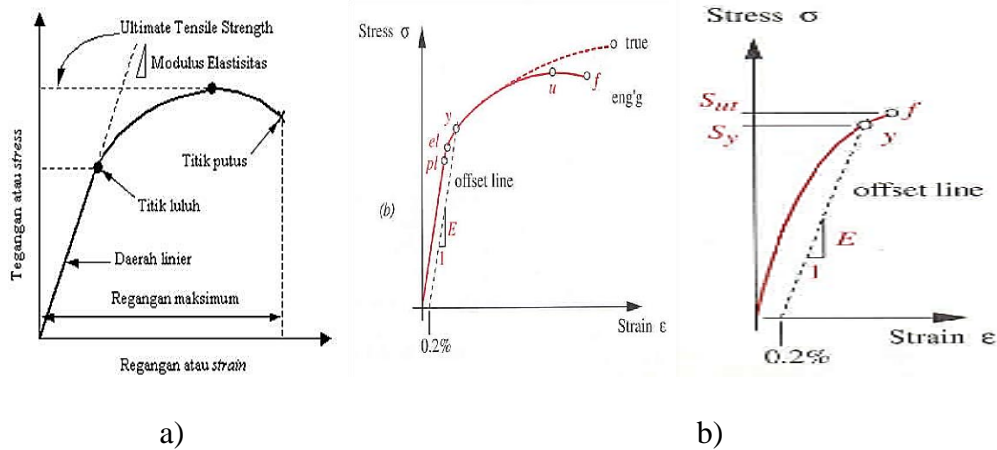
batas sehingga strukturnya tidak lagi mampu memperlihatkan fungsinya yang diharapkan.

Menurut Mott (2009: 164) untuk menentukan faktor keamanan suatu struktur yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut :

1. $n = 1,25$ hingga $2,0$ untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
2. $n = 2,0$ hingga $2,5$ untuk perancangan elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
3. $n = 2,5$ hingga $4,0$ untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
4. $n = 4,0$ atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi bahan, sifat-sifat bahan, analisa tegangan, atau lingkungan.

Rumus faktor kewanaman secara matematis ditulis.

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Yeild Point Stress}}{\text{Working atau design stress}} \quad (2.44)$$



Gambar 2.10. a) Kurva Regangan – Tegangan, b) Kurva Tegangan – Regangan Material Ulet dan Material Getas

Di dalam penelitian ini, penulis mengacu pada standar ANSI MH29.1 dalam menentukan *safety factor* dengan ketentuannya sebagai berikut :

$$1) \text{ Tegangan normal izin } (\sigma_a) = \frac{\text{yield strength}}{\text{factor safety}} = \frac{\sigma_y}{n_s} = \frac{\sigma_y}{3} \quad (2.45)$$

$$2) \text{ Tegangan geser izin } (\tau_a) = 0,577 \times \sigma_a \quad (2.46)$$

$$3) \tau_{max} \text{ yang terjadi } \leq \tau_a \text{ maka hasilnya aman.} \quad (2.47)$$

Catatan

⁴ Darmawan Harsokoesoemo, *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*, (Jakarta : Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, 2000), halaman 1.

⁵ *Ibid.*, halaman 2.

⁶ *Ibid.*, halaman 5.

⁷ *Ibid.*

⁸ *Ibid.*, halaman 18-19.

⁹ *Ibid.*, halaman 26.

¹⁰ Weaver dan Johnston, *Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*, (Bandung : Eresco, 1993), halaman 1.

¹¹ Hidajat, *Teori dan Penerapan Metode Elemen Hingga*, (Surakarta : LPP UNS dan UNS Press, 2005), halaman 4.

¹² Erinofardi, *Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga*, (Jakarta : Rekaya Mesin, 2012), halaman 365.

¹³ Hidajat, *op.cit.*, halaman 6.

¹⁴ Zienkiewicz dan Taylor, *The Finite Element Method 5th Edition*, (Oxford : Oxford Butterworth – Heinemann, 2000), halaman 128.

¹⁵ *Ibid.*

- ¹⁶ David Hutton, *Fundamentals of Finite Element Analysis*, (New York : The McGraw-Hill Companies, 2004), halaman 364-365.
- ¹⁷ Yon F. Huda, *Mahir Menggunakan Autodesk Inventor Pro 2013 Untuk Menggambar Mesin 3D*, (Jakarta : ANDI, 2014), halaman 1-10.
- ¹⁸ <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2015/ENU/?guid=GUID-84D01561-FD7F-4F17-A625-C86F412BE370> diakses pada tanggal 11 Desember 2016, pukul 14.45 WIB.
- ¹⁹ Syaiful A dan Alchazin, *Modul Training Autodesk Inventor 2012*, (Bogor : LAPAN, 2011), halaman 53.
- ²⁰ Singer dan Pytel, *Kekuatan Bahan*, (Jakarta : Erlangga, 1985), halaman 5.
- ²¹ Jansen dan Chenoweth, *Kekuatan Bahan Terapan 4th Edition*, (Jakarta : Erlangga, 1989), halaman 2.
- ²² [https://en.wikipedia.org/wiki/Stress_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Stress_(mechanics)) diakses pada tanggal 11 April 2016, pukul 16.45 WIB.
- ²³ G. Dietmar, *Engineering Mechanics 2 : Mechanics of Materials*, (New York : Springer, 2011), halaman 255.
- ²⁴ Shigley dan Mitchell, *Perencanaan Teknik Mesin 4th Edition*, (Jakarta : Erlangga, 1984), halaman 41.
- ²⁵ Gere dan Timoshenko, *Mekanika Bahan*, (Jakarta : Erlangga, 1996), halaman 10.
- ²⁶ Hasan Syaifuddin, *Analisis Tegangan Von Mises Pegas Daun Mobil Loistik Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga*, (Semarang : Teknik Mesin Unnes, 2015), Halaman 15-16.
- ²⁷ Yogo Adi Nugroho, *Desain dan Analisa Gerbong Kereta Api Pengangkut Bahan Bakar Premium dengan Metode Elemen Hingga*, (Semarang : Teknik Mesin Undip, 2012), halaman 22.
- ²⁸ *Ibid.*, hal. 23.
- ²⁹ Bhandari, *Design of Machine Elements*, (New Delhi : Tata McGraw-Hill, 1994), halaman 93.
- ³⁰ G. Richard, dkk, *Shigley's Mechanical Engineering Design 9th Edition*, (New York : McGraw-Hill, 2011), halaman 266.
- ³¹ Bhandari, *op.cit.*, hal 93.
- ³² *Ibid.*, hal 152.
- ³³ Shigley dan Mitchell, *op.cit.*, hal 11.
- ³⁴ Mott, *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*, (Yogyakarta : ANDI, 2009), halaman 164.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat pelaksanaan penelitian :
 - a. Perhitungan, analisis, dan perbaikan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton di laboratorium perancangan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
 - b. Pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan, analisis, dan perbaikan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton di PT. United Tractors Tbk dan perpustakaan Universitas Negeri Jakarta.
2. Waktu penelitian dan analisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton dimulai dari Maret 2016 sampai dengan bulan Desember 2016.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat lunak

Perangkat lunak yang digunakan peneliti adalah sebagai berikut:

a. *AutoCAD* 2007

Software AutoCAD 2007 digunakan untuk menggambarkan rancangan dalam dua dimensi serta dapat menentukan ukuran yang dibutuhkan dalam penelitian.

b. *Autodesk Inventor Professional 2015*

Software Autodesk Inventor Professional 2015 digunakan untuk menggambarkan rancangan dalam tiga dimensi serta dapat menjalankan proses analisis yang dibutuhkan dalam penelitian.

c. *Microsoft Office Word 2016*

Software Microsoft Office Word 2016 digunakan untuk menyusun laporan hasil penelitian.

2. Alat penelitian

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

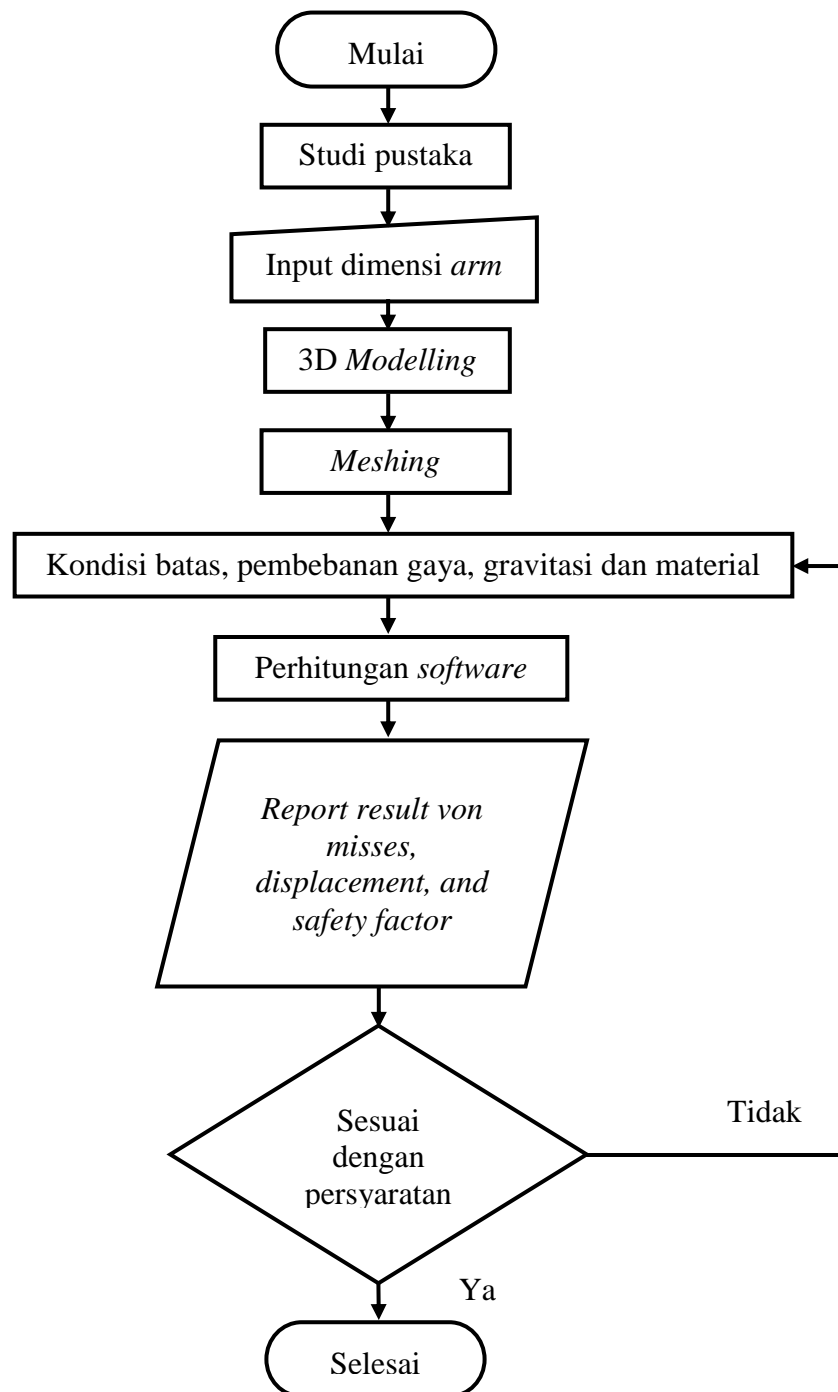
a. Komputer

Peralatan komputer digunakan untuk menginput data yang dibutuhkan dalam penelitian dan menyusun laporan hasil penelitian.

b. Alat ukur satuan panjang

Peralatan alat ukur satuan panjang digunakan untuk mengukur panjang, tinggi, dan lebar *arm excavator* yang nantinya dibutuhkan dalam proses pembuatan sketsa dua dimensi di *software AutoCAD 2007* dan analisis di *software Autodesk Inventor Professional 2015*.

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Analisis *Software Inventor*

3.3.1. Uraian Prosedur Penelitian

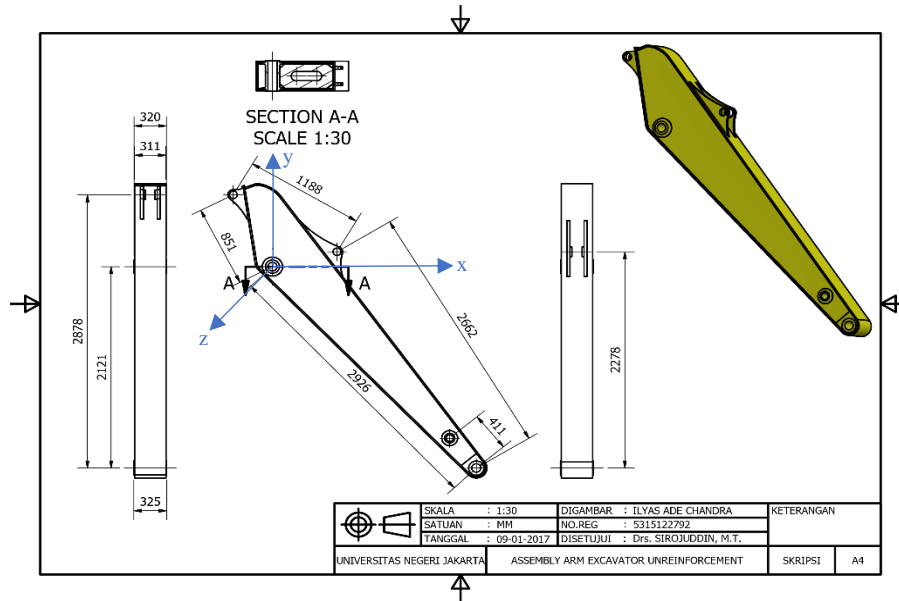
1. Studi pustaka

Pada tahap ini penulis mempelajari penelitian sebelumnya tentang perilaku dan pemodelan pada *arm excavator* kelas 20 ton. Serta membuat sketsa yang sesuai dan akurat dengan melihat dari buku *shop manual excavator* kelas 20 ton. Beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki hubungan yang kuat dengan topik yang diusulkan dan dikaji berulang-ulang untuk mendapatkan pemahaman dan pedalaman materi.

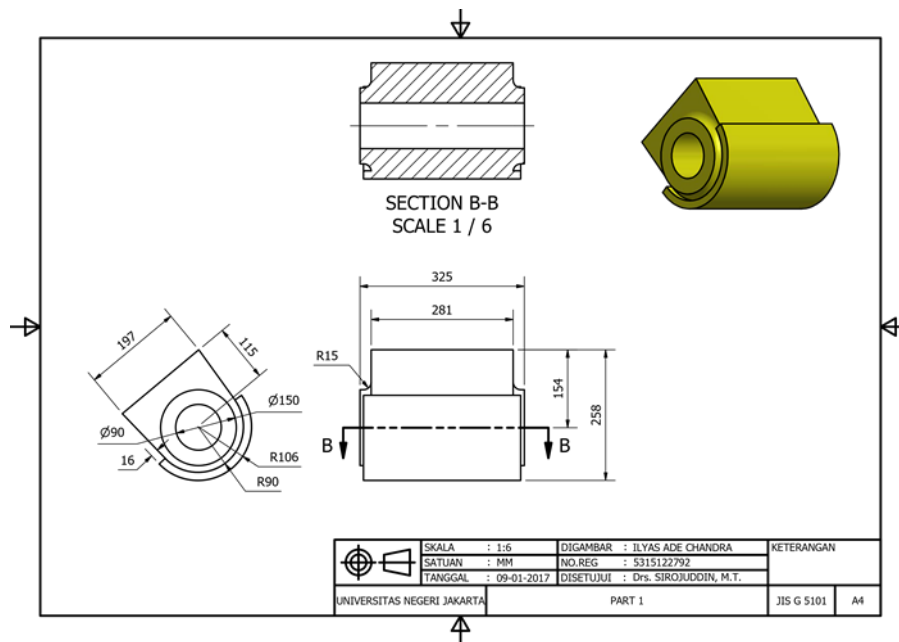
2. Penginputan dimensi

Untuk penginputan dimensi *arm excavator* kelas 20 ton, dilakukan secara manual dengan cara mengukur panjang, tinggi, lebar, dan *pin ke pin* menggunakan alat ukur satuan panjang serta mengacu kepada buku *shop manual excavator* kelas 20 ton.

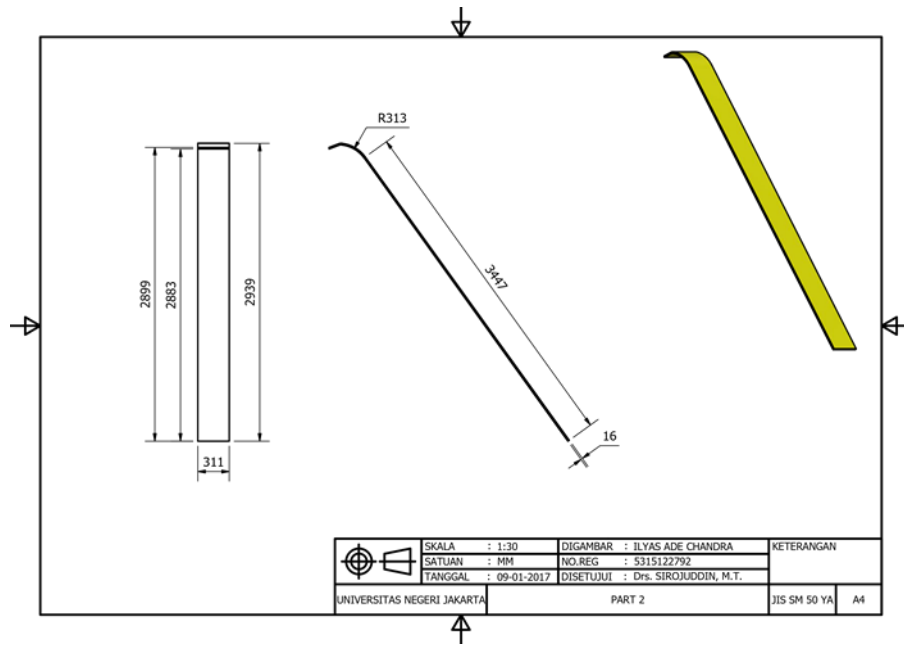
3. Penggambaran dan pemodelan *arm excavator* kelas 20 ton dalam 2 dimensi dan 3 dimensi



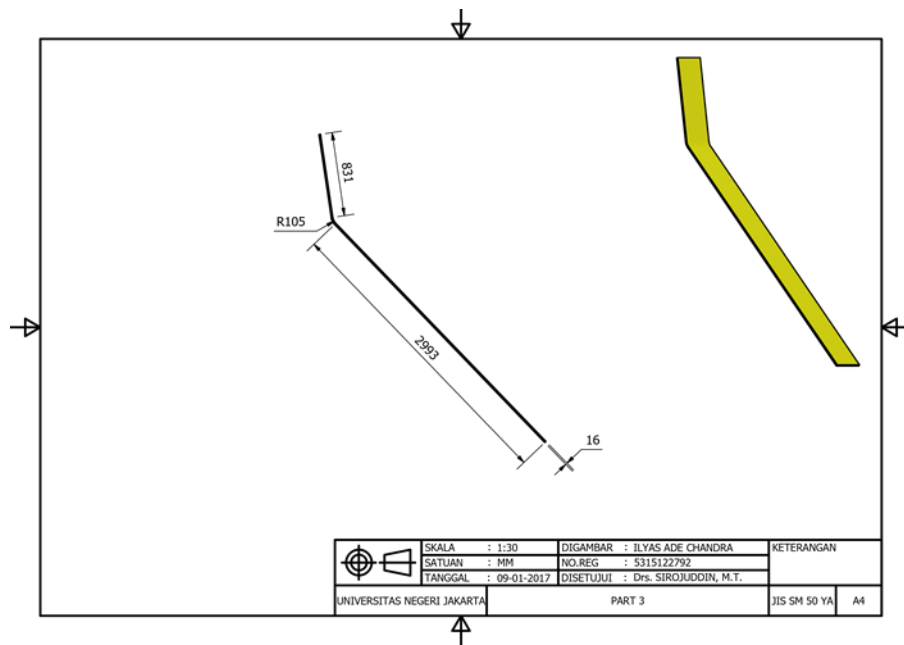
Gambar 3.2. *Arm Excavator* dalam Dua Dimensi



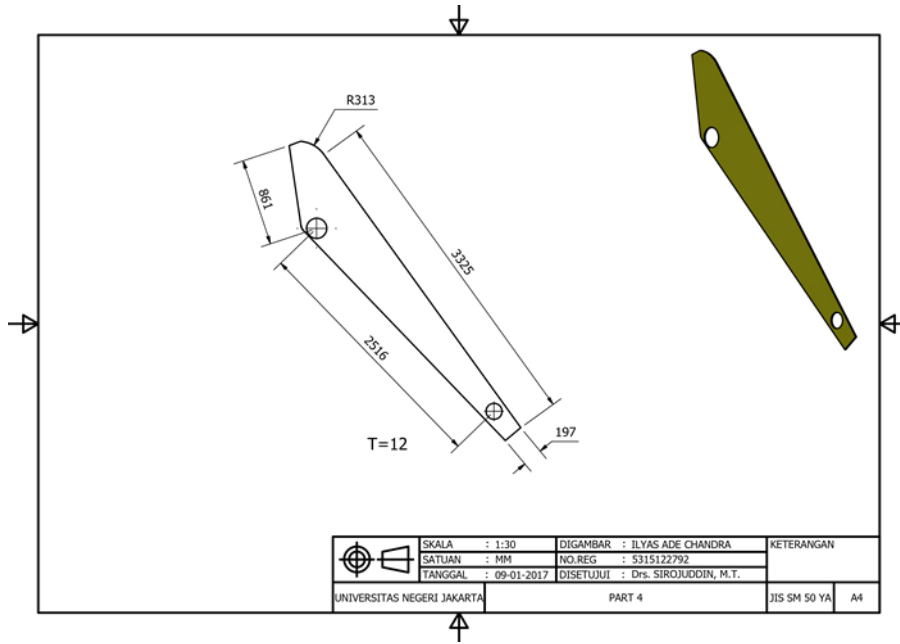
Gambar 3.3. Dimensi *Part 1 Arm Excavator*



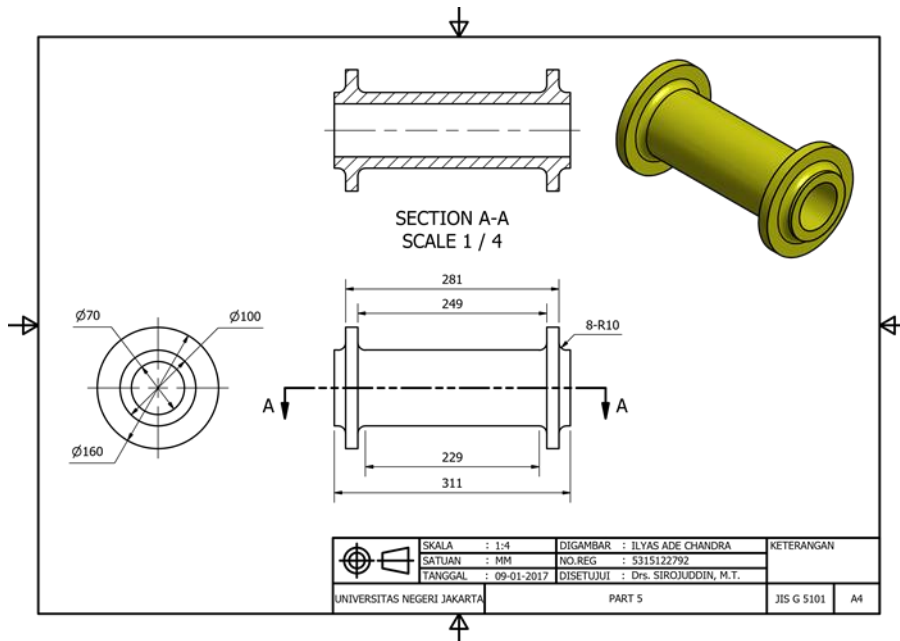
Gambar 3.4. Dimensi Part 2 Arm Excavator



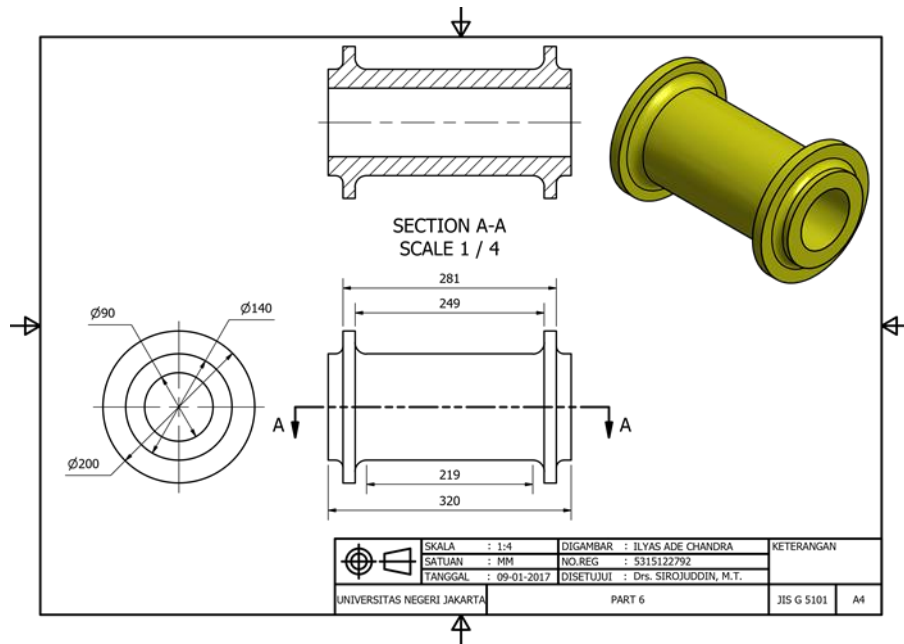
Gambar 3.5. Dimensi Part 3 Arm Excavator



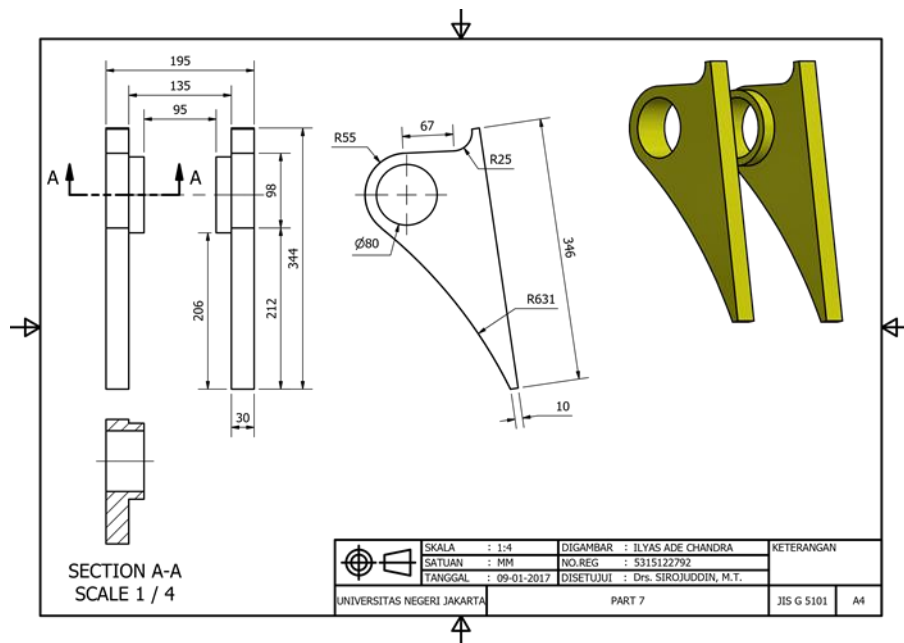
Gambar 3.6. Dimensi Part 4 Arm Excavator



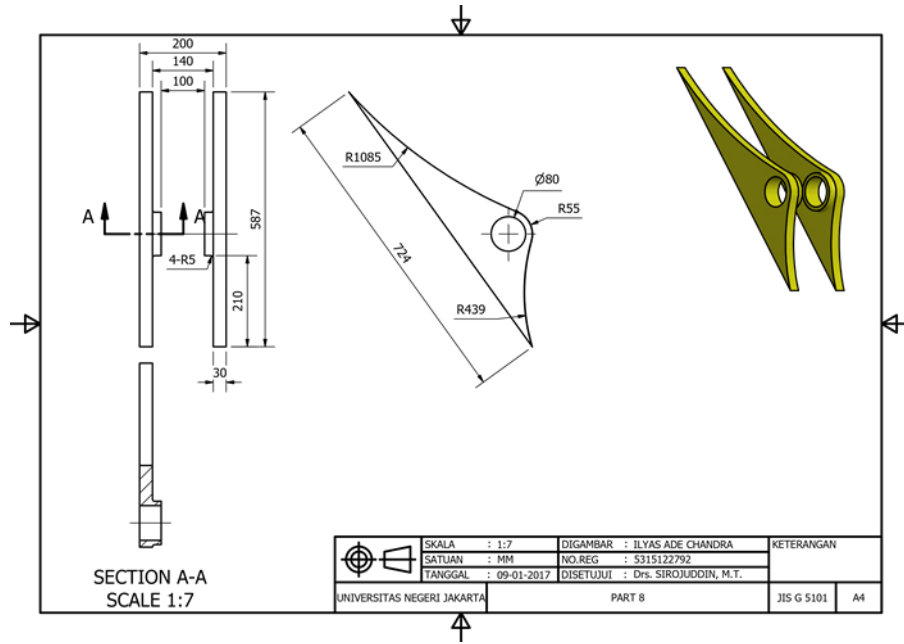
Gambar 3.7. Dimensi Part 5 Arm Excavator



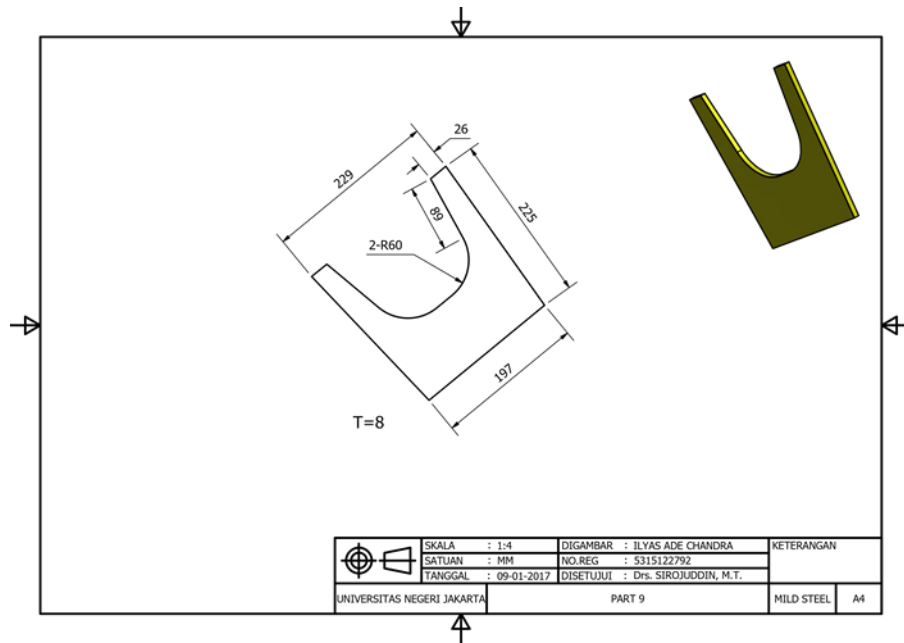
Gambar 3.8. Dimensi Part 6 Arm Excavator



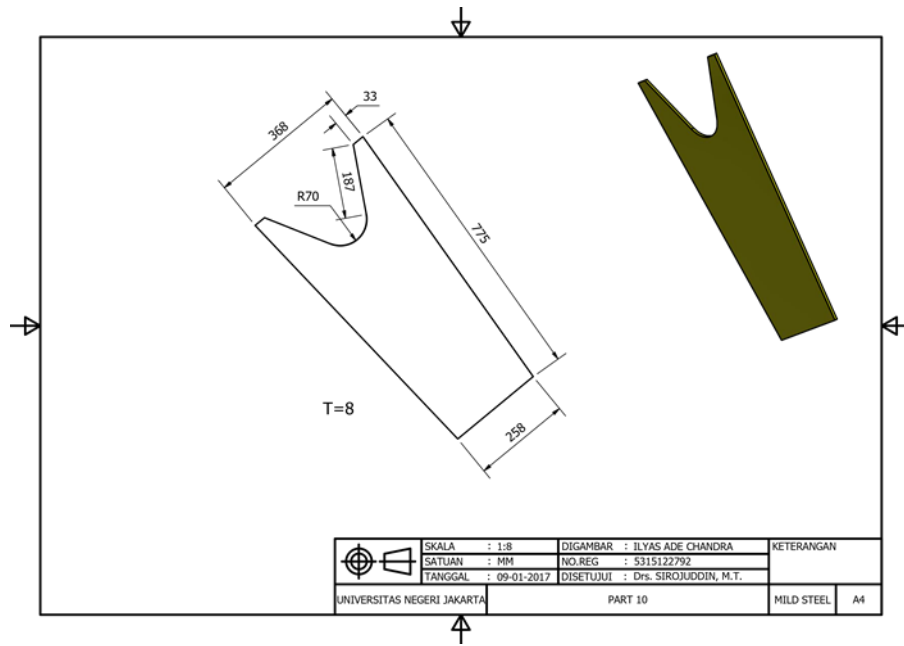
Gambar 3.9. Dimensi Part 7 Arm Excavator



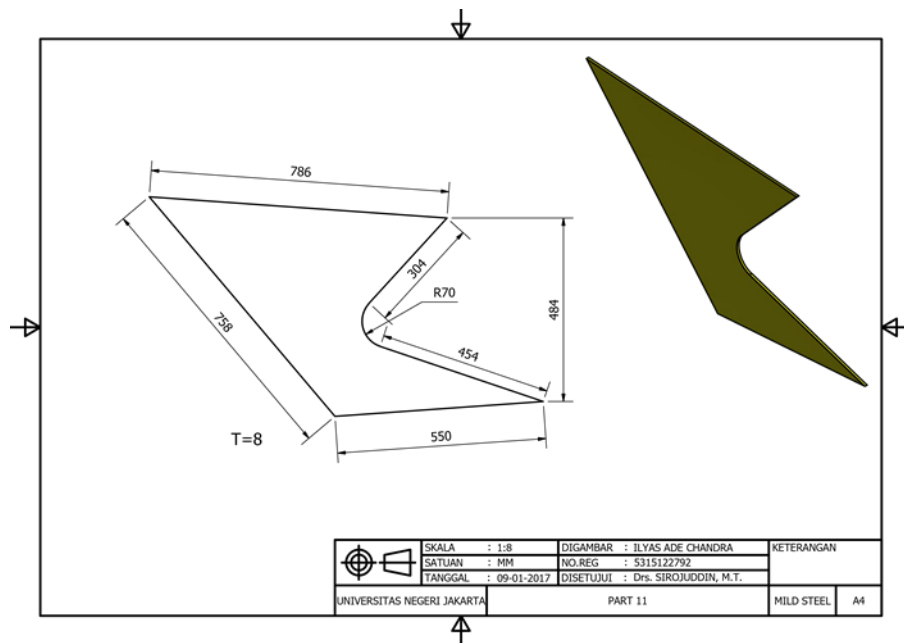
Gambar 3.10. Dimensi Part 8 Arm Excavator



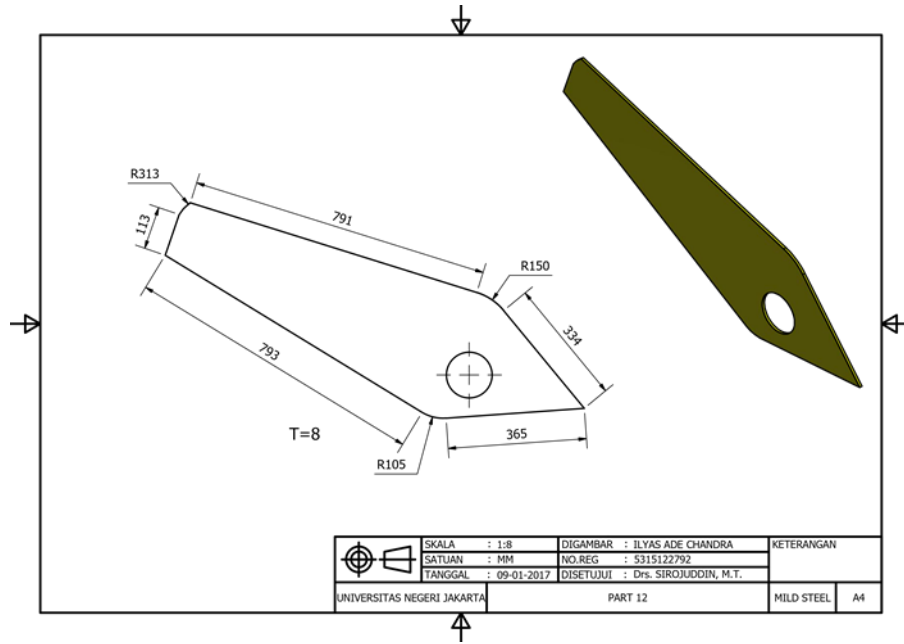
Gambar 3.11. Dimensi Part 9 Reinforce Arm Excavator



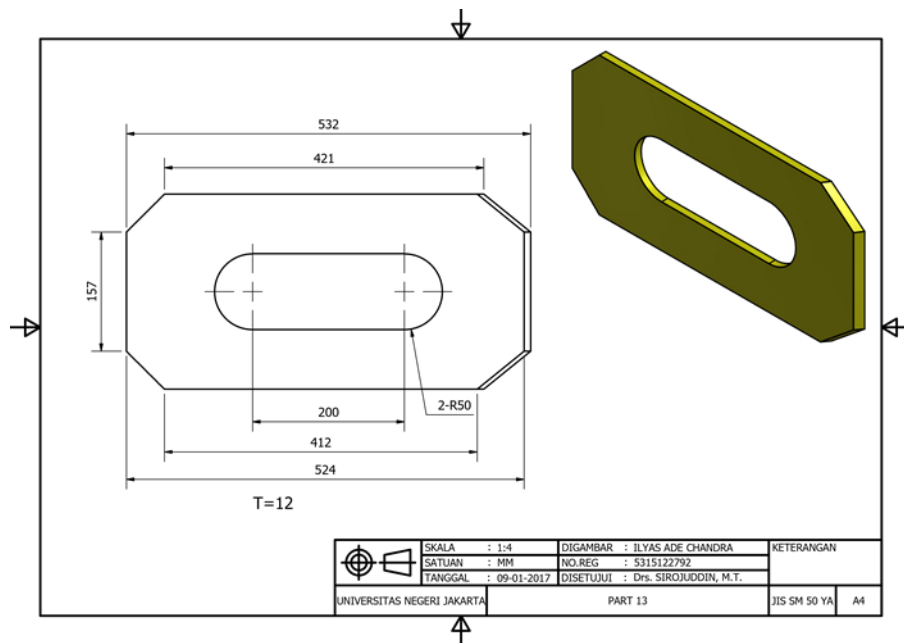
Gambar 3.12. Dimensi Part 10 Reinforce Arm Excavator



Gambar 3.13. Dimensi Part 11 Reinforce Arm Excavator



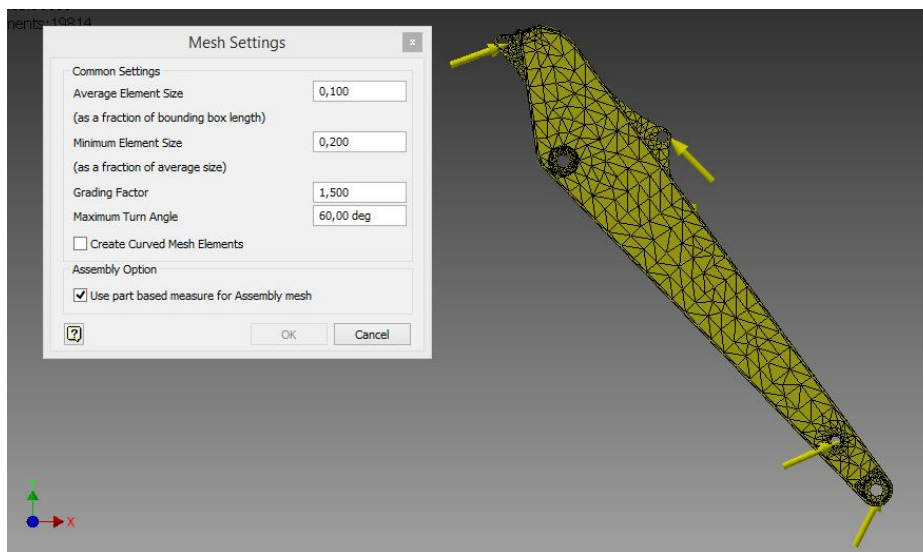
Gambar 3.14. Dimensi Part 12 Reinforce Arm Excavator



Gambar 3.15. Dimensi Part 13 Stiffner Arm Excavator

4. Meshing

Setelah dilakukan penggambaran dan pemodelan dalam bentuk dua dimensi dan tiga dimensi, lalu *arm excavator* kelas 20 ton diberikan *meshing* dengan tipe elemen yang digunakan dalam *software Autodesk Inventor Professional 2015* adalah tipe elemen *meshing* solid *tetrahedral* dan data rata-rata ukuran elemen menggunakan 0,1 sesuai standar dari *software Autodesk Inventor Professional 2015*.



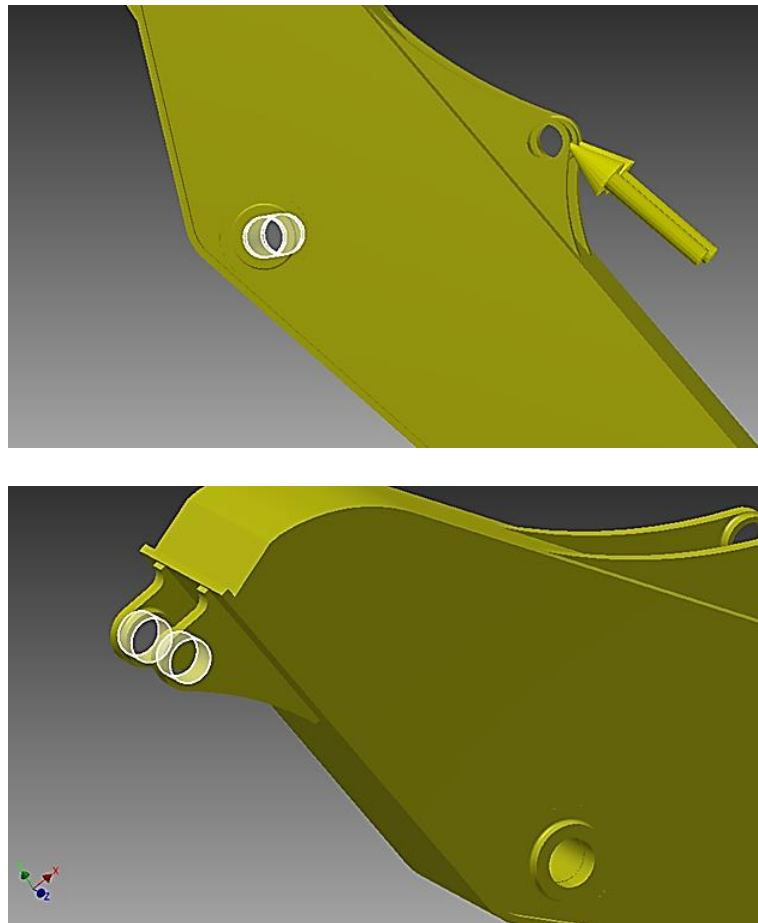
Gambar 3.16. Pemberian Meshing pada Arm Excavator

5. Pemberian kondisi batas, pembebanan gaya, gravitasi, dan material

Setelah *arm excavator* kelas 20 ton diberikan *meshing* selesai, lalu *arm excavator* kelas 20 ton diberikan kondisi batas, pembebanan gaya, gravitasi dan material di *software Autodesk Inventor Professional 2015* dengan menggunakan *feature stress analysis*.

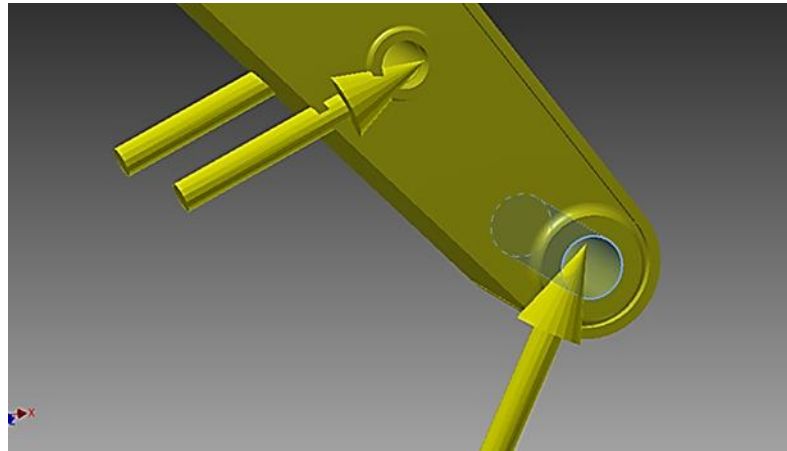
a. Pemberian *constraints* (tumpuan)

Arm excavator kelas 20 ton diberikan *constraints* berupa *pin* pada *surface boshing center arm* dan *surface hole* padaudukan *hydraulic arm excavator*.



Gambar 3.17. Pemberian *Constraints* pada *Arm Excavator*

b. Pemberian gaya pada *arm excavator* kelas 20 ton

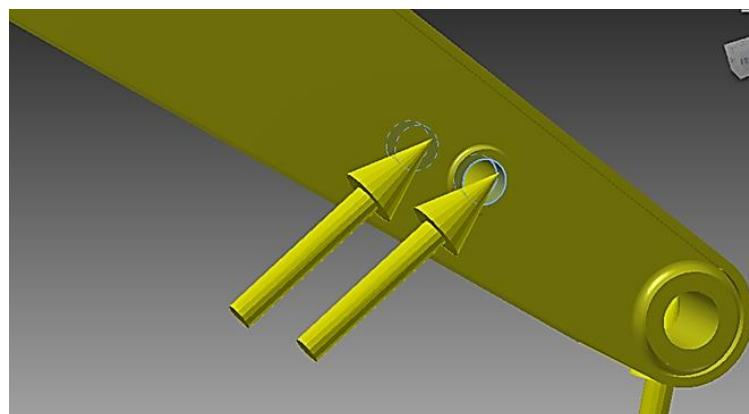


Gambar 3.18. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 1)

Pemberian gaya (*force 1*) diberikan pada *surface boshing* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.18.

Tabel 3.1. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 1)

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	14.648 N
<i>Vector X</i>	6.602,172 N
<i>Vector Y</i>	13.075,750 N

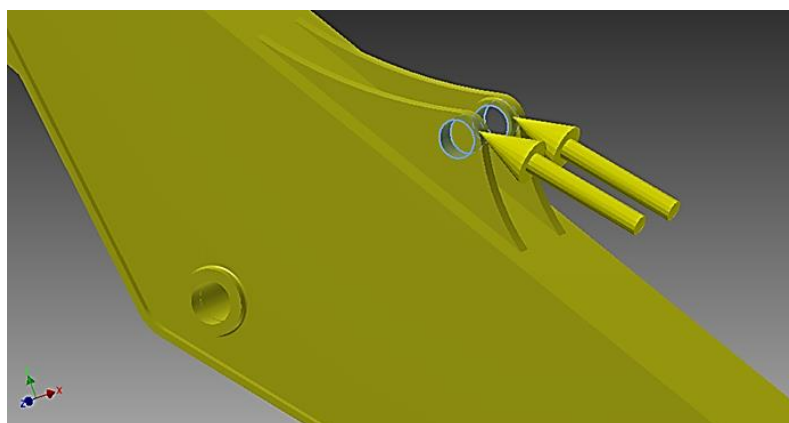


Gambar 3.19. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 2)

Pemberian gaya (*force 2*) diberikan pada *surface boshing* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.19.

Tabel 3.2. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (*Force 2*)

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	11.107 N
<i>Vector X</i>	10.160,892 N
<i>Vector Y</i>	4.485,725 N

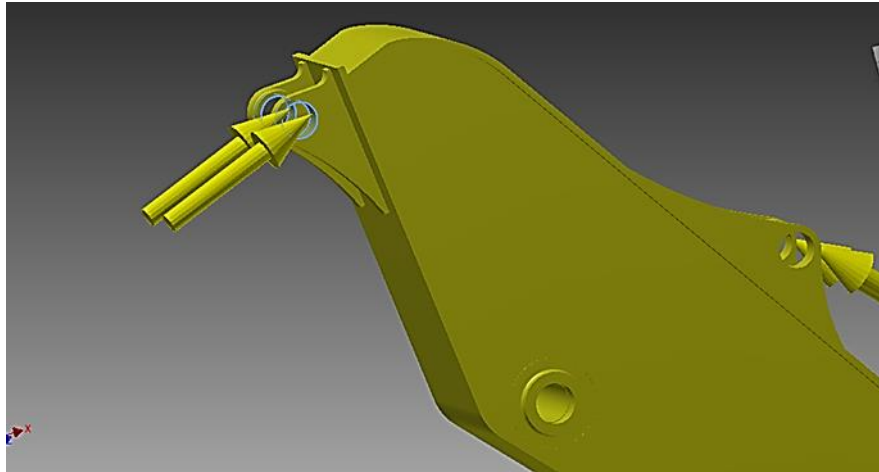


Gambar 3.20. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (*Force 3*)

Pemberian gaya (*force 3*) diberikan pada *surface hole* dudukan *hydraulic breaker* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.20.

Tabel 3.3. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (*Force 3*)

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	23.770 N
<i>Vector X</i>	-16.793,254 N
<i>Vector Y</i>	16.822,590 N



Gambar 3.21. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 4)

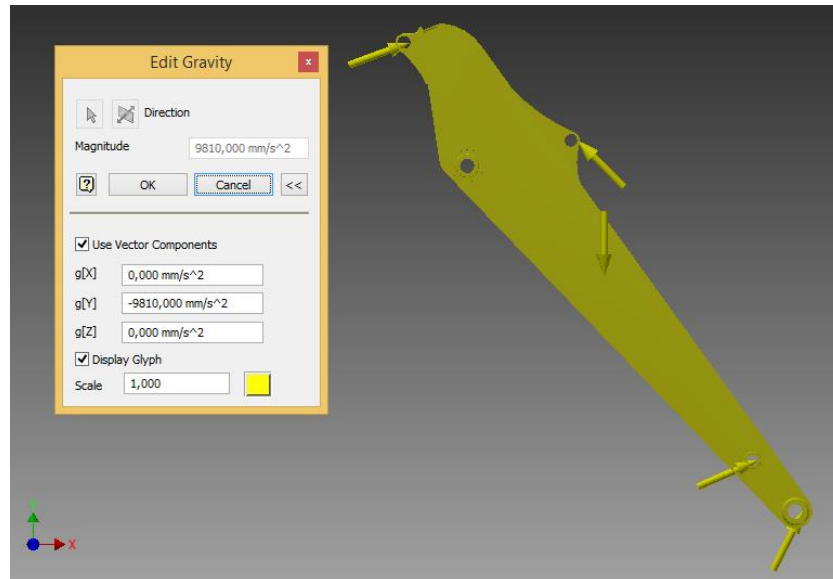
Pemberian gaya (*force 4*) diberikan pada *surface hole*udukan *hydraulic arm excavator* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.21.

Tabel 3.4. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 4)

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	94.165 N
<i>Vector X</i>	88.367,519 N
<i>Vector Y</i>	32.530,429 N

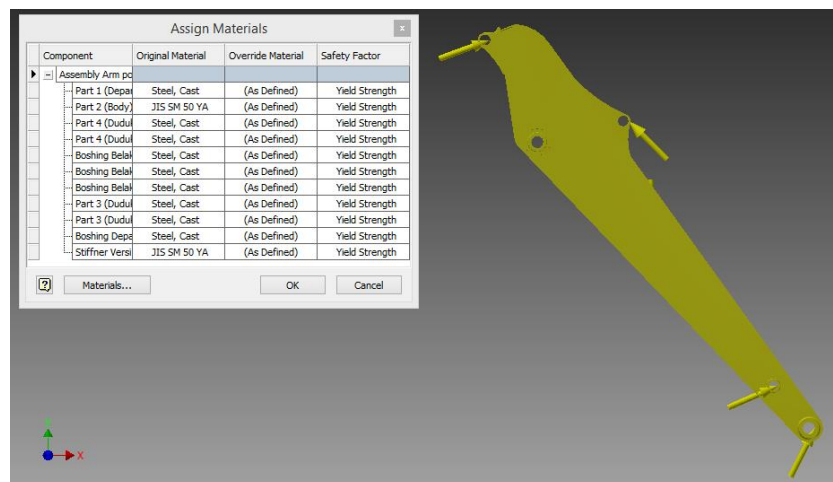
c. Pemberian gaya gravitasi pada *arm excavator* kelas 20 ton

Pemberian gaya gravitasi dilakukan agar *software Autodesk Inventor Professional 2015* dapat membaca dan menghitung secara otomatis massa / berat dari *arm excavator* kelas 20 ton itu sendiri.



Gambar 3.22. Pemberian Gravitasi pada *Arm Excavator*

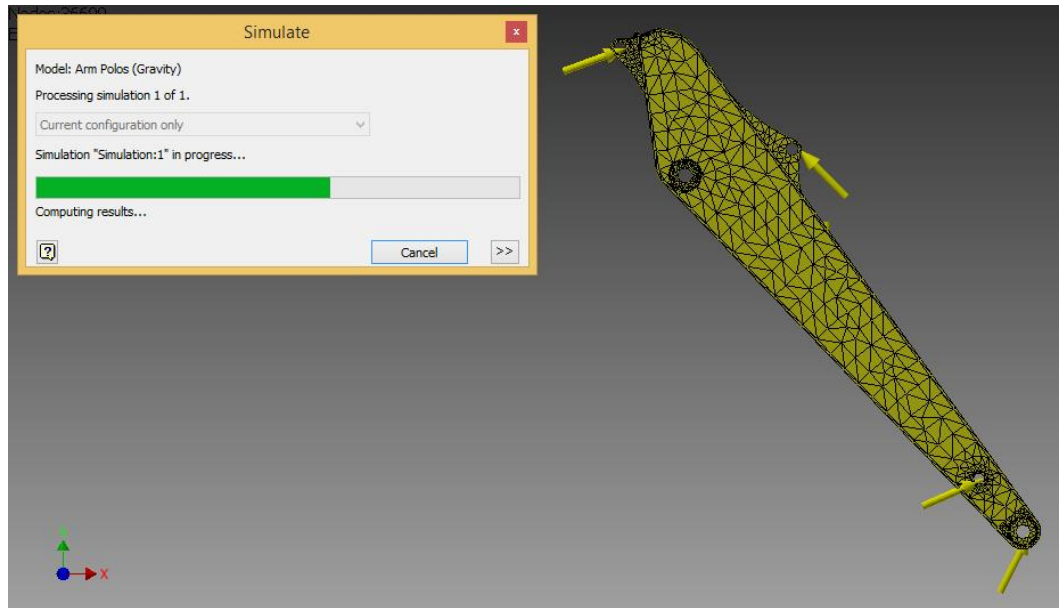
d. Pemberian material



Gambar 3.23. Pemberian Material pada *Arm Excavator*

6. Perhitungan *Software*

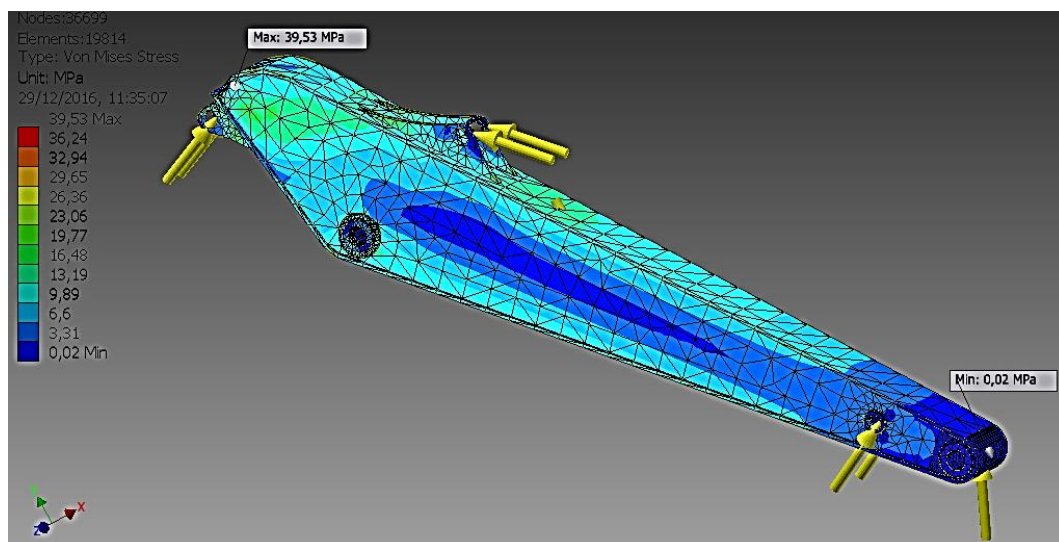
Setelah dimasukkan semua data, lalu lakukan perhitungan dengan menggunakan *feature stress analysis simulate* pada *software Autodesk Inventor Professional 2015*.



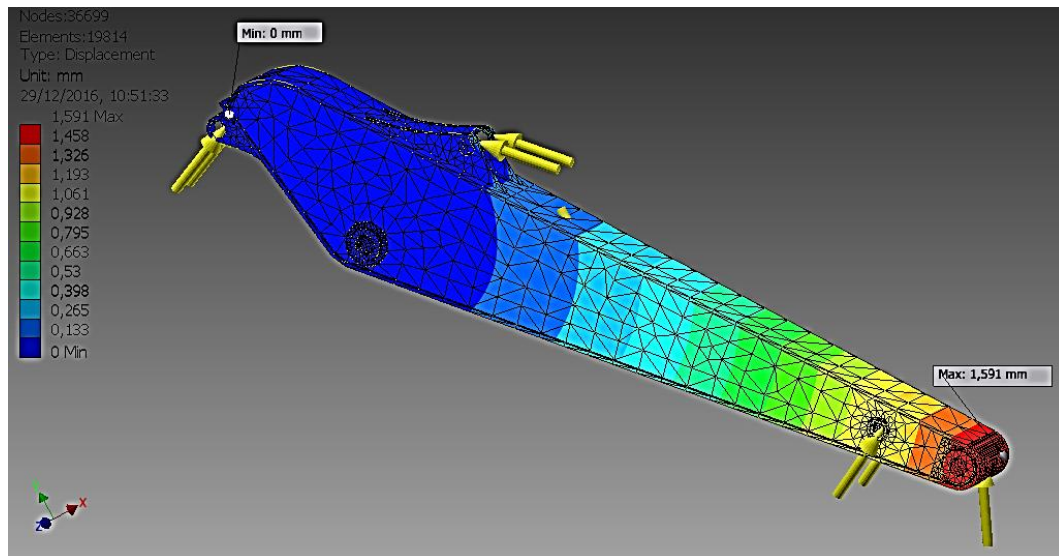
Gambar 3.24. Proses Perhitungan pada Software

7. Report

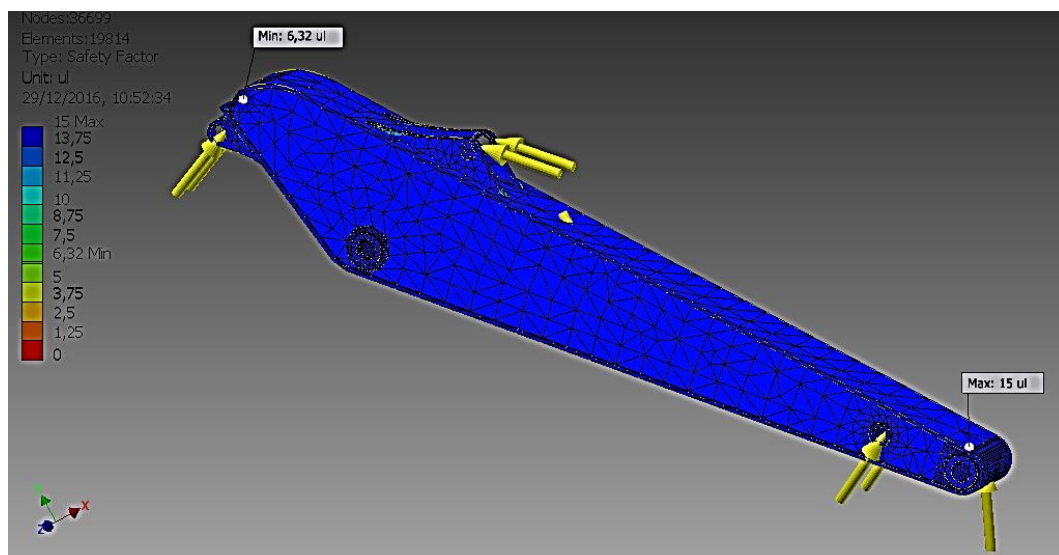
Hasil perhitungan keluar dalam bentuk *report*, disini dapat dilihat *volume*, *mass*, *von mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* dari *arm excavator* kelas 20 ton.



Gambar 3.25. Report Von Misses Stress



Gambar 3.26. Report Displacement



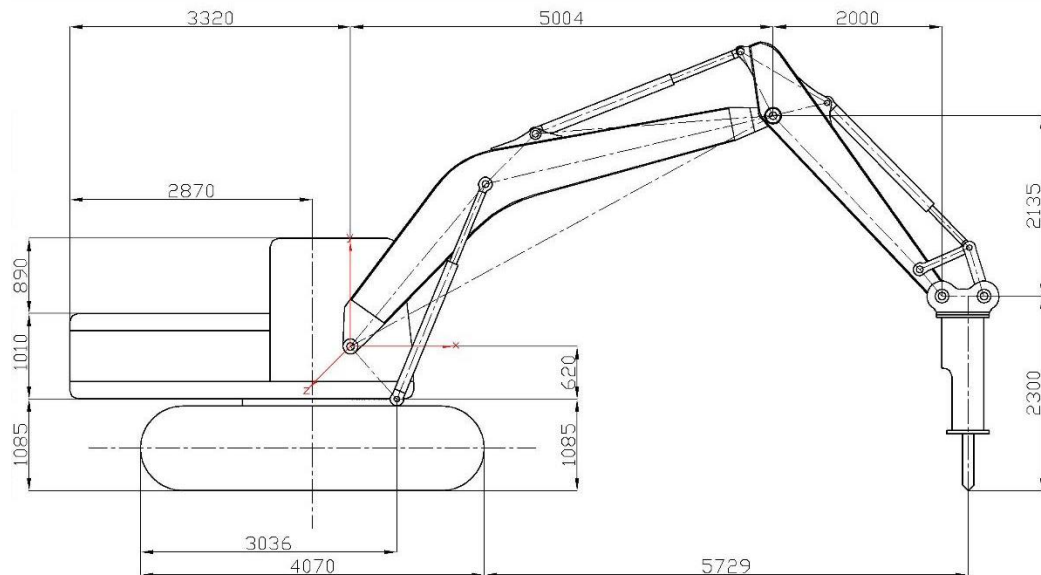
Gambar 3.27. Report Safety Factor

Tabel 3.5. Result Summary

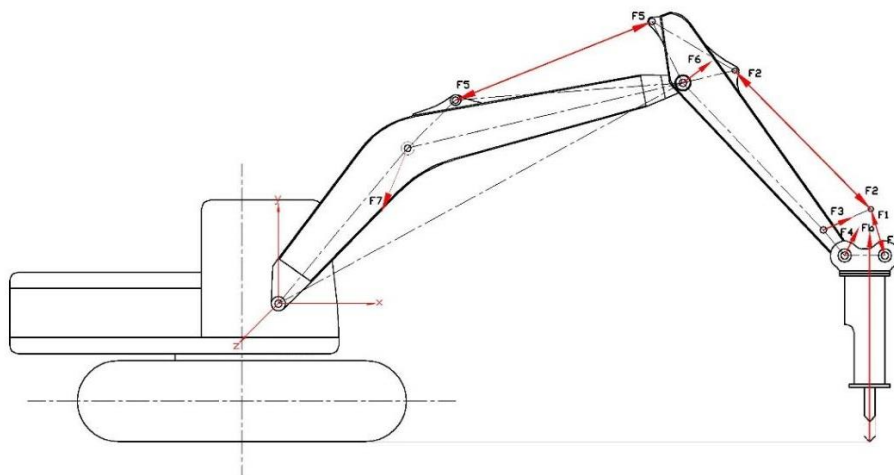
<i>Name</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Volume</i>	92595400 mm ³	
<i>Mass</i>	727,68 kg	
<i>Von Mises Stress</i>	0,0153236 MPa	39,5289 Mpa
<i>1st Principal Stress</i>	-10,5964 MPa	24,3722 Mpa
<i>3rd Principal Stress</i>	-43,4444 MPa	5,57752 Mpa
<i>Displacement</i>	0,0000203969 mm	1,59086 mm
<i>Safety Factor</i>	6,32449	15
<i>Stress XX</i>	-39,3255 MPa	24,1271 Mpa
<i>Stress XY</i>	-15,4273 MPa	12,993 Mpa
<i>Stress XZ</i>	-18,2176 MPa	19,1132 Mpa
<i>Stress YY</i>	-25,0695 MPa	19,8515 Mpa
<i>Stress YZ</i>	-10,8229 MPa	10,693 Mpa
<i>Stress ZZ</i>	-18,324 MPa	12,9584 Mpa
<i>X Displacement</i>	-0,0510691 mm	1,22418 mm
<i>Y Displacement</i>	-0,0193483 mm	1,06818 mm
<i>Z Displacement</i>	-0,0219153 mm	0,025807 mm
<i>Equivalent Strain</i>	0,0000000652105	0,000167035
<i>1st Principal Strain</i>	0,00000000116871	0,000117718
<i>3rd Principal Strain</i>	-0,000188579	-0,00000000115309
<i>Strain XX</i>	-0,000170098	0,00009695
<i>Strain XY</i>	-0,0000955025	0,0000804326
<i>Strain XZ</i>	-0,000112776	0,00011832
<i>Strain YY</i>	-0,000104517	0,0000923075
<i>Strain YZ</i>	-0,0000669989	0,0000661949
<i>Strain ZZ</i>	-0,0000484457	0,0000577317

3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

3.4.1. Penentuan Pembebanan Gaya pada *Excavator*

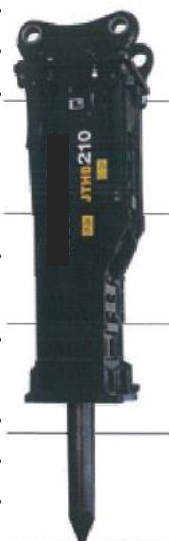


Gambar 3.28. *Excavator* dengan *Attachment Breaker*



Gambar 3.29. Pembebanan Gaya pada *Excavator*

Model Type	JTHB210-3
Impact Energy Class: lbf-ft (Nm)	4,500 (6101)
Impact Frequency: bpm	490-630
Working Weight	
1-Piece Side Plates - lb (kg)	-
2-Piece Side Plates - lb (kg)	-
Box Bracket - lb (kg)	3,968 (1800)
Operating Pressure	
psi	2,030-2,610
Mpa	14-18
Oil Flow	
gpm	42.2-52.8
L/min	160-200
Chisel Diameter - inch (mm)	5.3 (135)
Hose Size - inch	1
Base Carrier - mt	18-25



MODEL		JTHB190	JTHB230
Operating weight			
2-piece type / (WB)*	kg	2.140	2.690
Box type	kg	2.220	2.640
Tool length	mm	1.180	1.180
Tool diameter	mm	140	146
Oil flow	l/min	160-210	180-230
Operating pressure	bar	140-180	130-180
Impact rate	bpm	370-490	380-450
Hose size	inch	1	1
Gas pressure	bar	8	8
Base machine weight range	ton	20-30	27-40

Gambar 3.30. Spesifikasi Breaker JTHB 210

Diketahui: Impact Energy Class = 6101 Nm

$$H = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Box Breaket} = 1800 \text{ Kg}$$

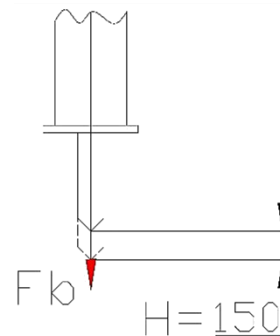
Ditanya: $F_b = ?$

Jawab: $I = m \times g \times H \longrightarrow F = m \times g$

$$I = F \times H \longrightarrow F = I : H = 6101 \text{ Nm} : 0,15 \text{ m} = 40.673,33 \text{ N}$$

$$F_b = F - W_{\text{breaket}}$$

$$F_b = 40.673,33 \text{ N} - (1800 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2)$$



$$F_b = 40.673,33 \text{ N} - 17.658 \text{ N}$$

$$F_b = 23.015,33 \text{ N}$$

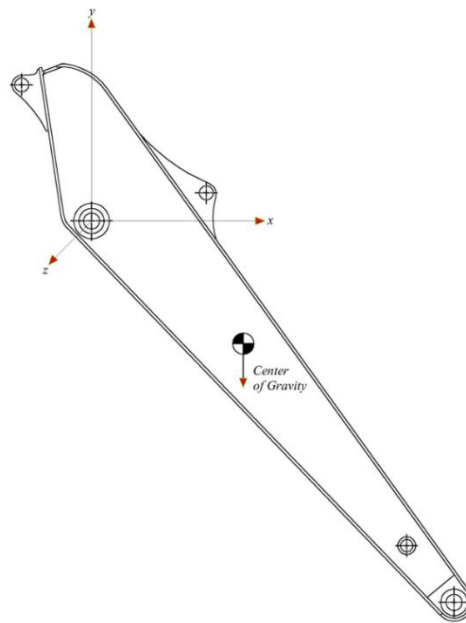
Saat Pengujian \longrightarrow (Analitis) $F_b = 23.015,33 \text{ N} \times 1,5 = 34.522,995 \text{ N}$

3.4.2. Penentuan Berat Total Arm Excavator

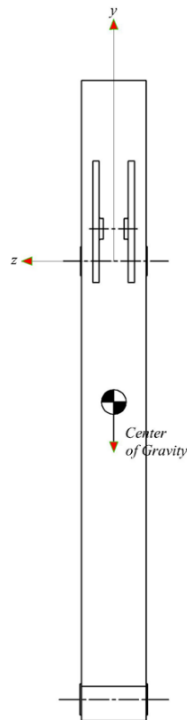
Dalam mengetahui massa *arm excavator* kelas 20 ton, dapat dilakukan dengan melihat berat total *arm excavator* kelas 20 ton dari buku *shop manual excavator* kelas 20 ton atau melihat dari *mass* dari *result summary software Autodesk Inventor Professional 2015*.

3.4.3. Posisi Titik Berat Arm Excavator

Dalam mengetahui posisi titik berat sumbu x dan sumbu y, dapat dilakukan dengan cara mengukur panjang, tinggi, dan lebar *arm excavator* kelas 20 ton. Kemudian dibuat sketsa panjang, tinggi, dan lebar *arm excavator* kelas 20 ton dalam bentuk dua dimensi dengan menggunakan *software AutoCAD* ataupun juga dapat dilakukan dengan cara membuat tiga dimensi *arm excavator* kelas 20 ton sesuai dengan posisi yang akan dianalisis dengan menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015*, kemudian pilih *tool view center of gravity*. Maka akan menghasilkan gambar seperti di bawah ini :



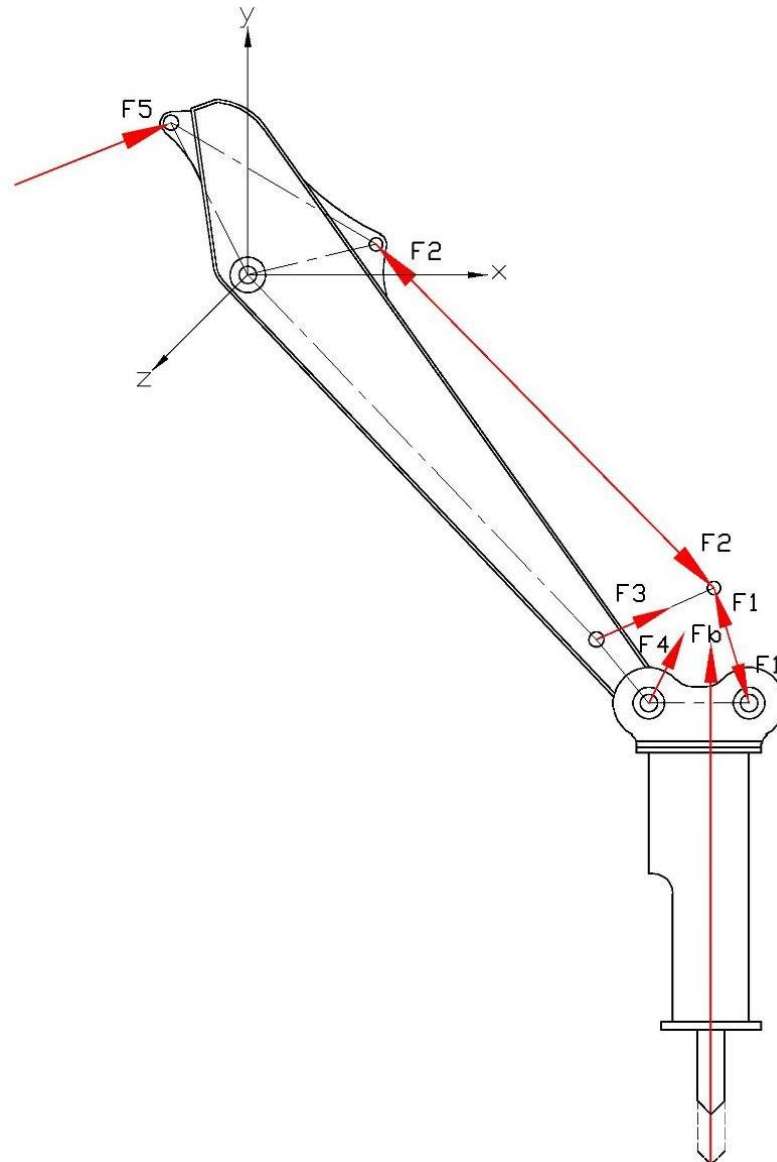
Gambar 3.31. Pandangan Depan Arm Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu X



Gambar 3.32. Pandangan Samping Arm Terhadap Posisi Titik Berat Sumbu X

3.4.4. Free Body Diagram Arm Excavator

Arah gaya-gaya pembebanan pada *arm excavator* kelas 20 ton dihitung dengan mengacu pada diagram benda bebas yang digambarkan dengan menggunakan *software AutoCAD 2007* dan disimulasikan dengan bantuan *software Autodesk Inventor Professional 2015* seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.33. Diagram Benda Bebas Arm Excavator

3.4.5. Varian Model

Pada penelitian ini digunakan tiga variasi model yang berbeda, seperti pemodelan dan posisi *reinforce* pada *arm excavator* kelas 20 ton yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton ketika *arm excavator* kelas 20 ton tersebut menggunakan *attachment breaker*. Berikut adalah tiga variasi *arm excavator* kelas 20 ton.

1. Desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement*.
2. Desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT.PQR.
3. Desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT.XYZ.

3.5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton adalah dengan menggunakan *feature stress analysis* dari *software Autodesk Inventor Professional 2015*.

3.5.1. Alasan Pemilihan Varian Konsep

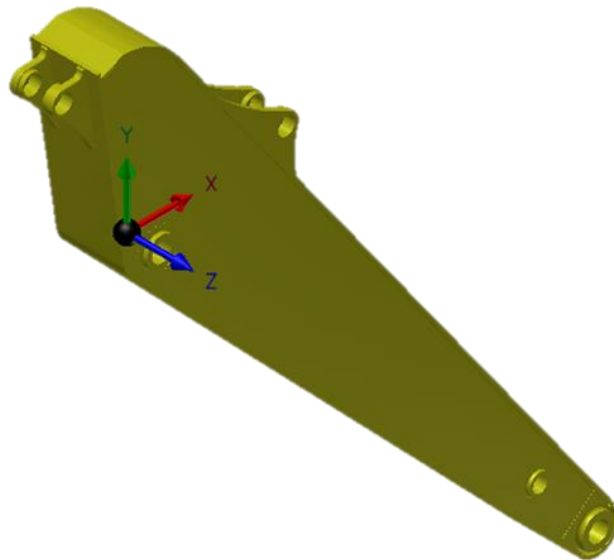
Pemilihan bahan untuk *reinforce arm excavator* kelas 20 ton menggunakan baja karena mudah didapatkan, harganya terjangkau, mudah dilas, massa jenis kecil namun dapat menahan beban yang tinggi.

BAB IV

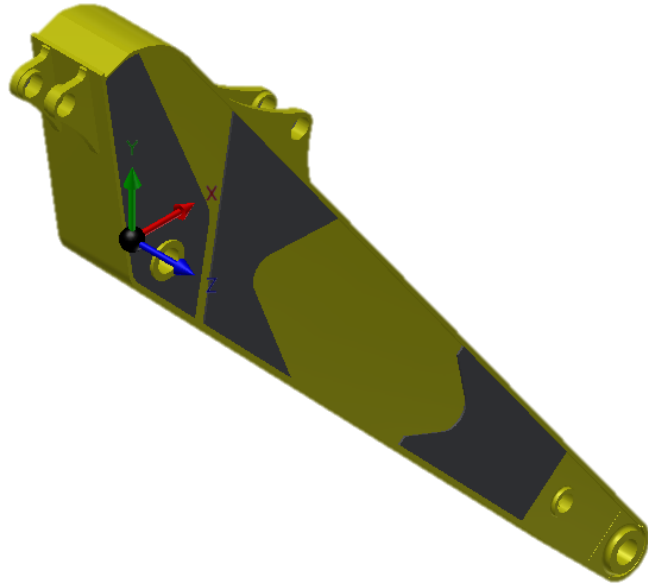
HASIL PENELITIAN

4.1. Model Desain

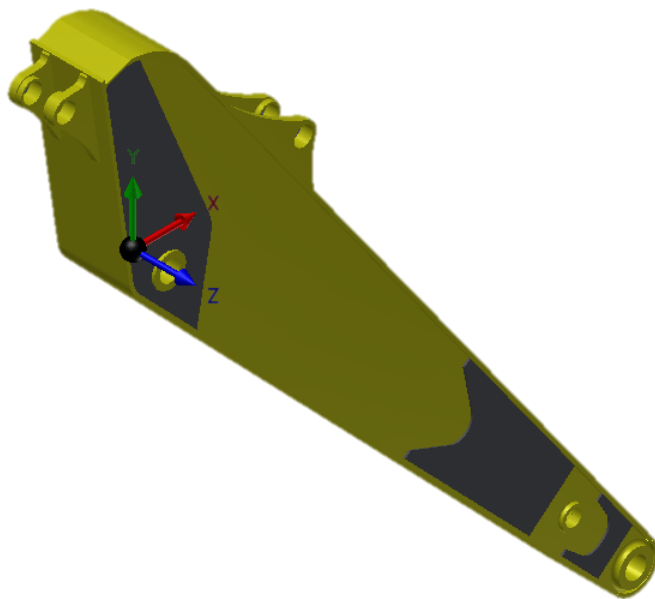
Model *arm excavator* kelas 20 ton digambar dengan menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015*. Model *arm excavator* kelas 20 ton dibentuk dalam tiga dimensi dengan material dan dimensi yang sudah ditentukan, lalu diuji dengan *feature stress analysis* agar dapat mengetahui kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton.



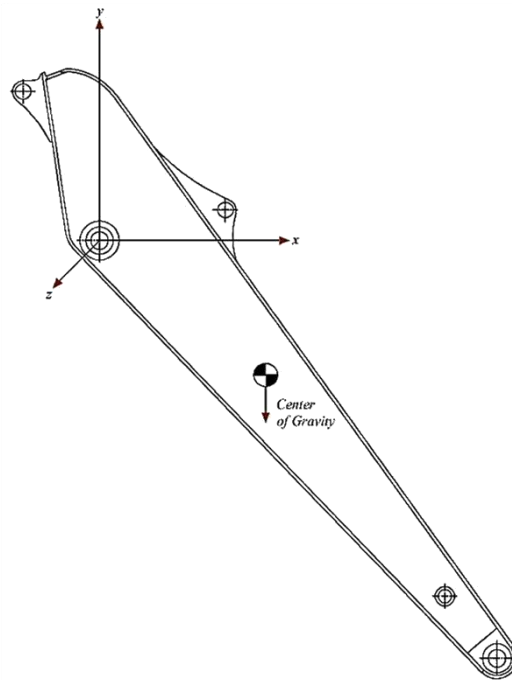
Gambar 4.1. *Arm Excavator* Kelas 20 Ton *Unreinforcement*



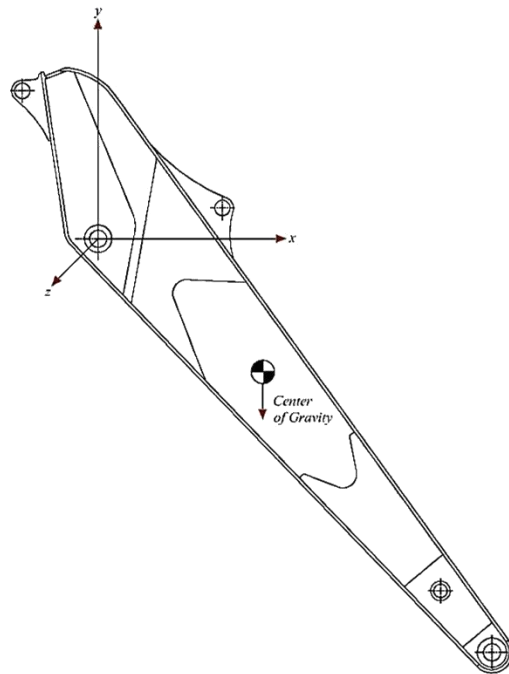
Gambar 4.2. *Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.PQR*



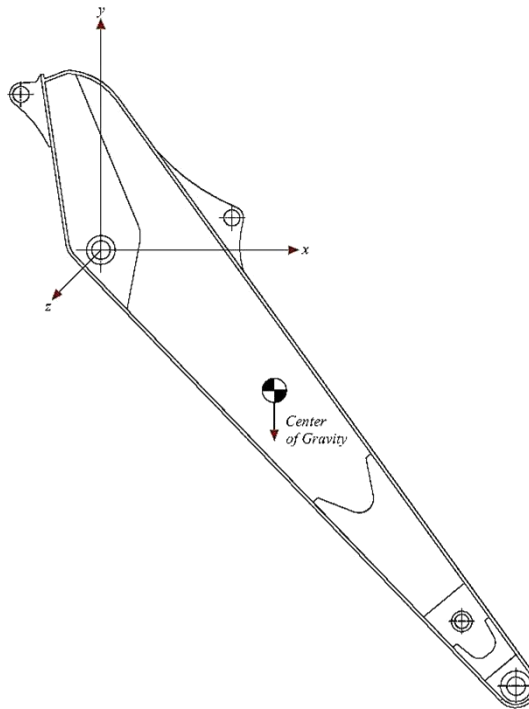
Gambar 4.3. *Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.XYZ*



**Gambar 4.4. Pandangan Depan Arm Excavator Kelas 20 Ton
*Unreinforcement***



Gambar 4.5. Pandangan Depan Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.PQR



Gambar 4.6. Pandangan Depan Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.XYZ

Arm excavator adalah batang yang dipasang pada ujung batang *boom* dengan pengendalinya menggunakan sistem hidrolik dan berfungsi untuk mengatur mekanisme *breaker* pada posisi yang dikehendaki. Jika mekanisme *boom* berubah posisi maka secara otomatis posisi mekanisme *arm* pun juga berubah. *Arm* ini harus dapat menahan beban dari *breaker*, dan beban dari luar *arm*.

Desain *arm excavator* kelas 20 ton ini dibuat berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran secara manual, buku *shop manual excavator* kelas 20 Ton dan hasil wawancara dengan *engineer* dari PT.PQR.

4.2. Bahan dan Material

Bahan dan material yang dipakai pada desain *arm excavator* kelas 20 ton adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data Properti Material JIS SM 50 YA

<i>Name</i>	<i>JIS SM 50 YA</i>	
<i>General</i>	<i>Mass Density</i>	7,85 g/cm ³
	<i>Yield Strength</i>	363 MPa
	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	490 MPa
<i>Stress</i>	<i>Young's Modulus</i>	200 GPa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,287
	<i>Shear Modulus</i>	77,7001 GPa

Material *JIS SM 50 YA* digunakan pada bagian *body arm excavator* kelas 20 ton.

Tabel 4.2. Data Properti Material JIS G 5101 (SC49)

<i>Name</i>	<i>JIS G 5101 (SC49)</i>	
<i>General</i>	<i>Mass Density</i>	7,85 g/cm ³
	<i>Yield Strength</i>	250 MPa
	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	490 MPa
<i>Stress</i>	<i>Young's Modulus</i>	210 Gpa
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,3
	<i>Shear Modulus</i>	80,7692 Gpa

Material *JIS G 5101 (SC49)* digunakan pada bagian dudukan *hydraulic arm*, dudukan *hydraulic breaker*, dan *boshing arm excavator* kelas 20 ton.

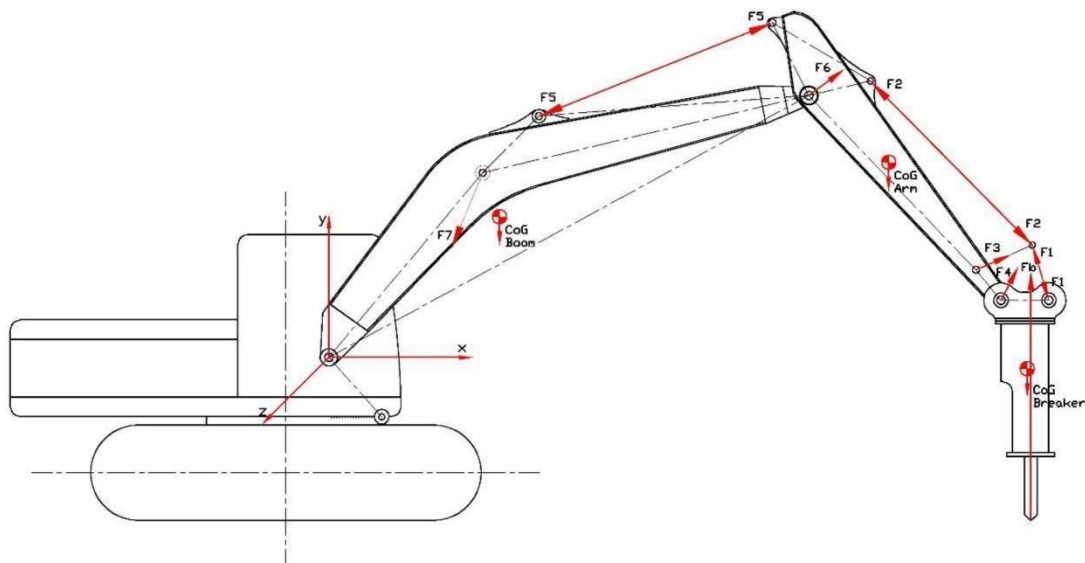
Tabel 4.3. Data Properti Material *Steel, Mild*

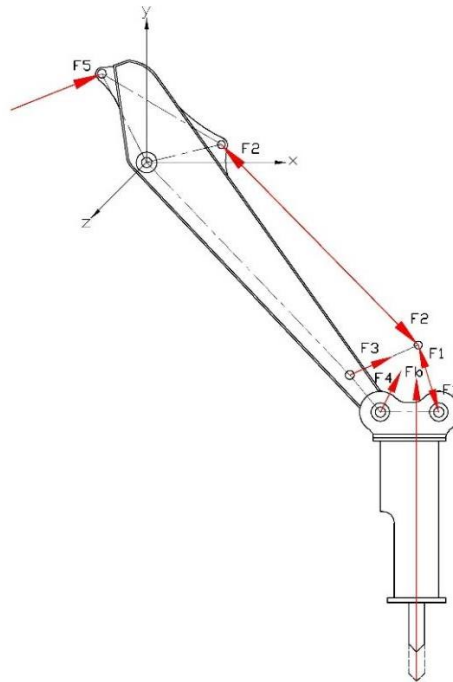
Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 Gpa
	Poisson's Ratio	0,275
	Shear Modulus	86,2745 Gpa

Material *Steel Mild* digunakan pada bagian *reinforce arm excavator* kelas 20 ton.

4.3. Perhitungan Teori

Untuk perhitungan teori pada pembebanan yang diterima rangka *arm excavator* kelas 20 ton adalah sebagai berikut :

Gambar 4.7. Pembebanan Gaya pada *Excavator*



Gambar 4.8. Diagram Benda Bebas Arm Excavator

A. Distribusi Beban Statis

1. Mencari Fb (*Breaker*) :

Diketahui: *Impact Energy Class* = 6101 Nm

H = 150 mm = 0,15 m

Box Breaket = 1800 Kg

Ditanya: Fb = ?

Jawab: $I = m \times g \times H \longrightarrow F = m \times g$

$$I = F \times H \longrightarrow F = I : H = 6101 \text{ Nm} : 0,15 \text{ m} = 40.673,33 \text{ N}$$

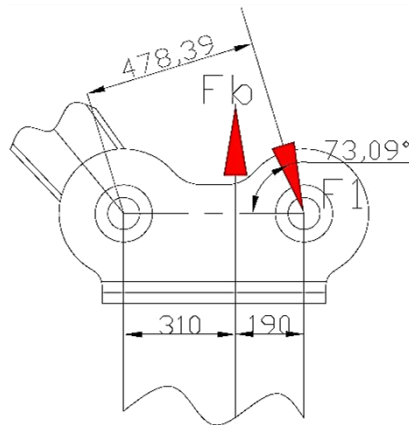
$$F_b = F - W_{\text{breaket}}$$

$$F_b = 40.673,33 \text{ N} - (1800 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_b = 40.673,33 \text{ N} - 17.658 \text{ N}$$

$$F_b = 23.015,33 \text{ N}$$

2. Mencari F1



$$F_1 \times 0,47839 \text{ m} = F_b \times 0,31 \text{ m}$$

$$F_1 = 23.015,33 \text{ N} \times 0,31 \text{ m} : 0,47839 \text{ m}$$

$$F_1 = 14.914,09 \text{ N}$$

#Secara Analitis

$$F_1 \times \sin 73,09^\circ \times 0,5 \text{ m} = F_b \times 0,31 \text{ m}$$

$$F_1 = (23.015,33 \text{ N} \times 0,31 \text{ m}) : (\sin 73,09^\circ \times 0,5 \text{ m})$$

$$F_1 = 14.914,36 \text{ N}$$

#Saat Pengujian

(Grafis) $F_1 \times 1,5 = 22.371,135 \text{ N}$

(Analitis) $F_1 \times 1,5 = 22.371,54 \text{ N}$

$$F_b \times 1,5 = 34.522,995 \text{ N}$$

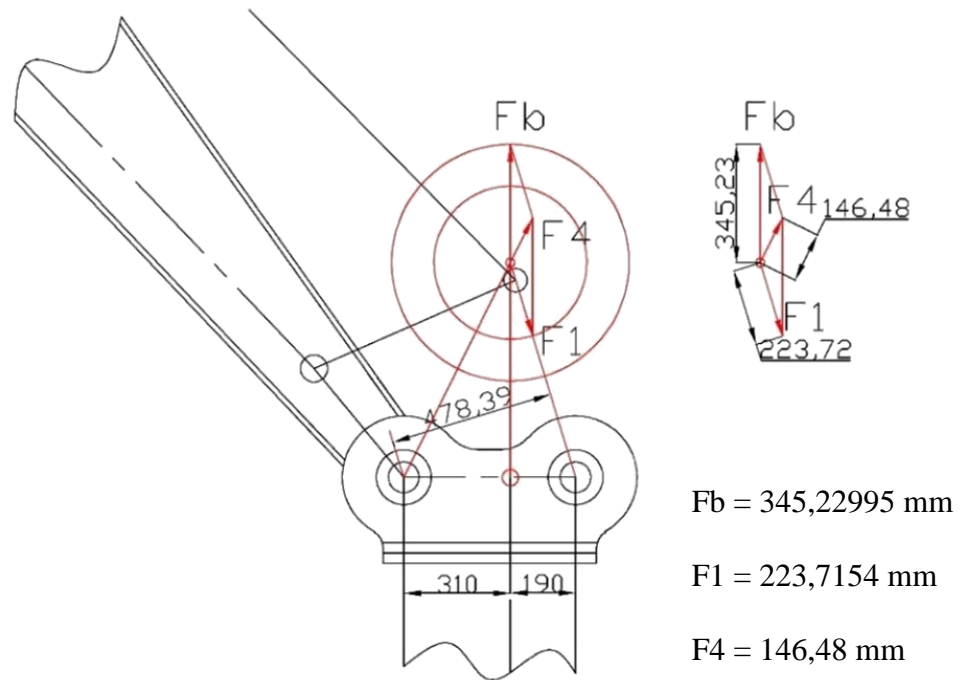
#Perbandingan Skala Gaya

1 cm = 1000 N \longrightarrow (Grafis) $F_1 = 223,71135 \text{ mm}$

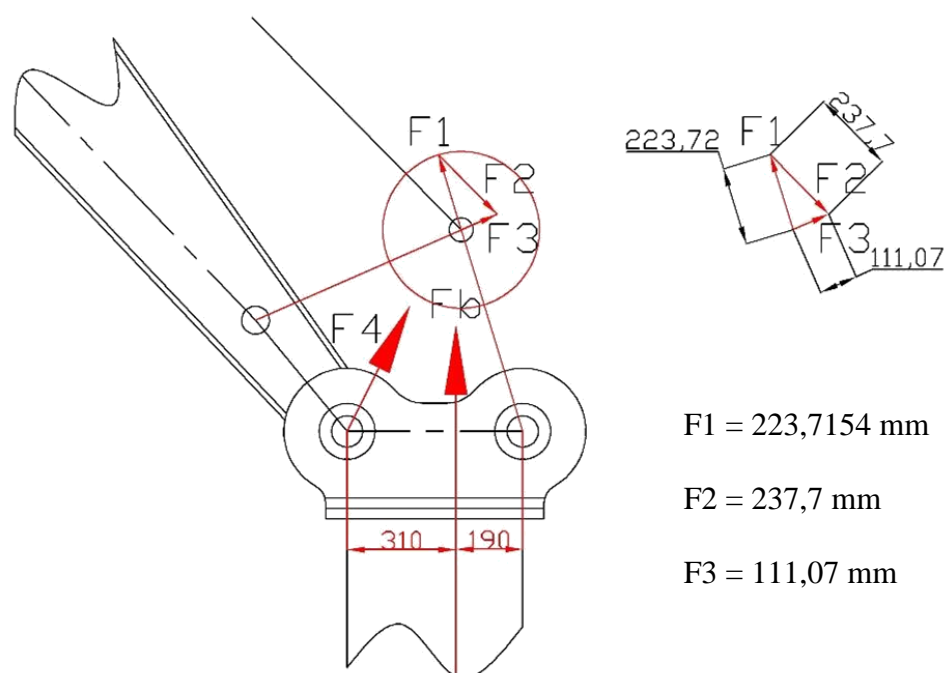
(Analitis) $F_1 = 223,7154 \text{ mm}$

$$F_b = 345,22995 \text{ mm}$$

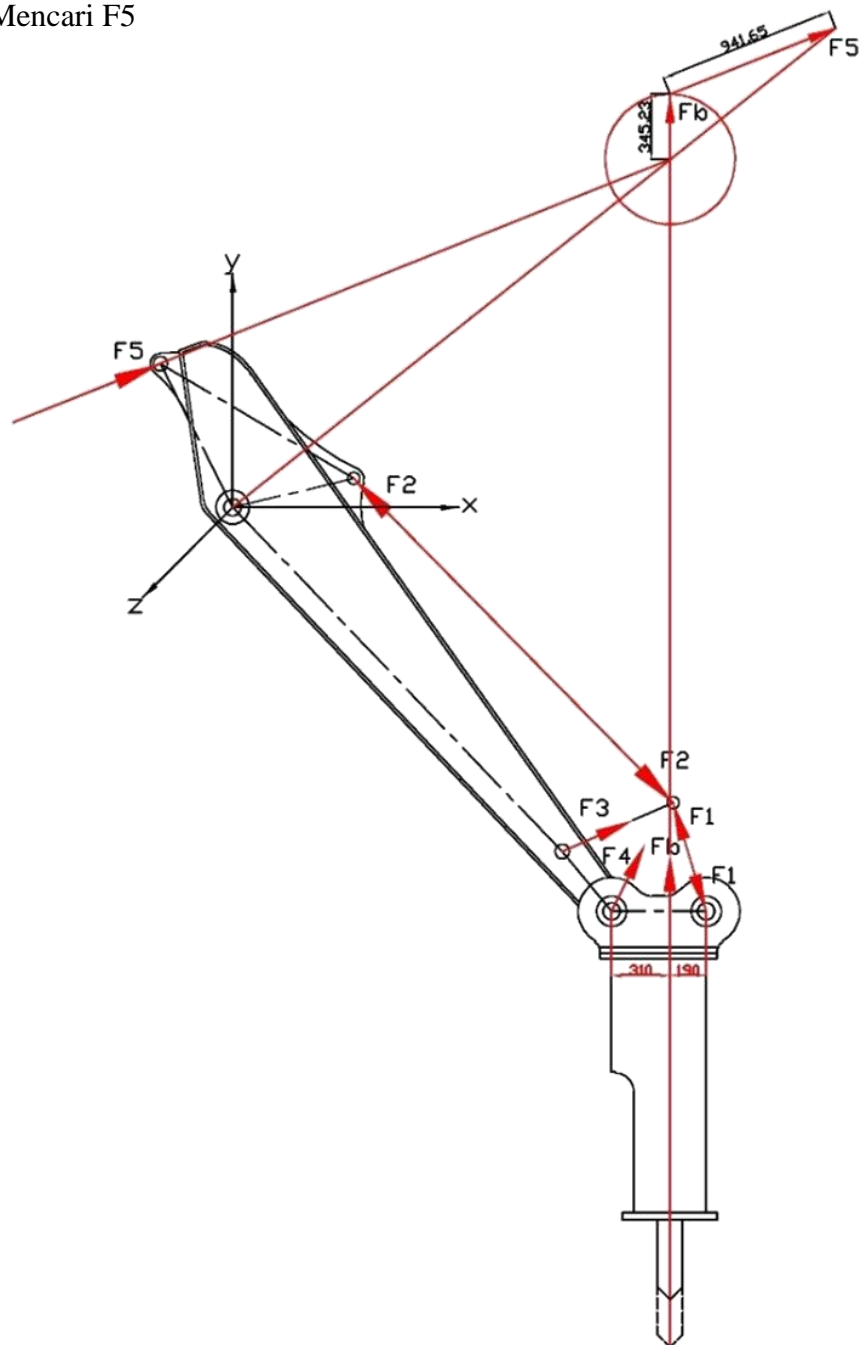
3. Mencari F4



4. Mencari F2 dan F3



5. Mencari F5

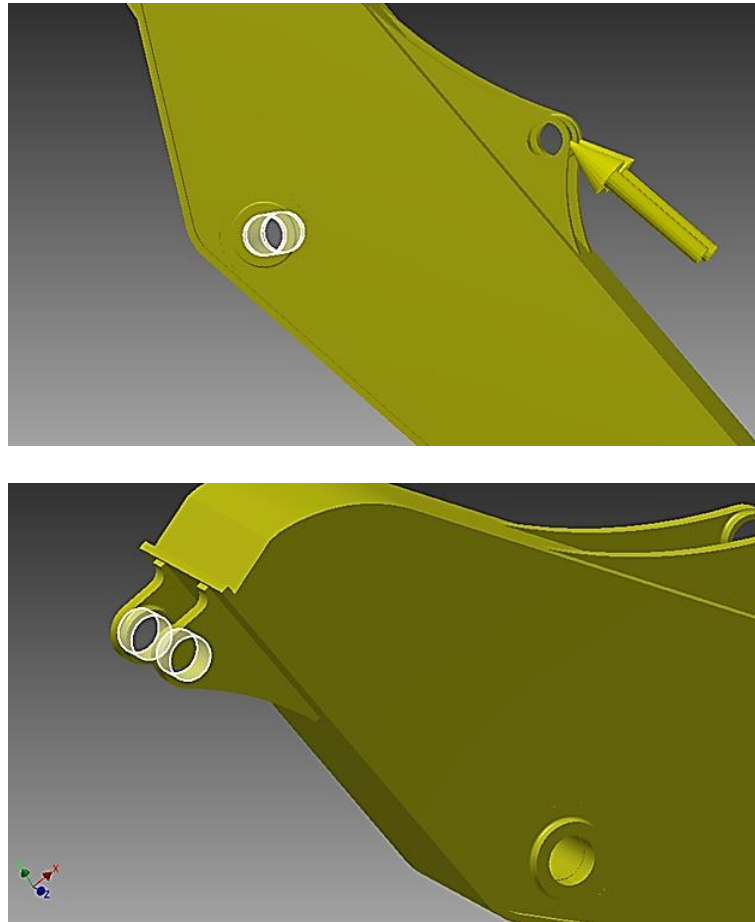


$$F5 = 94.165 \text{ N}$$

4.4. Kondisi Batas

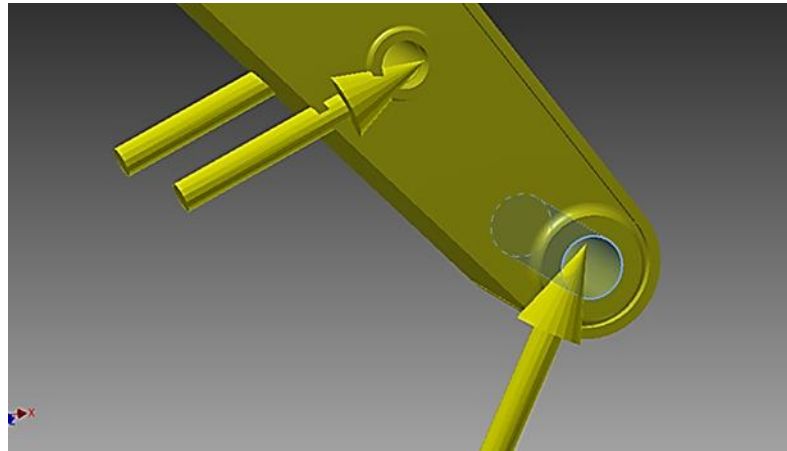
a. Pemberian *constraints* (tumpuan)

Arm excavator kelas 20 ton diberikan *constraints* berupa *pin* pada *surface boshing center arm* dan *surface hole* padaudukan *hydraulic arm excavator*.



Gambar 4.9. Pemberian *Constraints* pada *Arm Excavator*

b. Pemberian gaya pada *arm excavator* kelas 20 ton

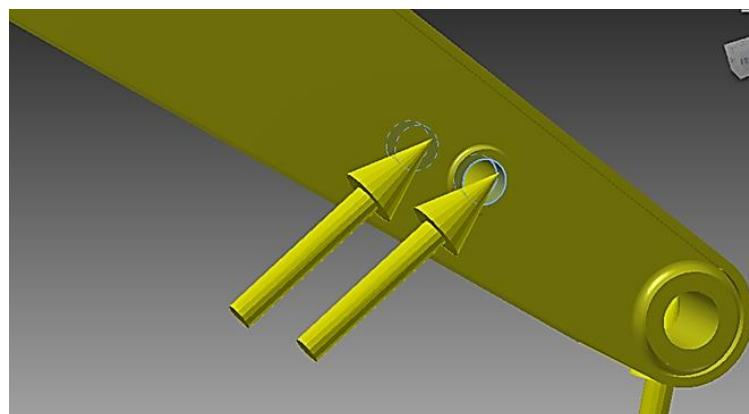


Gambar 4.10. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 1)

Pemberian gaya (*force 1*) diberikan pada *surface boshing* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10.

Tabel 4.4. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 1)

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	14.648 N
<i>Vector X</i>	6.602,172 N
<i>Vector Y</i>	13.075,750 N

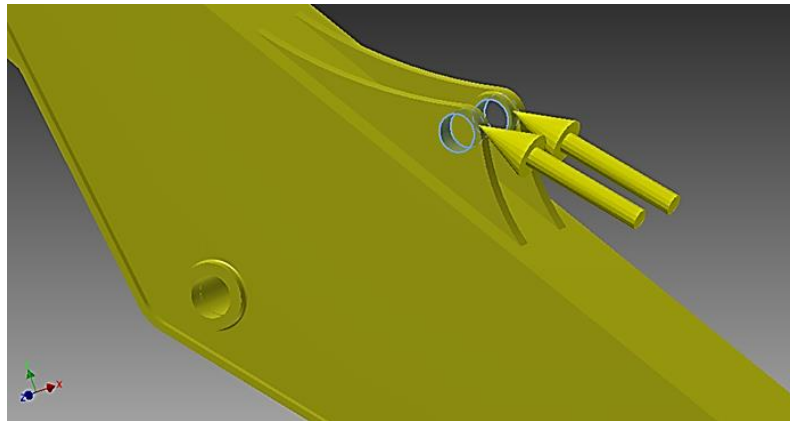


Gambar 4.11. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 2)

Pemberian gaya (*force 2*) diberikan pada *surface boshing* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.19.

Tabel 4.5. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator (Force 2)*

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	11.107 N
<i>Vector X</i>	10.160,892 N
<i>Vector Y</i>	4.485,725 N

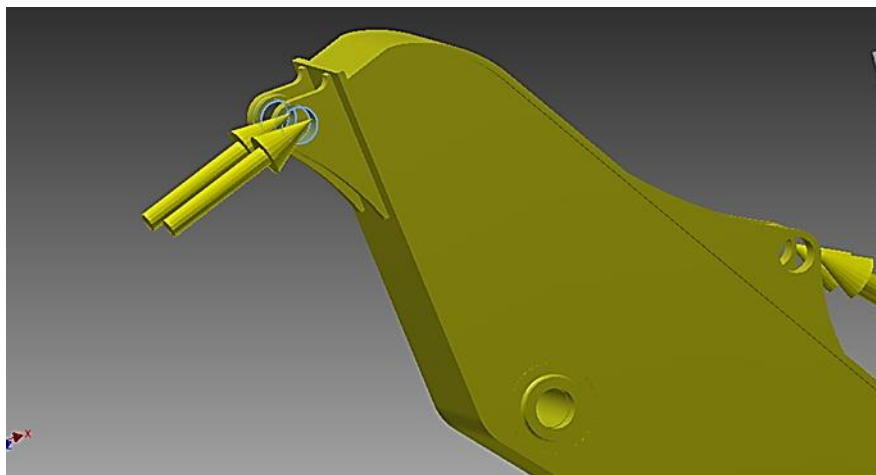


Gambar 4.12. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator (Force 3)*

Pemberian gaya (*force 3*) diberikan pada *surface hole* dudukan *hydraulic breaker* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.20.

Tabel 4.6. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator (Force 3)*

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	23.770 N
<i>Vector X</i>	-16.793,254 N
<i>Vector Y</i>	16.822,590 N



Gambar 4.13. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 4)

Pemberian gaya (*force 4*) diberikan pada *surface hole* dudukan *hydraulic arm excavator* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.21.

Tabel 4.7. Pemberian Gaya pada Arm Excavator (Force 4)

<i>Load Tipe</i>	<i>Force</i>
<i>Magnitude</i>	94.165 N
<i>Vector X</i>	88.367,519 N
<i>Vector Y</i>	32.530,429 N

4.5. Hasil Analisis dengan Software Autodesk Inventor Professional 2015

Setelah proses perhitungan dari analisis statik dan proses simulasi dengan menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015* telah selesai sampai akhir, maka dapat diketahui nilai-nilai maksimum dan minimum dari tegangan yang terjadi pada rangka *arm excavator* kelas 20 ton dan faktor keamanan yang dimiliki oleh rangka *arm excavator* kelas 20 ton tersebut dengan melihat hasilnya di *stress analysis report*.

Diasumsikan rangka *arm excavator* kelas 20 ton pada *pin 1* mendapatkan gaya sebesar 14.648 N, pada *pin 2* mendapatkan gaya sebesar 11.107 N, pada *pin*

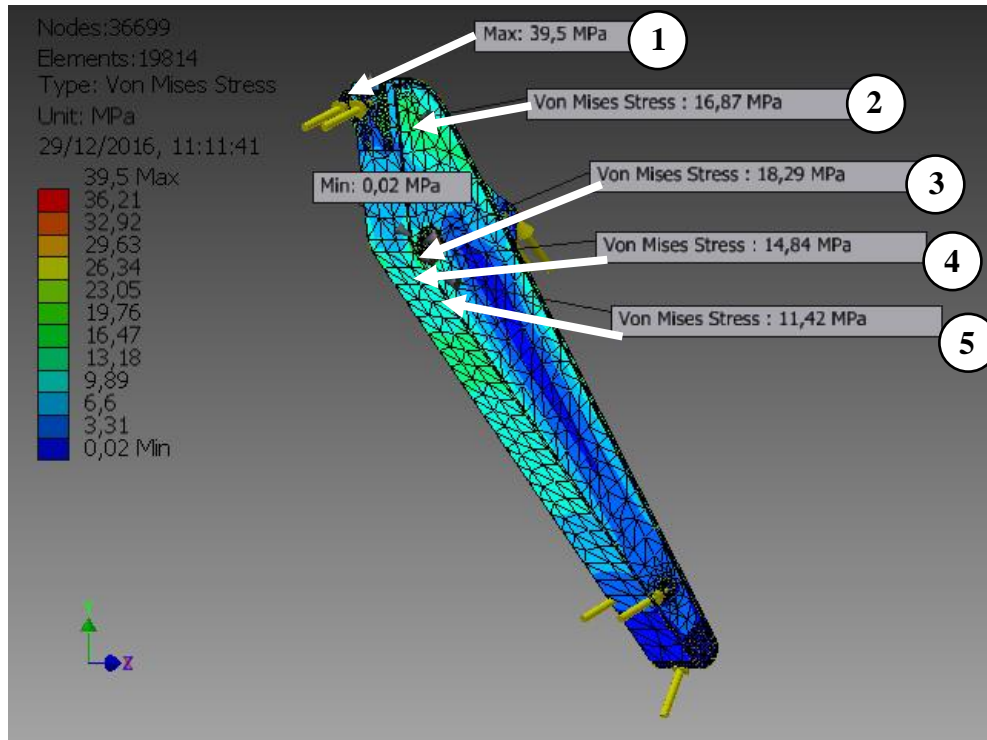
3 mendapatkan gaya sebesar 23.770 N, dan pada *pin* 4 mendapatkan gaya sebesar 94.165 N.

Pada *software Autodesk Inventor Professional 2015* dimasukkan data-data *arm excavator* kelas 20 ton sesuai dengan kondisi yang mendekati sebenarnya, sehingga dapat dilakukan analisis statik dan menjalankan proses simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015* pada struktur rangka tersebut.

4.5.1. Hasil Analisis dari *Am Excavator* Kelas 20 Ton *Unreinforcement*

Tabel 4.8. Ringkasan Hasil Analisis Software dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton *Unreinforcement*

<i>Name</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Volume</i>	92595400 mm ³	
<i>Mass</i>	727,68 Kg	
<i>Von Mises Stress</i>	0,015122 MPa	39,4963 MPa
<i>1st Principal Stress</i>	-10,5875 MPa	24,4038 MPa
<i>3rd Principal Stress</i>	-43,4322 MPa	5,57972 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000205552 mm	1,59084 mm
<i>Safety Factor</i>	6,32971	15



Gambar 4.14. Tegangan yang Terjadi pada Rangka Arm Excavator Kelas 20 Ton *Unreinforcement*

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforcement* memiliki tegangan maksimum sebesar 39,4963 MPa yang berada pada daerah yang ditunjukkan pada gambar analisis di atas. Sedangkan tegangan minimumnya sebesar 0,015122 MPa.

Berdasarkan standar ANSI MH29.1 faktor keamanan *arm excavator* kelas 20 ton dapat ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut :

- Tegangan normal izin (σ_a) $= \frac{\text{yield strength}}{\text{factor safety}} = \frac{\sigma_y}{n_s} = \frac{363 \text{ MPa}}{3}$
- Tegangan geser izin (τ_a) $= 0,577 \times \sigma_a = 69,817 \text{ MPa}$
- Jika τ_{max} yang terjadi $\leq \tau_a$ maka hasilnya aman

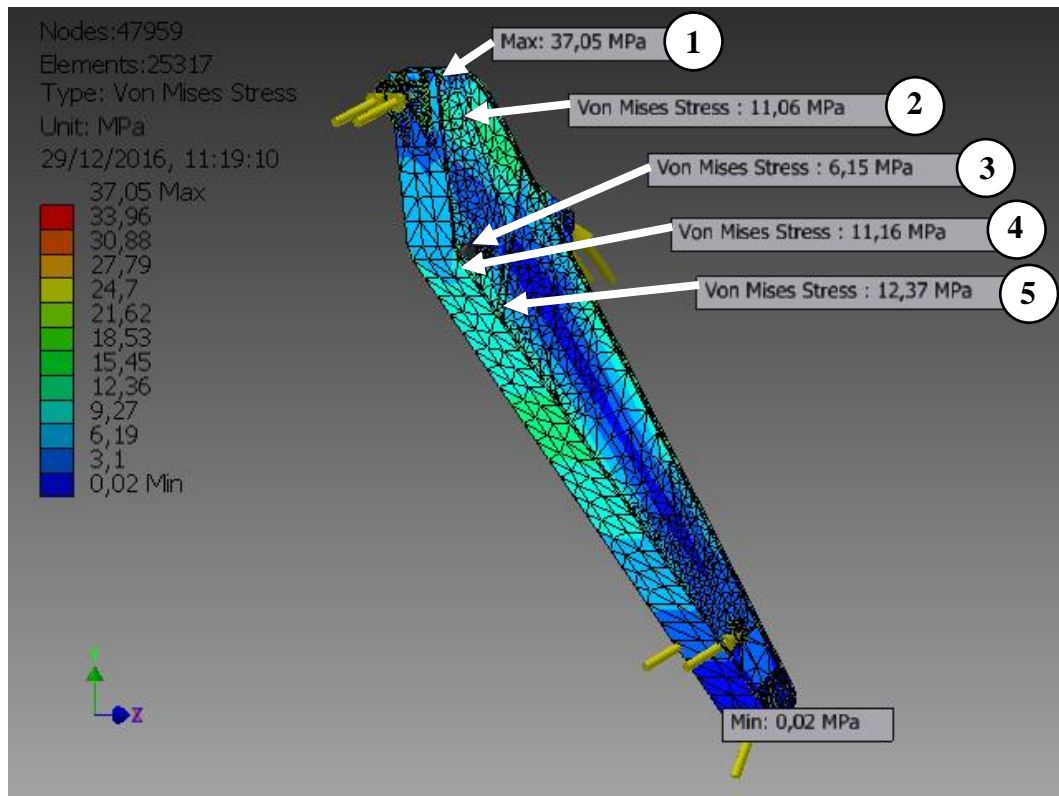
Tabel 4.9. Hasil Analisis dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton *Unreinforcement*

No.	Tegangan yang Terjadi (<i>Von Misses</i>)	Tegangan Izin	Keterangan
1.	39,5 MPa	69,817 MPa	Aman
2.	16,87 MPa	69,817 MPa	Aman
3.	18,29 MPa	69,817 MPa	Aman
4.	14,84 MPa	69,817 MPa	Aman
5.	11,42 MPa	69,817 MPa	Aman

4.5.2. Hasil Analisis dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton *Reinforce* Versi *Engineer PT.PQR*

Tabel 4.10. Ringkasan Hasil Analisis Software dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton *Reinforce* Versi *Engineer PT.PQR*

<i>Name</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Volume</i>	103997000 mm ³	
<i>Mass</i>	816,373 Kg	
<i>Von Mises Stress</i>	0,0155988 MPa	37,0484 MPa
<i>1st Principal Stress</i>	-9,44683 MPa	44,4227 MPa
<i>3rd Principal Stress</i>	-39,3153 MPa	11,3364 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000295605 mm	1,42483 mm
<i>Safety Factor</i>	7,01027	15



Gambar 4.15. Tegangan yang Terjadi pada Rangka *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.PQR

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT.PQR memiliki tegangan maksimum sebesar 37,0484 MPa yang berada pada daerah yang ditunjukkan pada gambar analisis di atas. Sedangkan tegangan minimumnya sebesar 0,0155988 MPa.

Berdasarkan standar ANSI MH29.1 faktor keamanan *arm excavator* kelas 20 ton dapat ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut :

- Tegangan normal izin (σ_a) $= \frac{\text{yield strength}}{\text{factor safety}} = \frac{\sigma_y}{n_s} = \frac{363 \text{ MPa}}{3}$
- Tegangan geser izin (τ_a) $= 0,577 \times \sigma_a = 69,817 \text{ MPa}$
- Jika τ_{max} yang terjadi $\leq \tau_a$ maka hasilnya aman

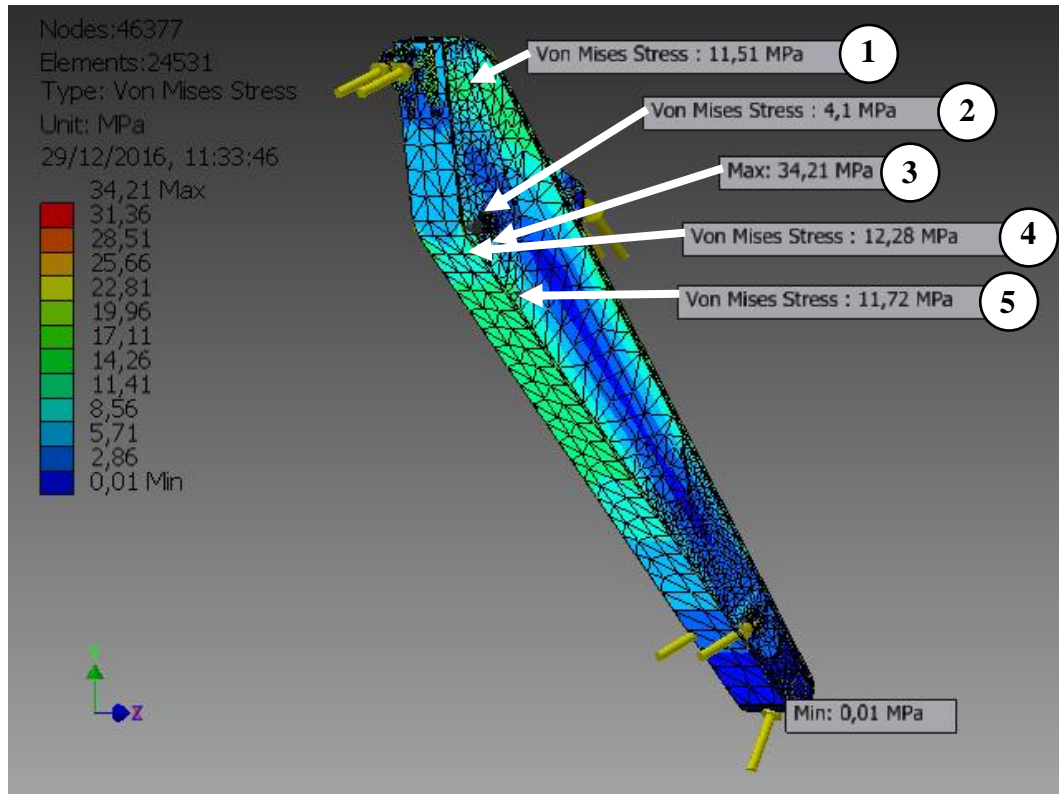
Tabel 4.11. Hasil Analisis dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.PQR

No.	Tegangan yang Terjadi (<i>Von Misses</i>)	Tegangan Izin	Keterangan
1.	37,05 MPa	69,817 MPa	Aman
2.	11,06 MPa	69,817 MPa	Aman
3.	6,15 MPa	69,817 MPa	Aman
4.	11,16 MPa	69,817 MPa	Aman
5.	12,37 MPa	69,817 MPa	Aman

4.5.3. Hasil Analisis dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.XYZ

Tabel 4.12. Ringkasan Hasil Analisis Software dari *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.XYZ

<i>Name</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Volume</i>	100482000 mm ³	
<i>Mass</i>	788,78 Kg	
<i>Von Mises Stress</i>	0,0143146 MPa	34,2145 MPa
<i>1st Principal Stress</i>	-9,69917 MPa	43,1532 MPa
<i>3rd Principal Stress</i>	-38,694 MPa	11,5022 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000157597 mm	1,4732 mm
<i>Safety Factor</i>	7,30685	15



Gambar 4.16. Tegangan yang Terjadi pada Rangka *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Reinforce Versi *Engineer PT.XYZ*

Dari analisis tersebut dapat diketahui bahwa *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT.XYZ memiliki tegangan maksimum sebesar 34,2145 MPa yang berada pada daerah yang ditunjukkan pada gambar analisis di atas. Sedangkan tegangan minimumnya sebesar 0,0143146 MPa.

Berdasarkan standar ANSI MH29.1 faktor keamanan *arm excavator* kelas 20 ton dapat ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut :

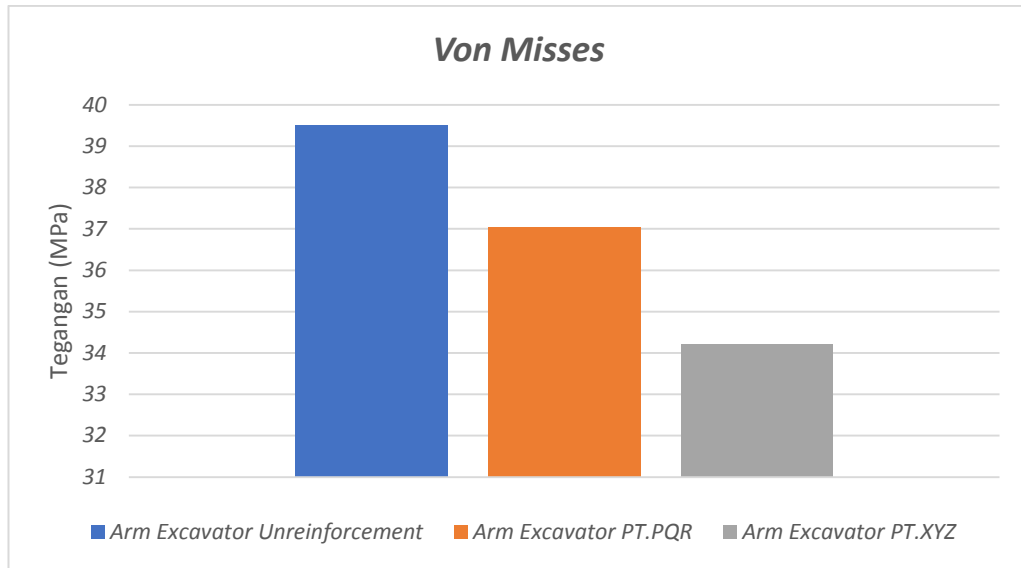
- Tegangan normal izin (σ_a) $= \frac{\text{yield strength}}{\text{factor safety}} = \frac{\sigma_y}{n_s} = \frac{363 \text{ MPa}}{3}$
- Tegangan geser izin (τ_a) $= 0,577 \times \sigma_a = 69,817 \text{ MPa}$
- Jika τ_{max} yang terjadi $\leq \tau_a$ maka hasilnya aman

Tabel 4.13. Hasil Analisis dari Arm Excavator Kelas 20 Ton Reinforce Versi Engineer PT.XYZ

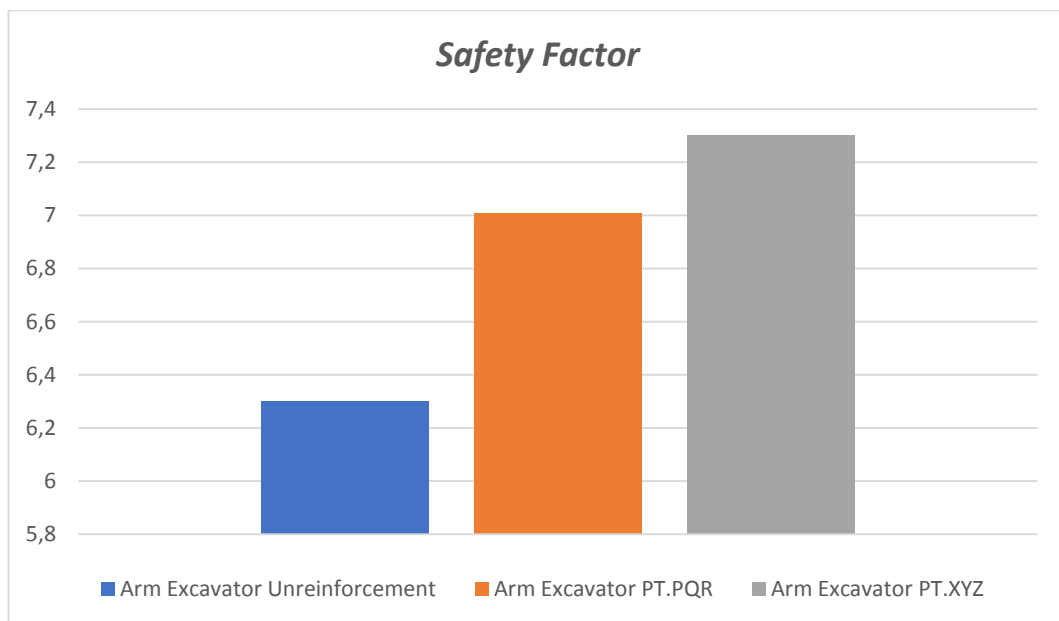
No.	Tegangan yang Terjadi (Von Misses)	Tegangan yang Diizinkan	Keterangan
1.	11,51 MPa	69,817 MPa	Aman
2.	4,1 MPa	69,817 MPa	Aman
3.	34,21 MPa	69,817 MPa	Aman
4.	12,28 MPa	69,817 MPa	Aman
5.	11,72 MPa	69,817 MPa	Aman

Tabel 4.14. Hasil Analisis Setiap Variasi dari Arm Excavator

	Arm Unreinforcement		Arm Excavator PT.PQR		Arm Excavator PT.XYZ	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Volume</i>	92595400 mm ³		103997000 mm ³		100482000 mm ³	
<i>Mass</i>	727,68 Kg		816,373 Kg		788,78 Kg	
<i>Von Misses Stress</i>	0,015122 MPa	39,4963 MPa	0,0155988 MPa	37,0484 MPa	0,0143146 MPa	34,2145 MPa
<i>1st Principal Stress</i>	-10,5875 MPa	24,4038 MPa	-9,44683 MPa	44,4227 MPa	-9,69917 MPa	43,1532 MPa
<i>3rd Principal Stress</i>	-43,4322 MPa	5,57972 MPa	-39,3153 MPa	11,3364 MPa	-38,694 MPa	11,5022 MPa
<i>Displacement</i>	0,0000205552 mm	1,59084 mm	0,0000295605 mm	1,42483 mm	0,0000157597 mm	1,4732 mm
<i>Safety Factor</i>	6,32971	15	7,01027	15	7,30685	15



Gambar 4.17. Perbandingan Tegangan *Von Misses* dari Setiap Variasi Desain *Arm Excavator* Kelas 20 Ton



Gambar 4.18. Perbandingan *Safety Factor* dari Setiap Variasi Desain *Arm Excavator* Kelas 20 Ton

Dari hasil perhitungan analisis statik dan proses simulasi menggunakan bantuan *stress analysis* pada *software Autodesk Professional Inventor 2015* dengan melihat perbandingan nilai tegangan dan *safety factor* yang terjadi pada rangka *arm excavator* kelas 20 ton, maka didapatkan kesimpulan bahwa desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer PT.XYZ* adalah yang paling kuat dan aman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis *arm excavator* kelas 20 ton dengan menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015* yang berbasis *FEM* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *unreinforce* memiliki tegangan maksimum sebesar 39,4963 MPa dan menghasilkan *safety factor* sebesar 6,32971.
- b. Kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. PQR memiliki tegangan maksimum sebesar 37,0484 MPa dan menghasilkan *safety factor* sebesar 7,01027.
- c. Kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ memiliki tegangan maksimum sebesar 34,2145 MPa dan menghasilkan *safety factor* sebesar 7,30685.
- d. Berdasarkan hasil perbandingan analisis kekuatan pada desain *arm excavator* kelas 20 ton menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2015*, desain *arm excavator* kelas 20 ton *reinforce* versi *engineer* PT. XYZ adalah yang paling kuat dan aman.

5.2. Saran

Untuk lebih mengembangkan penelitian ini, maka penulis memberikan saran agar dilakukan penelitian dengan membuat inovasi ataupun variasi baru dari bentuk, tebal, material, dan posisi *reinforce* itu sendiri dengan menggunakan *software* selain *Autodesk Professional Inventor 2015* untuk mendapatkan hasil yang variatif dan tidak menutup kemungkinan hasilnya lebih kuat dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Alchazin, Syaiful A. B. 2011. *Modul Training Autodesk Inventor 2012*. Bogor : LAPAN.
- Bhandari, V.B. 1994. *Design of Machine Elements*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Budynas, Richard G. & Nisbett, J. Keith. 2011. *Shigley's Mechanical Engineering Design* 9th Edition. New York : McGraw-Hill.
- Dietmar, Gross., Werner, Hauger., Jorg, Schroder., Wolfgang, A.Wall., and Javier, Bonet. (2011). *Engineering Mechanics 2 : Mechanics of Materials*. New York : Springer.
- Erinofiardi, Hendra. 2012. *Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Rekaya Mesin. Volume 3. Nomor 2 : 362-371.
- [FT] Fakultas Teknik. 2015. *Buku Panduan Penyusunan Skripsi dan Non Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- Gere, James M. dan Stephen P. Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Translated by Hans J Wospakrik. Jakarta : Erlangga.
- Harsokoesoemo, Darmawan. 2000. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*. Jakarta : Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
- Hidajat, R. L. Lambang G. 2005. *Teori dan Penerapan Meode Elemen Hingga*. Surakarta : LPP UNS dan UNS Press.
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Stress_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Stress_(mechanics)) diakses pada tanggal 11 April 2016, pukul 16.45 WIB.
- <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2015/ENU/?guid=GUID-84D01561-FD7F-4F17-A625-C86F412BE370> diakses pada tanggal 11 Desember 2016, pukul 14.45 WIB.
- <http://www.komatsu.eu/komatsu-attachments-hydraulic-breakers.asp> diakses pada tanggal 11 April 2016, pukul 12.45 WIB.
- Huda, Yon F. 2014. *Mahir Menggunakan Autodesk Inventor Pro 2013 Untuk Menggambar Mesin 3D*. Jakarta : ANDI
- Hutton, David. 2004. *Fundamentals of Finite Element Analysis*. New York : The McGraw-Hill Companies.

- Jensen, Alfred dan Harry H. Chenoweth. 1989. *Kekuatan Bahan Terapan* (4th Ed.). Translated by Darwin Sebayang. Jakarta : Erlangga.
- Kholil, Ahmad. 2012. *Alat Berat*. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya Offset
- Mott, R. L. 2009. *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*. Translated by Rines, Agus Unggul Santoso, Wibowo Kusbandono, Rusdi Sambada, I Gusti Ketut Puja, dan A. Teguh Siswanto. Yogyakarta : ANDI.
- Nugroho, Yogo Adi. 2012. *Desain dan Analisa Gerbong Kereta Api Pengangkut Bahan Bakar Premium dengan Metode Elemen Hingga* [tugas akhir]. Semarang : Teknik Mesin Undip.
- Septyabudi, Prayogo. 2013. *Meningkatkan Kualitas Boom Casting Unit Hydraulic Excavator Kelas 13 Ton Pada Produksi Alat Berat di PT. XYZ* [skripsi]. Jakarta : Teknik Industri Ekstensi Astra, Binus.
- Shigley, J. E. dan Larry D. Mitchell. 1984. *Perencanaan Teknik Mesin* (4th Ed.) Jilid 1. Translated by Gandhi Harahap. Jakarta : Erlangga.
- Singer, Ferdinand L. dan Andrew Pytel. 1985. *Kekuatan Bahan*. Translated by Darwin Sebayang. Jakarta : Erlangga.
- Syaifuddin, Hasan. 2015. *Analisis Tegangan Von Misses Pegas Daun Mobil Loistik Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga* [skripsi]. Semarang : Teknik Mesin Unnes.
- Weaver, William dan Paul R. Johnston. 1993. *Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*. Translated by Markus Rubijanto Kusuma. Bandung : Eresco
- Zienkiewich O.C dan R.L. Taylor. 2000. *The Finite Element Method* (5th Ed). Volume 1 : The Basis. Oxford Butterworth – Heinemann.

LAMPIRAN

Lampiran 1. *Stress Analysis Report Arm Excavator Kelas 20 Ton Unreinforcement*



Analyzed File:	<i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Unreinforcement.iam</i>
Autodesk Inventor Version:	2015 (Build 190159000, 159)
Creation Date:	11/01/2017, 10:46
Simulation Author:	Ilyas Ade Chandra
Summary:	

☐ Project Info (iProperties)

☐ Summary

Author	Ilyas Ade Chandra
--------	-------------------

☐ Project

Part Number	<i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Unreinforcement</i>
Designer	Live
Cost	Rp0
Date Created	11/01/2017

☐ Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

☐ Physical

Mass	727,68 kg
Area	12217900 mm ²
Volume	92595300 mm ³
Center of Gravity	x=842,756 mm y=-681,362 mm z=-0,0000744868 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	29/12/2016, 11:13
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ Material(s)

Name	JIS G 5101 (SC49)	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0,3
	Shear Modulus	80,7692 GPa
Part Name(s)	Part 1 (Depan) Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 1) Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 2) Boshing Belakang 1	

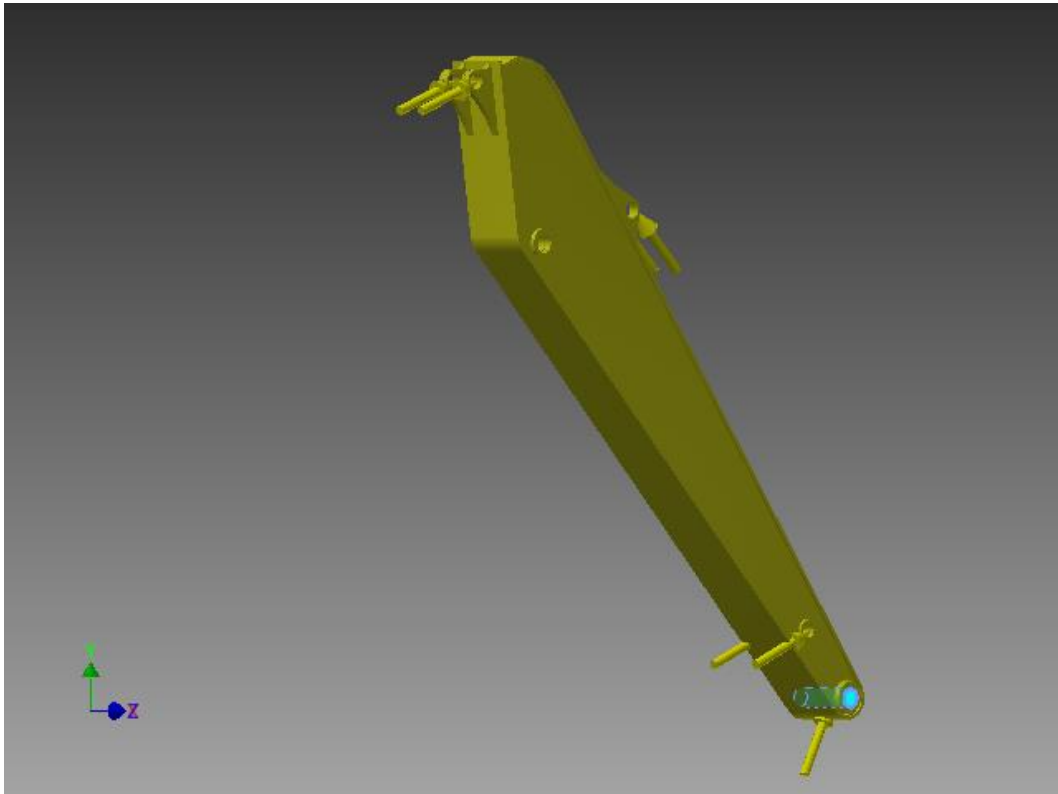
	Boshing Belakang 1 Boshing Belakang 2 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 2) Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 1) Boshing Depan 2	
Name	JIS SM 50 YA	
General	Mass Density	7,86109 g/cm ³
	Yield Strength	363 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	200 Gpa
	Poisson's Ratio	0,287
	Shear Modulus	77,7001 Gpa
Part Name(s)	Part 2 (Body)	
Name	JIS SM 50 YA	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	363 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	200 Gpa
	Poisson's Ratio	0,287
	Shear Modulus	77,7001 GPa
Part Name(s)	Stiffner Versi 2	

☐ **Operating conditions**

☐ **Force:1**

Load Type	Force
Magnitude	14648.000 N
Vector X	6602.172 N
Vector Y	13075.750 N
Vector Z	0.000 N

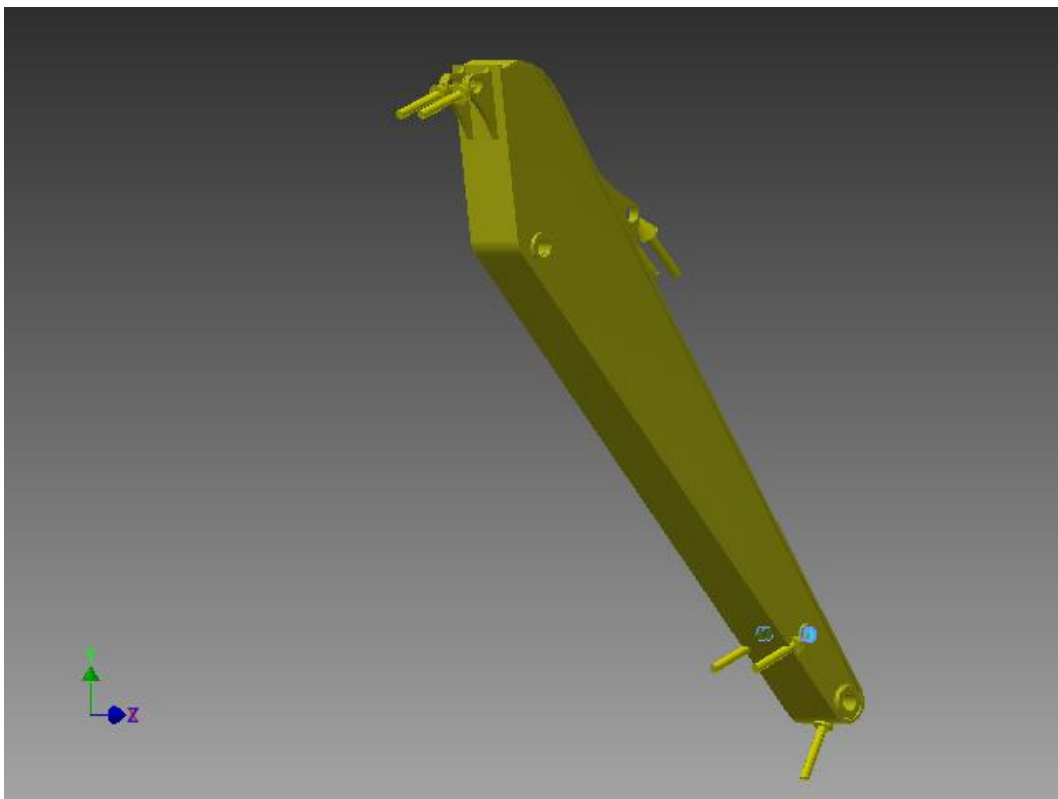
☐ **Selected Face(s)**



Gambar 1. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton di *Pin 1*

Force:2

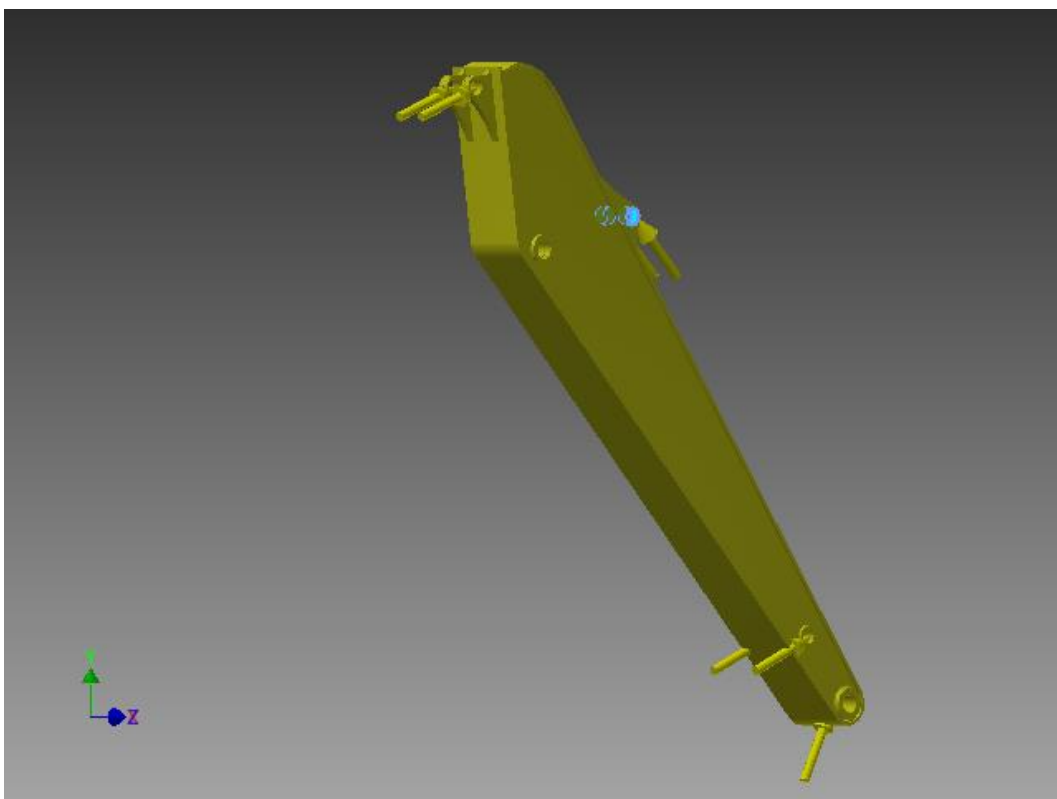
Load Type	Force
Magnitude	11107.000 N
Vector X	10160.892 N
Vector Y	4485.725 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 2. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton di *Pin 2*

Force:3

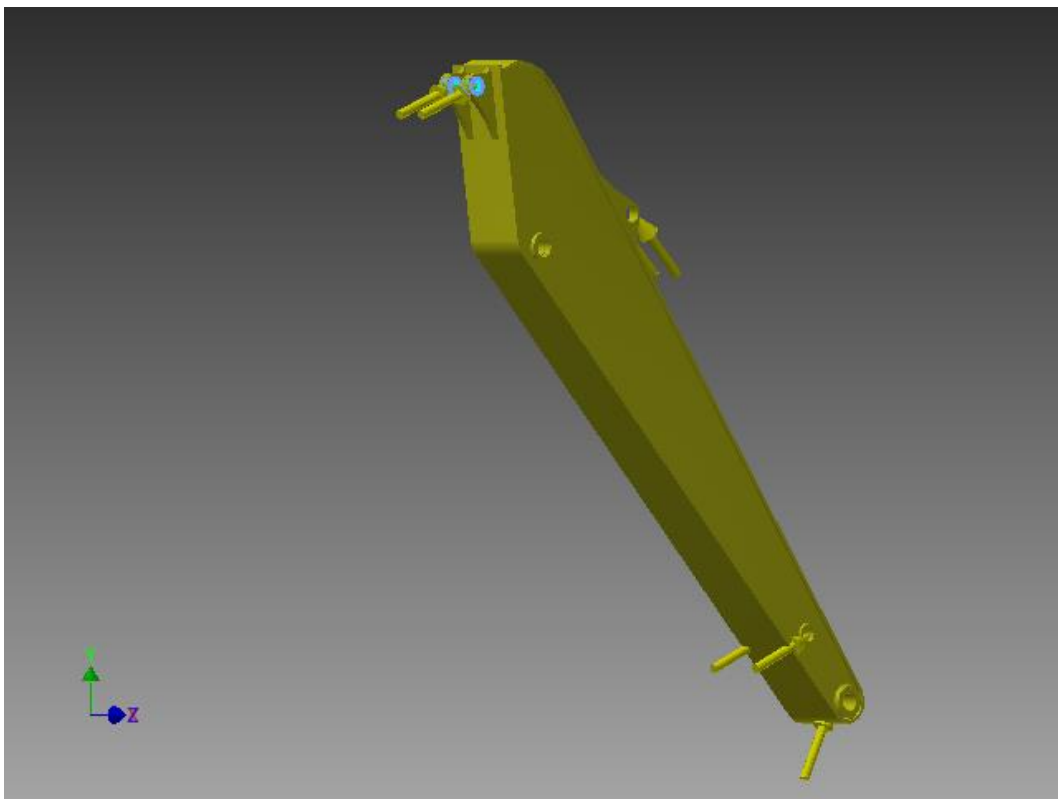
Load Type	Force
Magnitude	23770.000 N
Vector X	-16793.254 N
Vector Y	16822.590 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 3. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton di *Pin 3*

Force:4

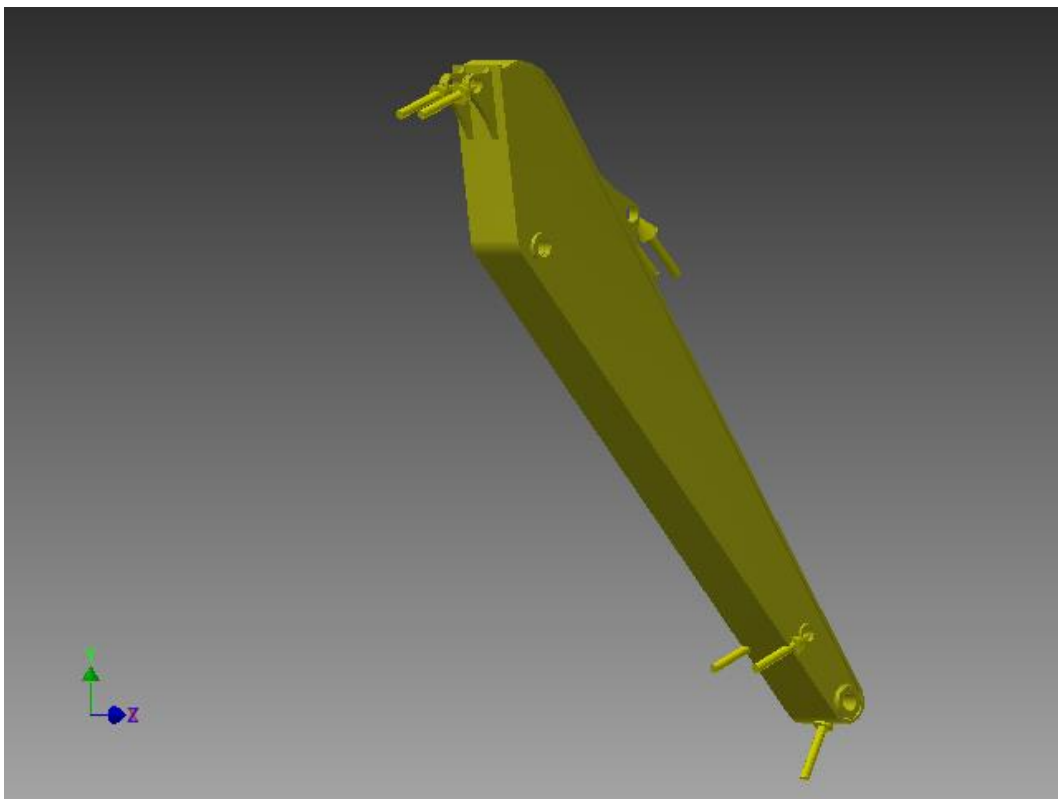
Load Type	Force
Magnitude	94165.000 N
Vector X	88367.519 N
Vector Y	32530.429 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 4. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton di *Pin 4*

☐ Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

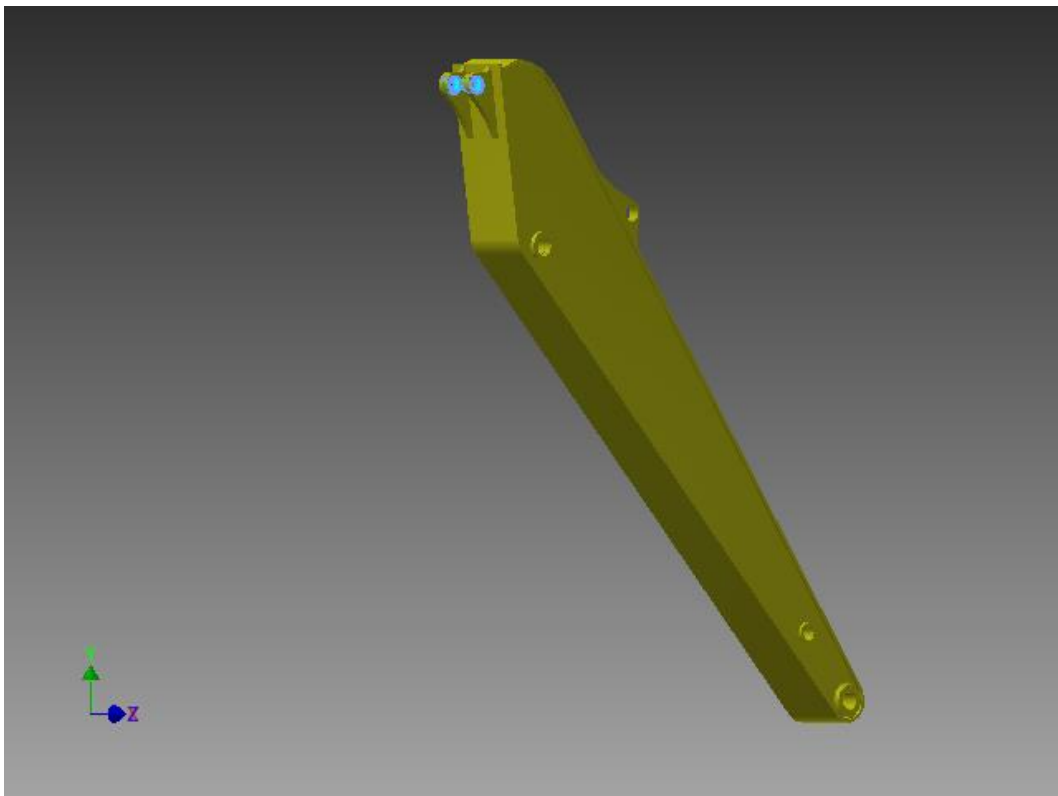
☐ Selected Face(s)

Gambar 5. Pemberian Gaya Gravitasi pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton

☐ **Pin Constraint:2**

Constraint Type	Pin Constraint
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

☐ **Selected Face(s)**

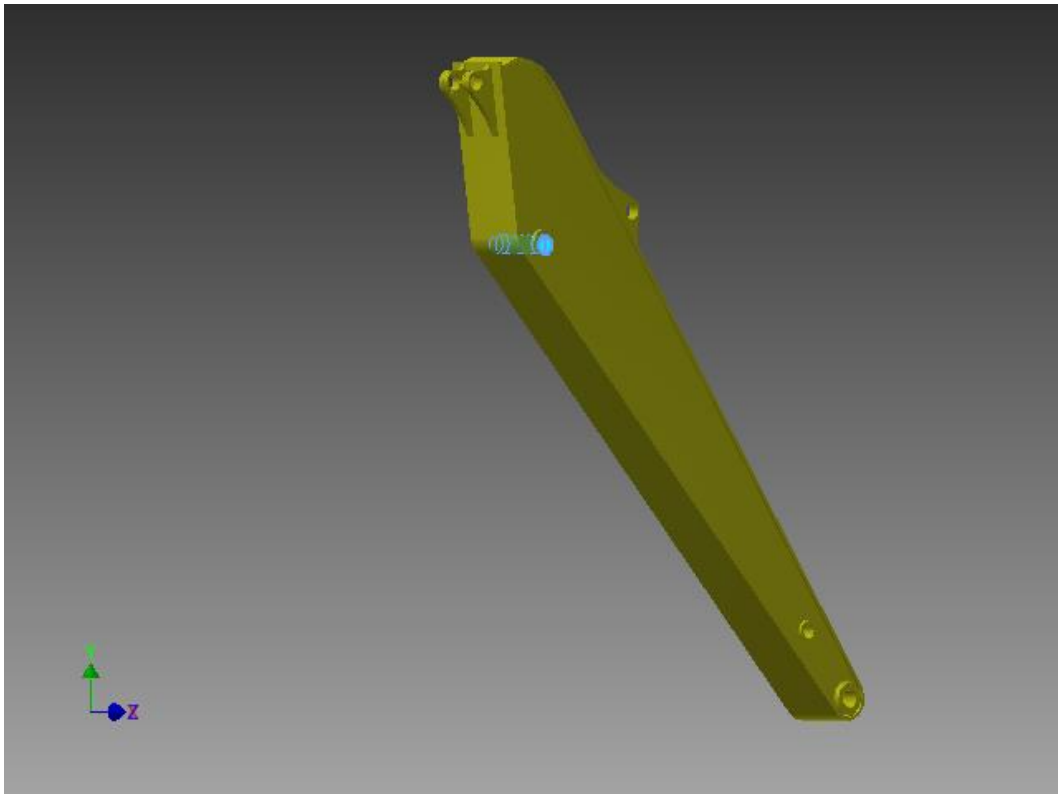


Gambar 6. Pemberian *Constraint* (Tumpuan) pada *Arm Excavator Kelas 20 Ton* di Bagian *Dudukan Hydraulic Arm*

☐ **Pin Constraint:1**

Constraint Type	Pin Constraint
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

☐ **Selected Face(s)**



Gambar 7. Pemberian *Constraint* (Tumpuan) pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton di Bagian *Boshing Center Arm*

☐ **Contacts (Bonded)**

Name	Part Name(s)
Bonded:1	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:2	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:3	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:4	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:5	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:6	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:7	Part 2 (Body):1 Boshing Belakang 1:1
Bonded:8	Part 2 (Body):1 Boshing Belakang 1:2
Bonded:9	Part 2 (Body):1 Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 1):1
Bonded:10	Part 2 (Body):1 Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 2):1
Bonded:11	Part 2 (Body):1 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 2):1
Bonded:12	Part 2 (Body):1 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 1):1
Bonded:13	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:14	Part 2 (Body):1 Boshing Depan 2:1
Bonded:15	Part 2 (Body):1 Boshing Depan 2:1
Bonded:16	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:17	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1

Bonded:18	Boshing Belakang 1:1 Boshing Belakang 2:1
Bonded:19	Boshing Belakang 1:2 Boshing Belakang 2:1
Bonded:20	Boshing Belakang 2:1 Stiffner Versi 2:1

☐ Results

☐ Reaction Force and Moment on Constraints

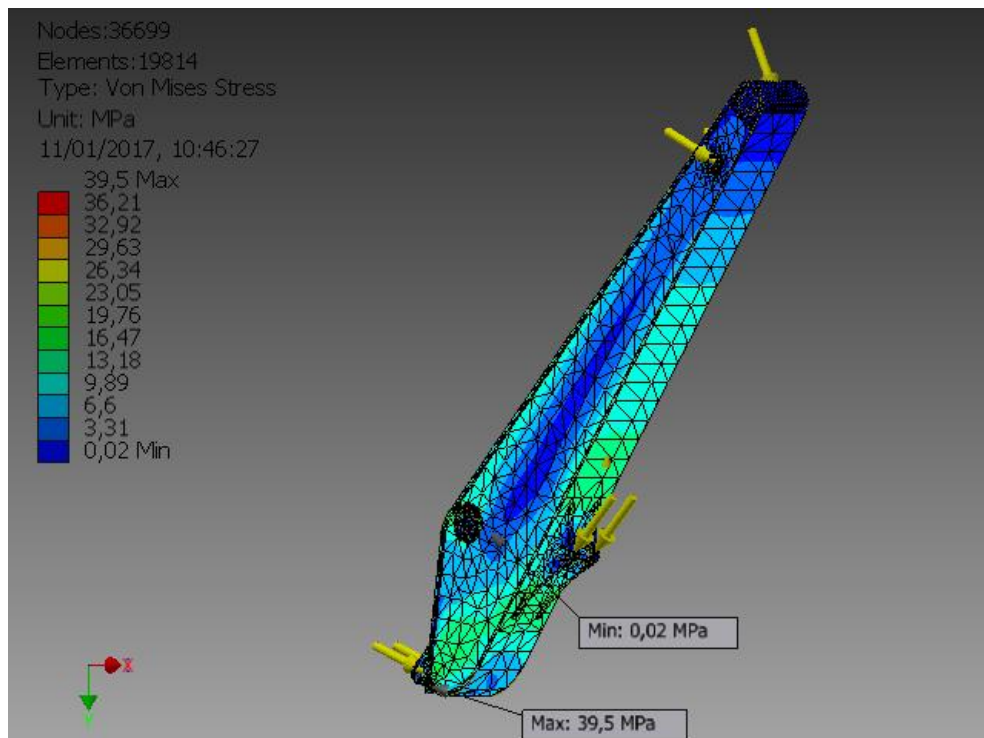
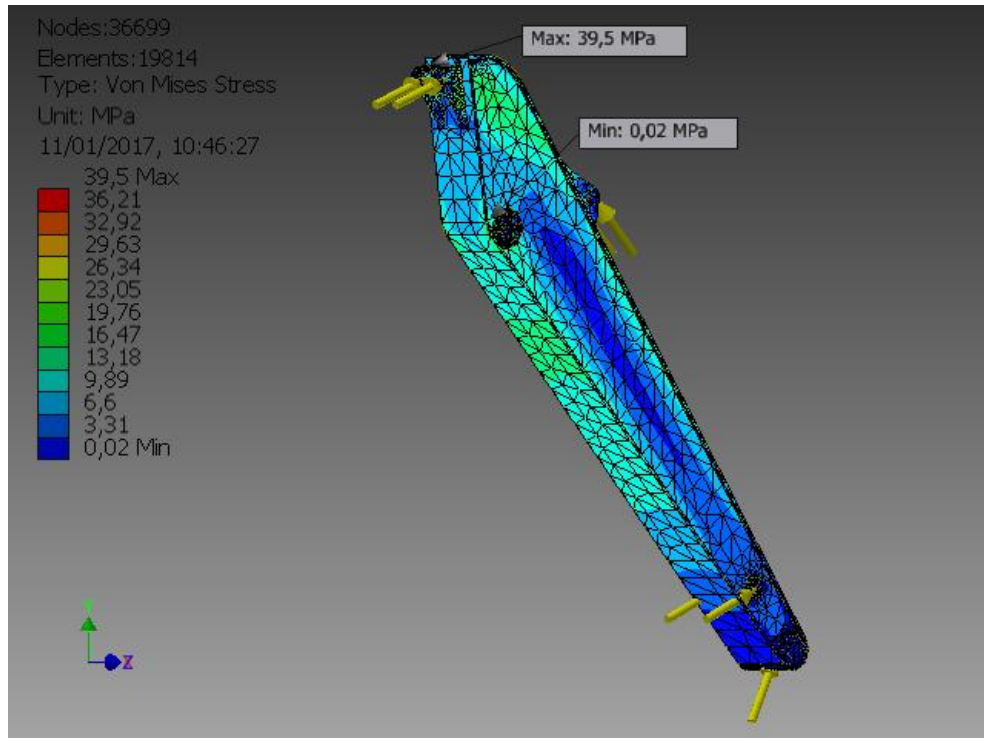
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
<i>Pin</i> Constraint:2	44484,9 N	13925,5 N	70,9673 N m	57,9927 N m
		-42248,9 N		40,9049 N m
		-139,603 N		0 N m
<i>Pin</i> Constraint:1	103732 N	-102245 N	44,7315 N m	44,7315 N m
		-17499,2 N		0 N m
		136,085 N		0 N m

☐ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	92595400 mm ³	
Mass	727,68 kg	
Von Mises Stress	0,015122 MPa	39,4963 MPa
1st Principal Stress	-10,5875 MPa	24,4038 MPa
3rd Principal Stress	-43,4322 MPa	5,57972 MPa
Displacement	0,0000205552 mm	1,59084 mm
Safety Factor	6,32971	15
Stress XX	-39,305 MPa	24,1268 MPa
Stress XY	-15,427 MPa	12,9907 MPa
Stress XZ	-18,2087 MPa	19,1026 MPa

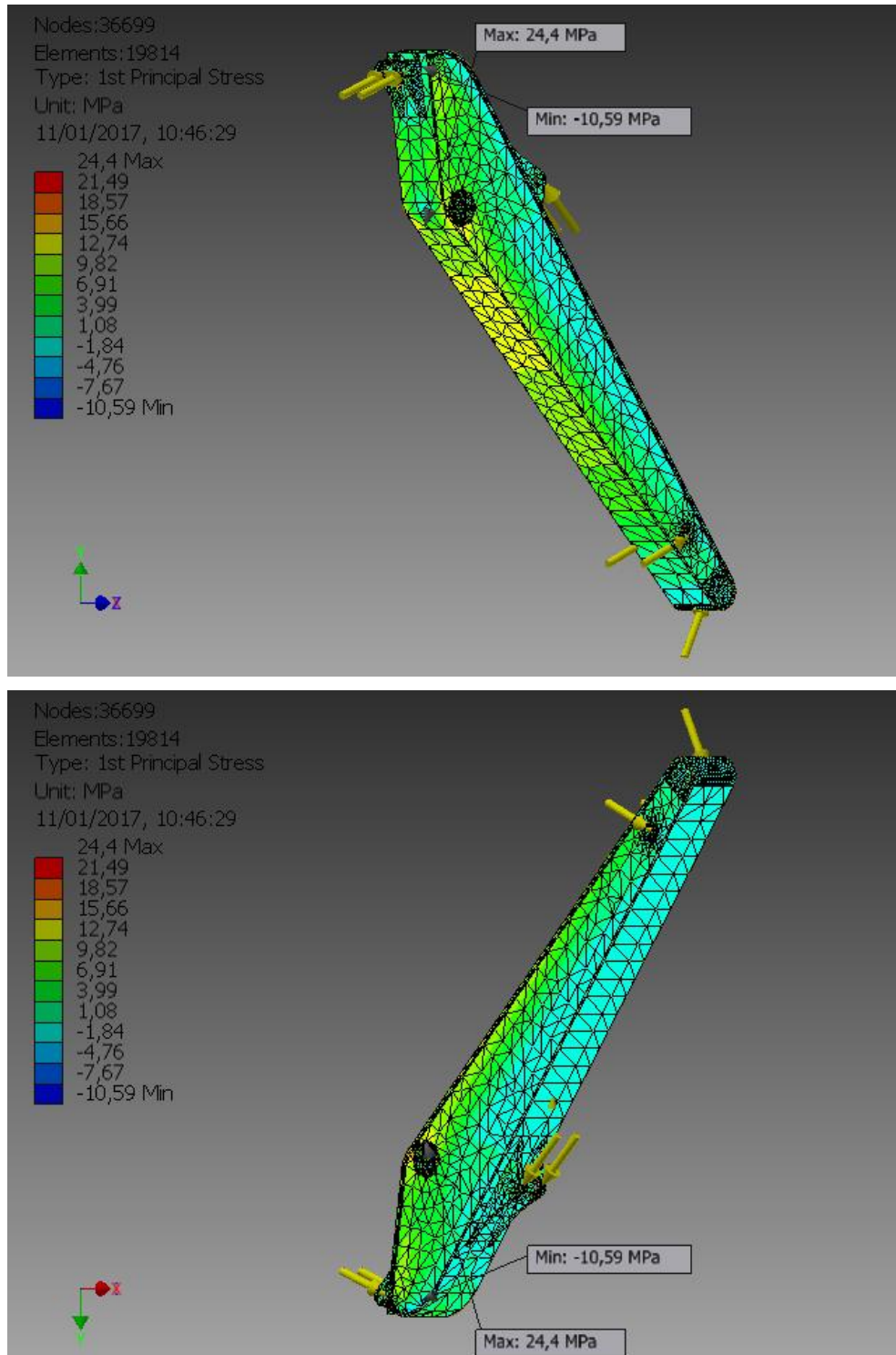
Stress YY	-25,0415 MPa	19,8806 MPa
Stress YZ	-10,8171 MPa	10,687 MPa
Stress ZZ	-18,3168 MPa	12,9495 MPa
X Displacement	-0,0511439 mm	1,22417 mm
Y Displacement	-0,0193689 mm	1,06816 mm
Z Displacement	-0,0218853 mm	0,0258911 mm
Equivalent Strain	0,0000000663575	0,000166891
1st Principal Strain	-0,00000000047951	0,000117619
3rd Principal Strain	-0,000188521	-0,000000000268382
Strain XX	-0,000170004	0,0000969539
Strain XY	-0,0000955007	0,0000804188
Strain XZ	-0,00011272	0,000118254
Strain YY	-0,000104523	0,0000924089
Strain YZ	-0,0000669628	0,0000661575
Strain ZZ	-0,0000485443	0,0000576173
Contact Pressure	0 MPa	46,4607 MPa
Contact Pressure X	-39,9505 MPa	42,5034 MPa
Contact Pressure Y	-27,2734 MPa	26,6467 MPa
Contact Pressure Z	-16,2442 MPa	17,2021 MPa

☐ Von Mises Stress



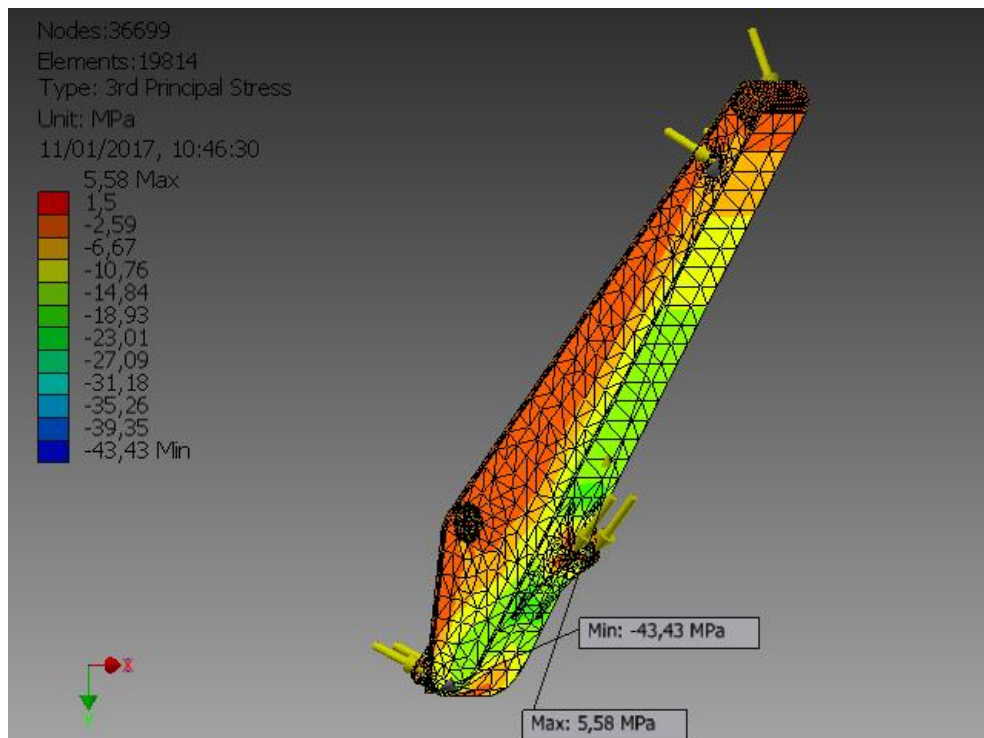
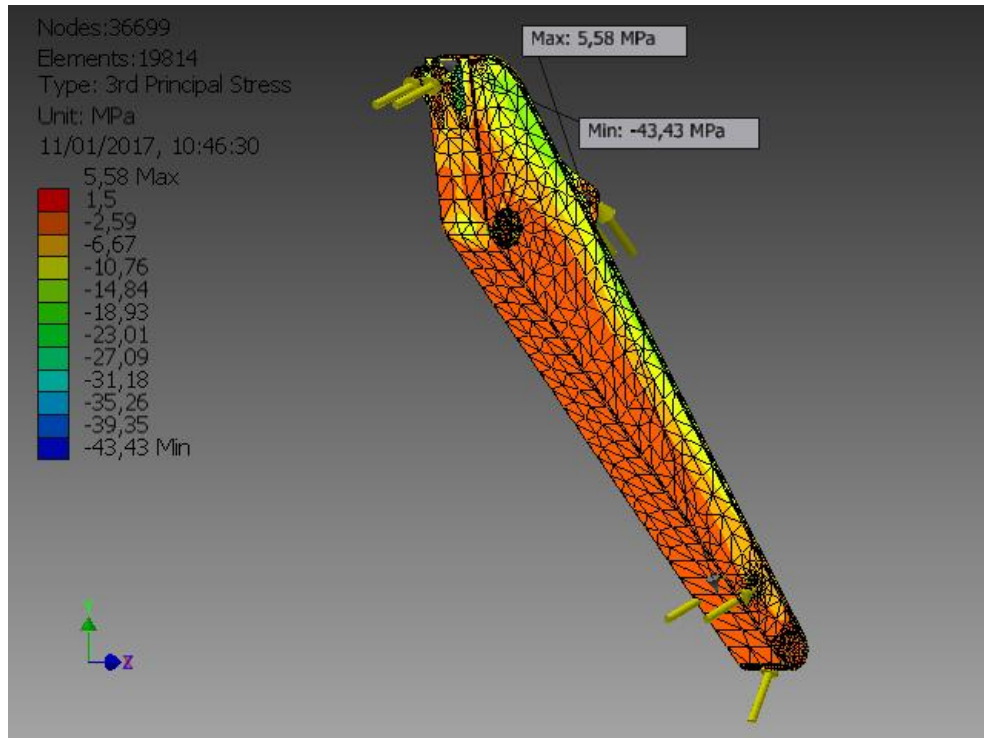
Gambar 8. Report Von Misses Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton

1st Principal Stress



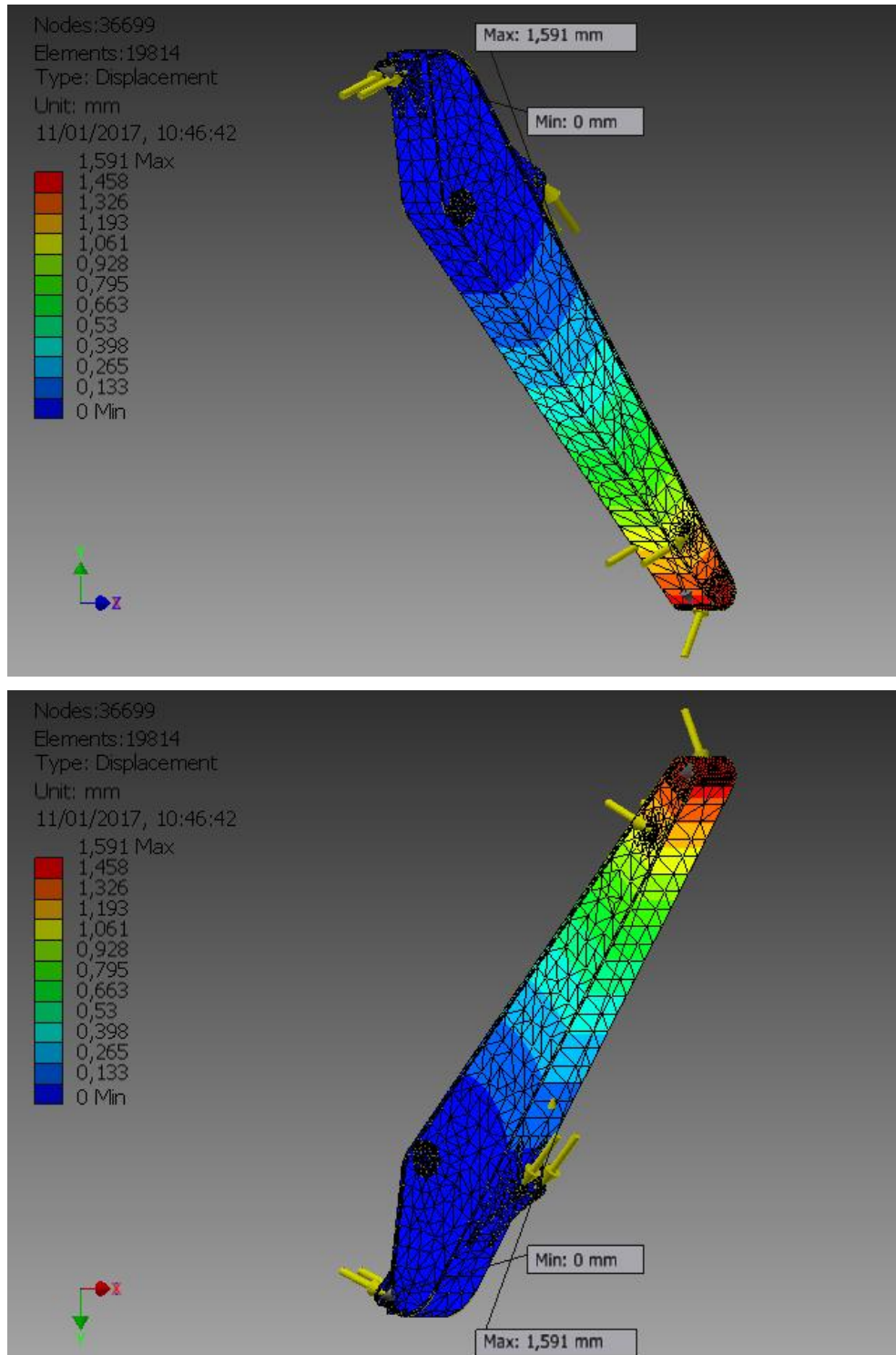
Gambar 9. Report 1st Principal Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton

▣ 3rd Principal Stress



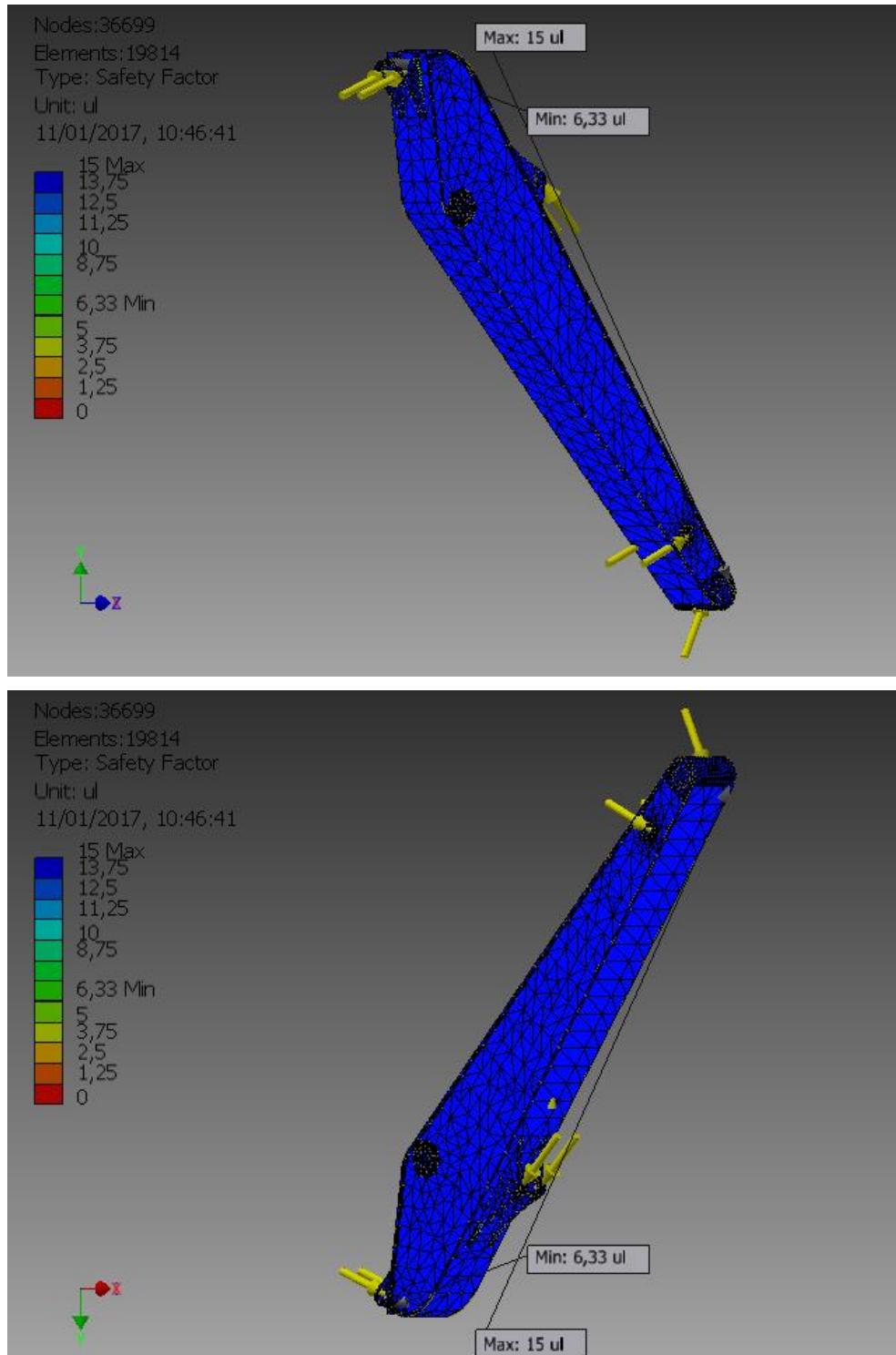
Gambar 10. Report 3rd Principal Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton

▣ Displacement



Gambar 11. Report Displacement Arm Excavator Kelas 20 Ton

☐ Safety Factor



Gambar 12. Report Safety Factor Arm Excavator Kelas 20 Ton

Lampiran 2. Stress Analysis Report Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR



Analyzed File:	<i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR.iam</i>
Autodesk Inventor Version:	2015 (Build 190159000, 159)
Creation Date:	11/01/2017, 10:34
Simulation Author:	Ilyas Ade Chandra
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author	Ilyas Ade Chandra
--------	-------------------

Project

Part Number	<i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR</i>
Designer	Live
Cost	Rp0
Date Created	11/01/2017

Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

Physical

Mass	817,179 kg
Area	15204400 mm ²
Volume	103996000 mm ³
Center of Gravity	x=809,871 mm y=-645,848 mm z=0,0448805 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	29/12/2016, 11:41
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ Material(s)

Name	JIS G 5101 (SC49)	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0,3
	Shear Modulus	80,7692 GPa
Part Name(s)	Part 1 (Depan) Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 1) Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 2)	

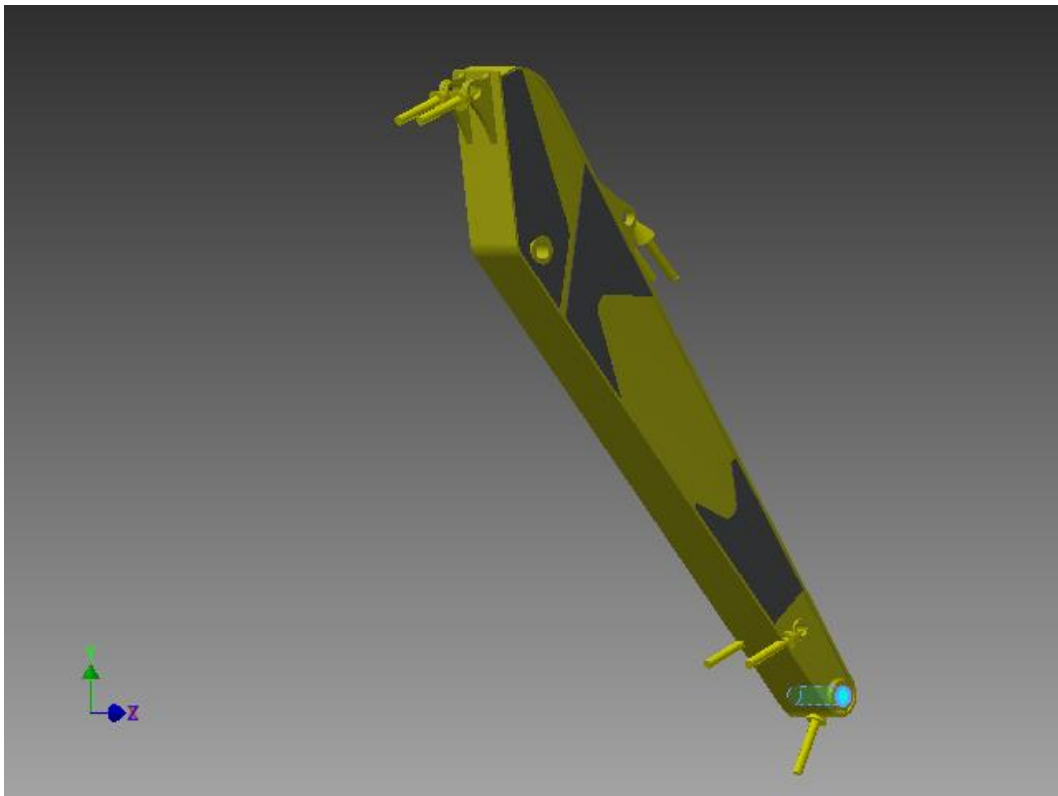
	Boshing Belakang 1 Boshing Belakang 1 Boshing Belakang 2 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 2) Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 1) Boshing Depan 2	
Name	JIS SM 50 YA	
General	Mass Density	7,86109 g/cm ³
	Yield Strength	363 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	200 GPa
	Poisson's Ratio	0,287
	Shear Modulus	77,7001 GPa
Part Name(s)	Part 2 (Body)	
Name	JIS SM 50 YA	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	363 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	200 Gpa
	Poisson's Ratio	0,287
	Shear Modulus	77,7001 GPa
Part Name(s)	Stiffner Versi 2	
Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	Reinforce 2 Reinforce 2 Reinforce belakang kanan Reinforce belakang kanan Reinforce 3 Reinforce 3	

☐ **Operating conditions**

☐ **Force:1**

Load Type	Force
Magnitude	14648.000 N
Vector X	6602.172 N
Vector Y	13075.750 N
Vector Z	0.000 N

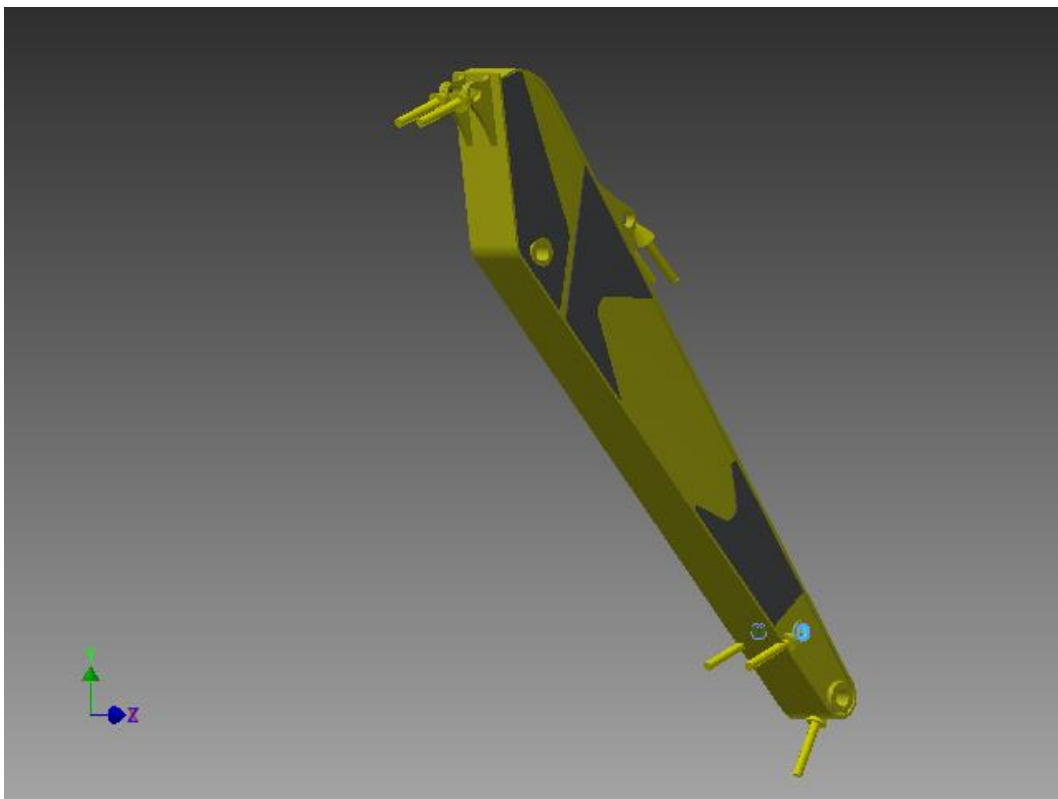
☐ **Selected Face(s)**



Gambar 13. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. PQR* di *Pin 1*

Force:2

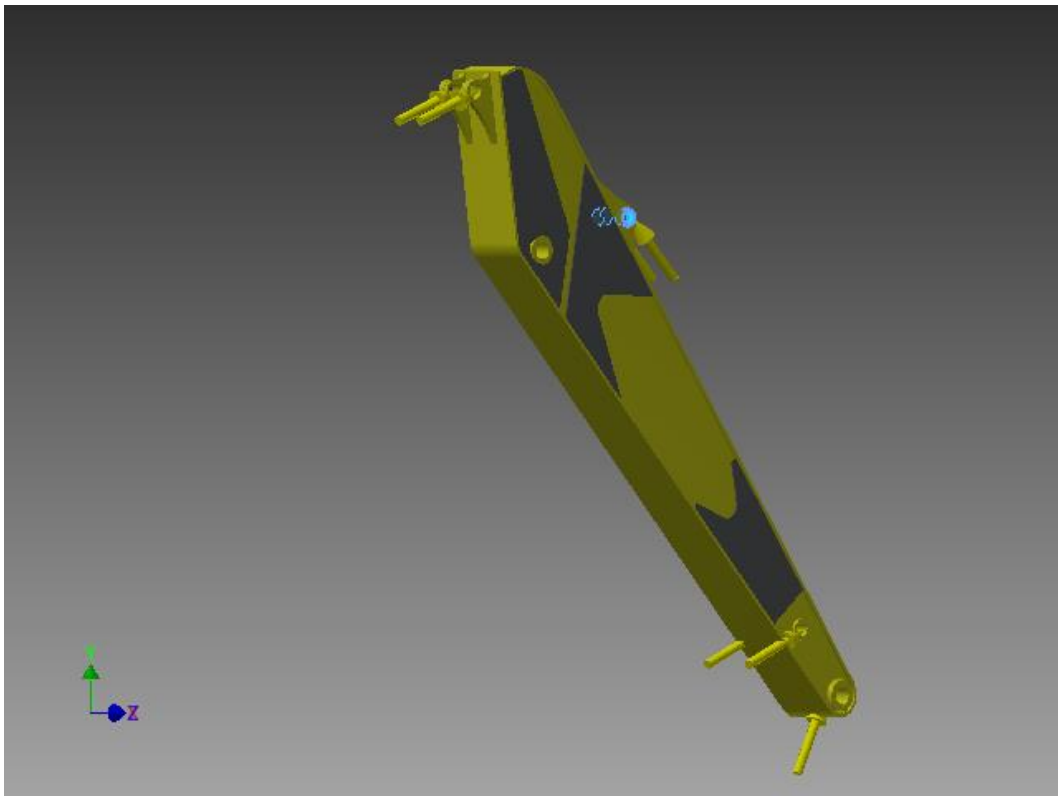
Load Type	Force
Magnitude	11107.000 N
Vector X	10160.892 N
Vector Y	4485.725 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 14. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. PQR* di *Pin 2*

Force:3

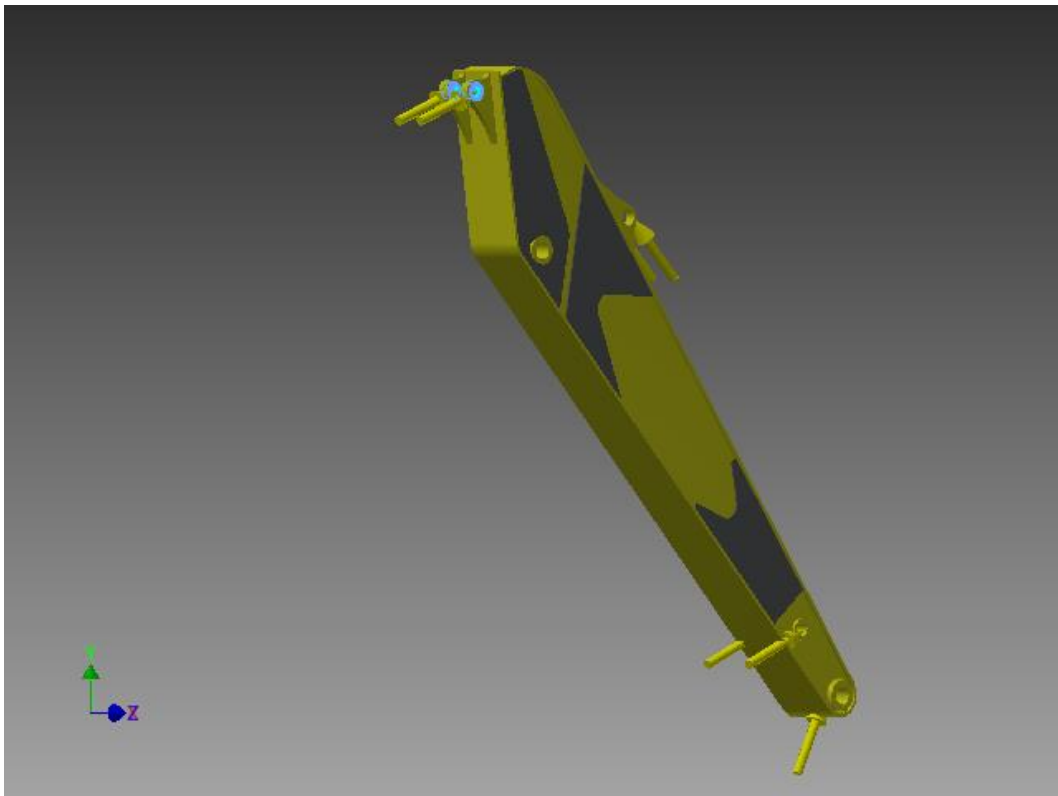
Load Type	Force
Magnitude	23770.000 N
Vector X	-16793.254 N
Vector Y	16822.590 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 15. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. PQR* di *Pin 3*

Force:4

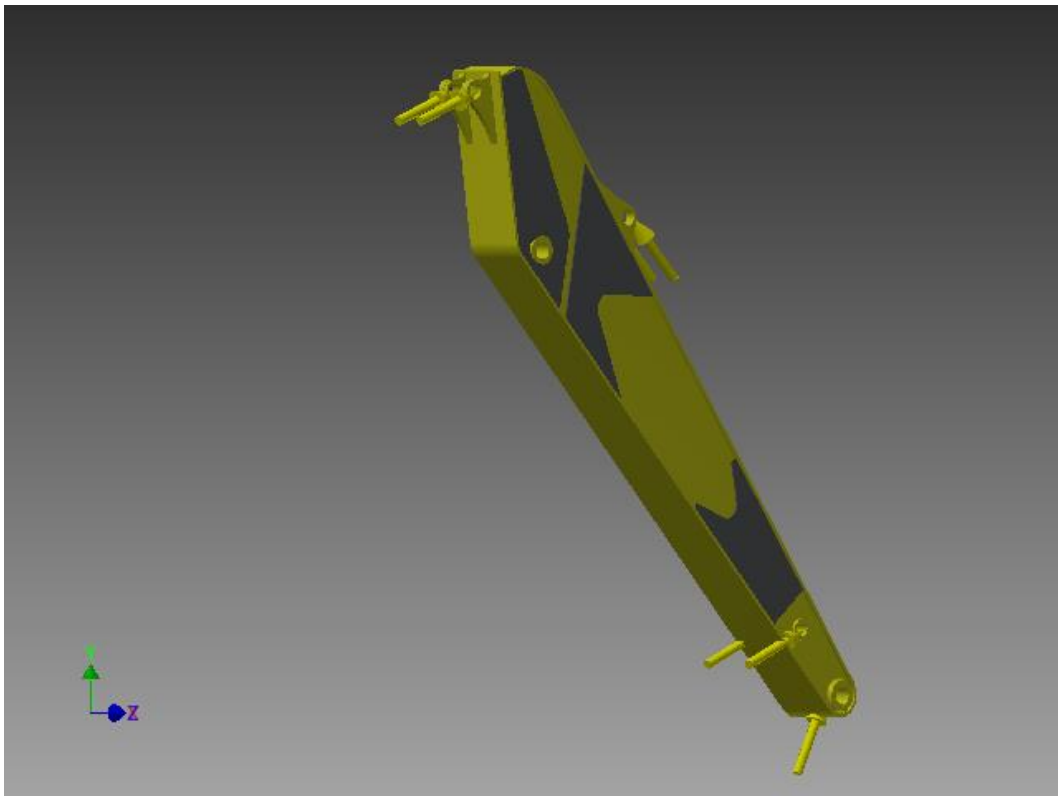
Load Type	Force
Magnitude	94164.667 N
Vector X	88367.207 N
Vector Y	32530.314 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 16. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. PQR* di *Pin 4*

☐ Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

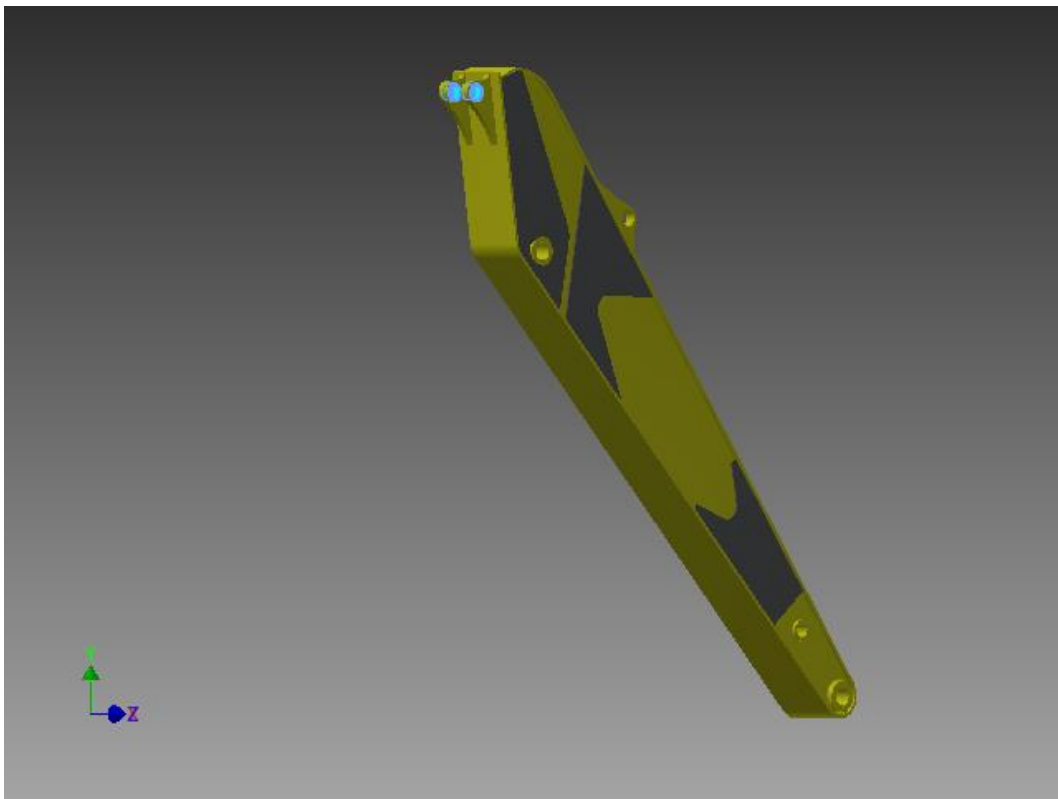
☐ Selected Face(s)

Gambar 17. Pemberian Gaya Gravitasi pada Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR

☐ **Pin Constraint:2**

Constraint Type	Pin Constraint
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

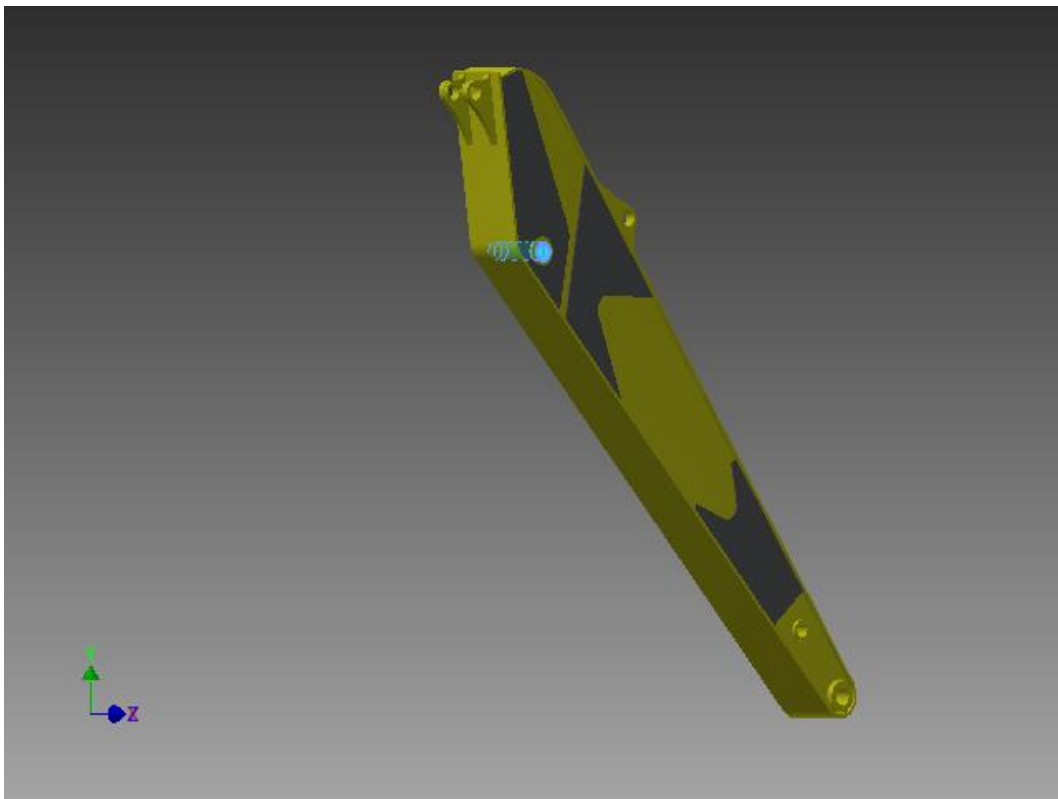
☐ **Selected Face(s)**



Gambar 18. Pemberian *Constraint* (Tumpuan) pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer* PT. PQR di Bagian *Dudukan Hydraulic Arm*

☐ Pin Constraint:1

Constraint Type	Pin Constraint
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

☐ Selected Face(s)

Gambar 19. Pemberian *Constraint* (Tumpuan) pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer* PT. PQR di Bagian *Boshing Center Arm*

☐ **Contacts (Bonded)**

Name	Part Name(s)
Bonded:1	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:2	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:3	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:4	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:5	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:6	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:7	Part 2 (Body):1 Boshing Belakang 1:1
Bonded:8	Part 2 (Body):1 Boshing Belakang 1:2
Bonded:9	Part 2 (Body):1 Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 1):1
Bonded:10	Part 2 (Body):1 Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 2):1
Bonded:11	Part 2 (Body):1 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 2):1
Bonded:12	Part 2 (Body):1 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 1):1
Bonded:13	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:14	Part 2 (Body):1 Boshing Depan 2:1
Bonded:15	Part 2 (Body):1 Boshing Depan 2:1
Bonded:16	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:17	Part 2 (Body):1

	Stiffner Versi 2:1
Bonded:18	Boshing Belakang 1:1 Boshing Belakang 2:1
Bonded:19	Boshing Belakang 1:2 Boshing Belakang 2:1
Bonded:20	Boshing Belakang 2:1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:21	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:1
Bonded:22	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:1
Bonded:23	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:24	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:2
Bonded:25	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:2
Bonded:26	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:27	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:28	Part 2 (Body):1 Reinforce 3:1
Bonded:29	Part 2 (Body):1 Reinforce 3:1
Bonded:30	Part 2 (Body):1 Reinforce 3:1
Bonded:31	Part 2 (Body):1 Reinforce 3:2
Bonded:32	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:33	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:34	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:35	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1

Bonded:36	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:37	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:38	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:39	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:40	Part 2 (Body):1 Reinforce 3:2
Bonded:41	Part 2 (Body):1 Reinforce 3:2
Bonded:43	Boshing Belakang 1:1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:44	Boshing Belakang 1:2 Reinforce belakang kanan:2

☐ Results

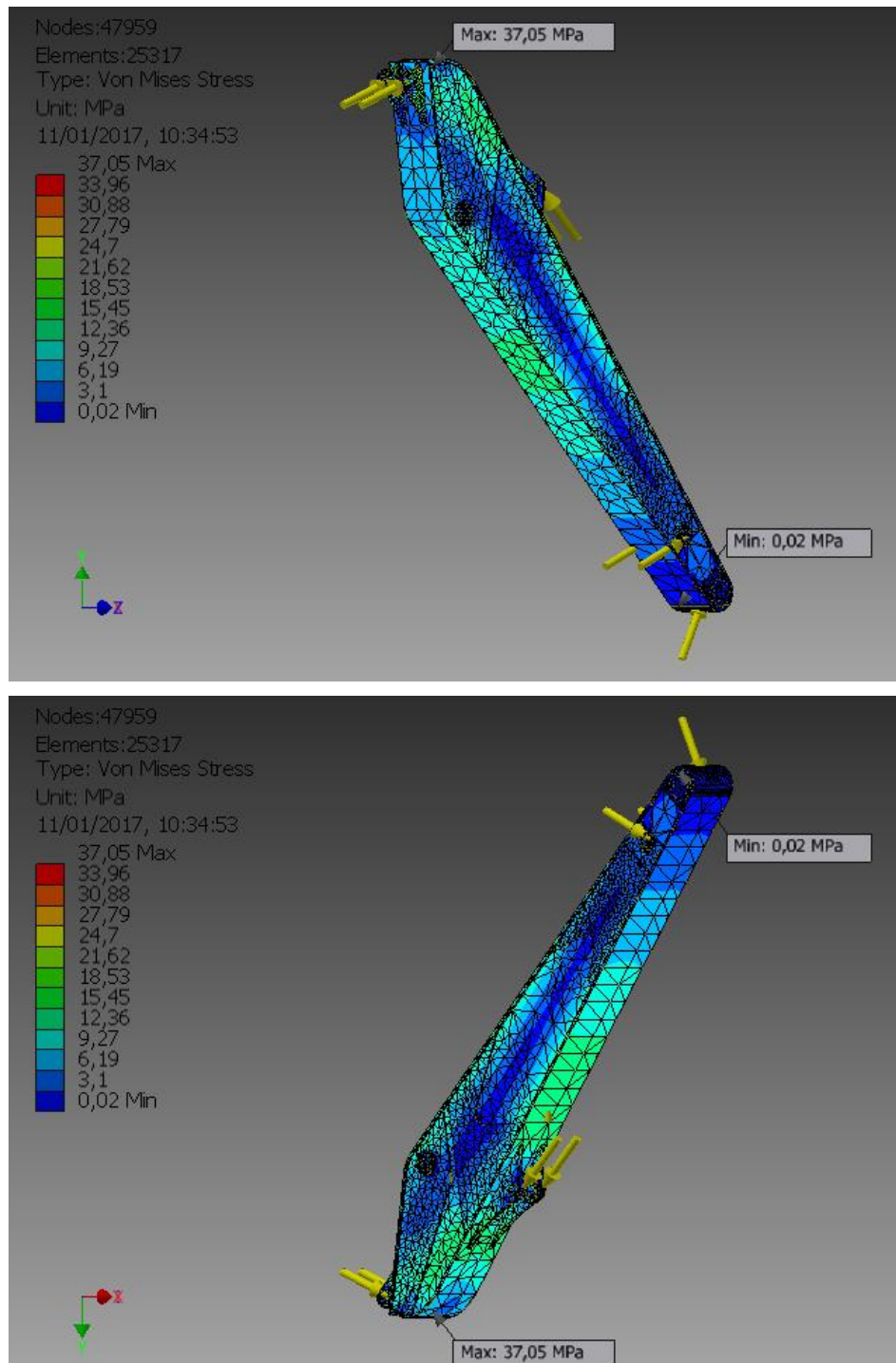
☐ Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
<i>Pin</i> Constraint:2	44448,6 N	13291,9 N	113,209 N m	-64,1679 N m
		-42414,6 N		-93,2665 N m
		0 N		0 N m
<i>Pin</i> Constraint:1	102954 N	-101632 N	32,665 N m	0 N m
		-16443 N		32,665 N m
		0 N		0 N m

☐ Result Summary

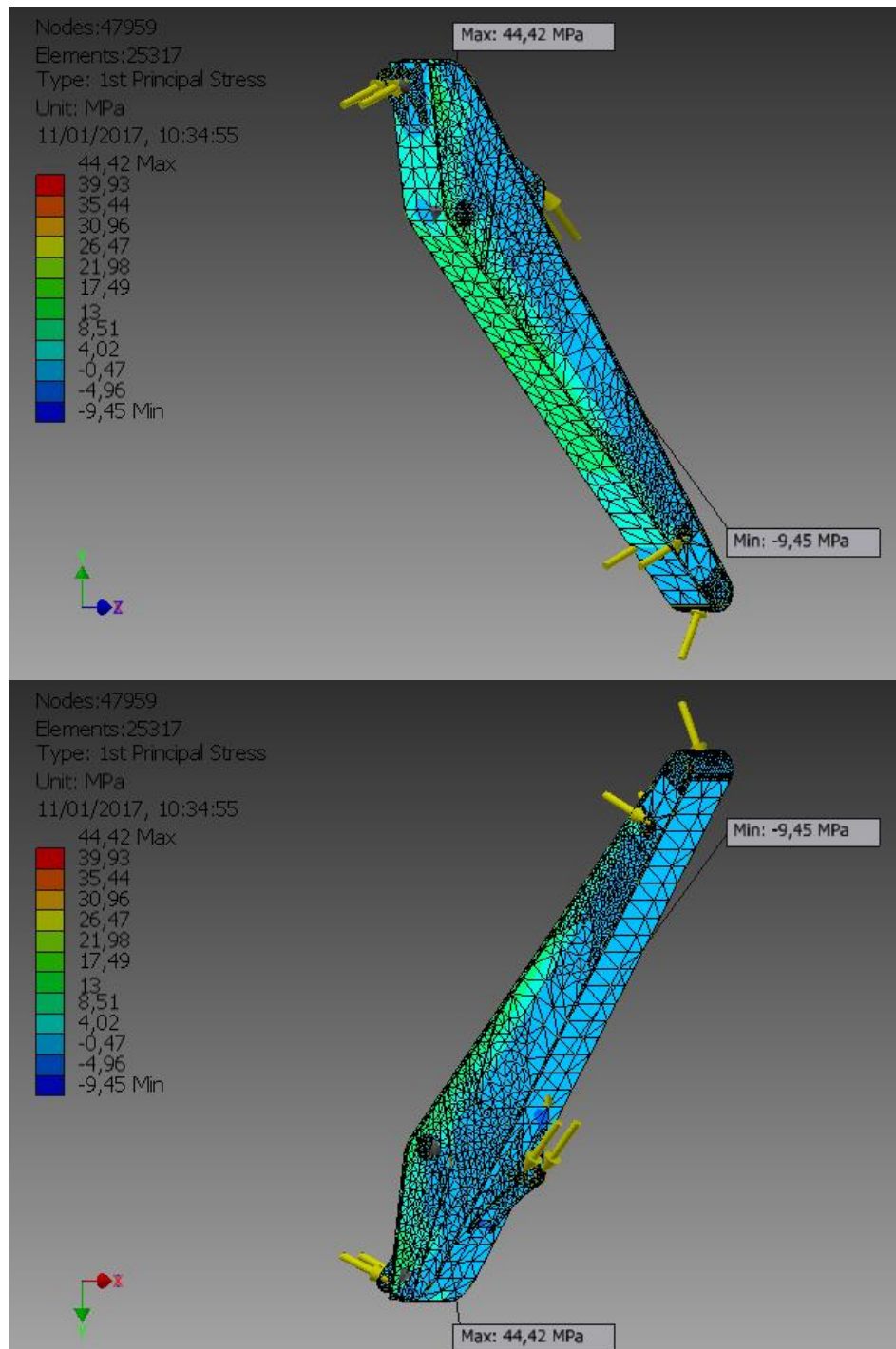
Name	Minimum	Maximum
Volume	103997000 mm ³	
Mass	816,373 kg	
Von Mises Stress	0,0155988 MPa	37,0484 MPa
1st Principal Stress	-9,44683 MPa	44,4227 MPa
3rd Principal Stress	-39,3153 MPa	11,3364 MPa
Displacement	0,0000295605 mm	1,42483 mm
Safety Factor	7,01027	15
Stress XX	-36,4668 MPa	35,6884 MPa
Stress XY	-14,4037 MPa	10,9534 MPa
Stress XZ	-9,84143 MPa	9,67698 MPa
Stress YY	-19,9008 MPa	27,9161 MPa
Stress YZ	-16,0542 MPa	7,96627 MPa
Stress ZZ	-11,8419 MPa	12,7259 MPa
X Displacement	-0,0425301 mm	1,0963 mm
Y Displacement	-0,0150937 mm	0,957838 mm
Z Displacement	-0,0183135 mm	0,018147 mm
Equivalent Strain	0,0000000646765	0,000159099
1st Principal Strain	-0,00000026993	0,000180156
3rd Principal Strain	-0,000163176	0,000000374982
Strain XX	-0,000142455	0,000126724
Strain XY	-0,0000891658	0,0000704849
Strain XZ	-0,0000633296	0,0000599051
Strain YY	-0,0000899286	0,000102538
Strain YZ	-0,000103309	0,000049315
Strain ZZ	-0,0000411037	0,0000483997
Contact Pressure	0 MPa	53,5883 MPa
Contact Pressure X	-52,1991 MPa	36,9184 MPa
Contact Pressure Y	-26,8223 MPa	29,585 MPa
Contact Pressure Z	-14,0688 MPa	15,0747 MPa

☐ Von Mises Stress



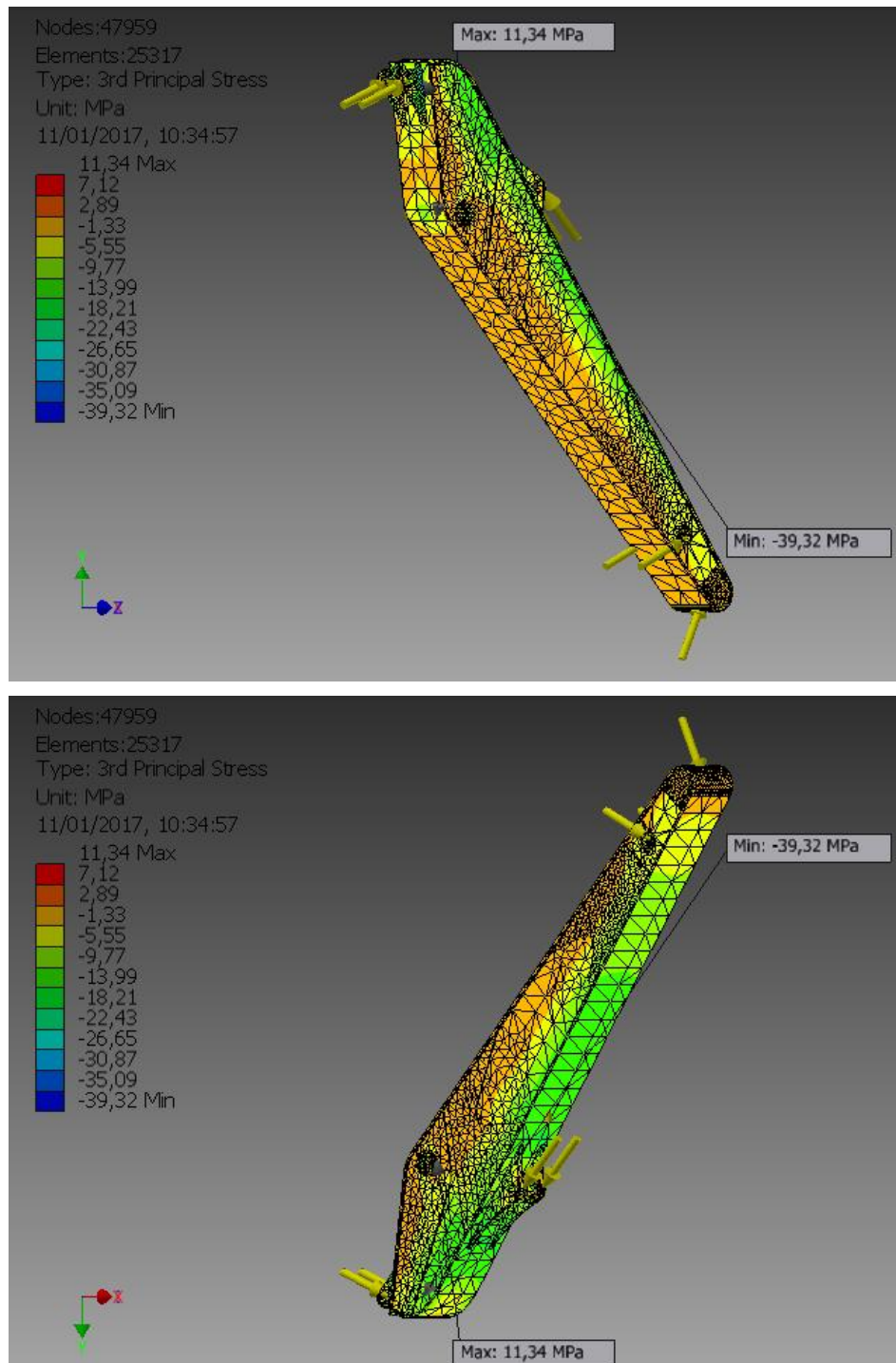
Gambar 20. Report Von Misses Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR

1st Principal Stress



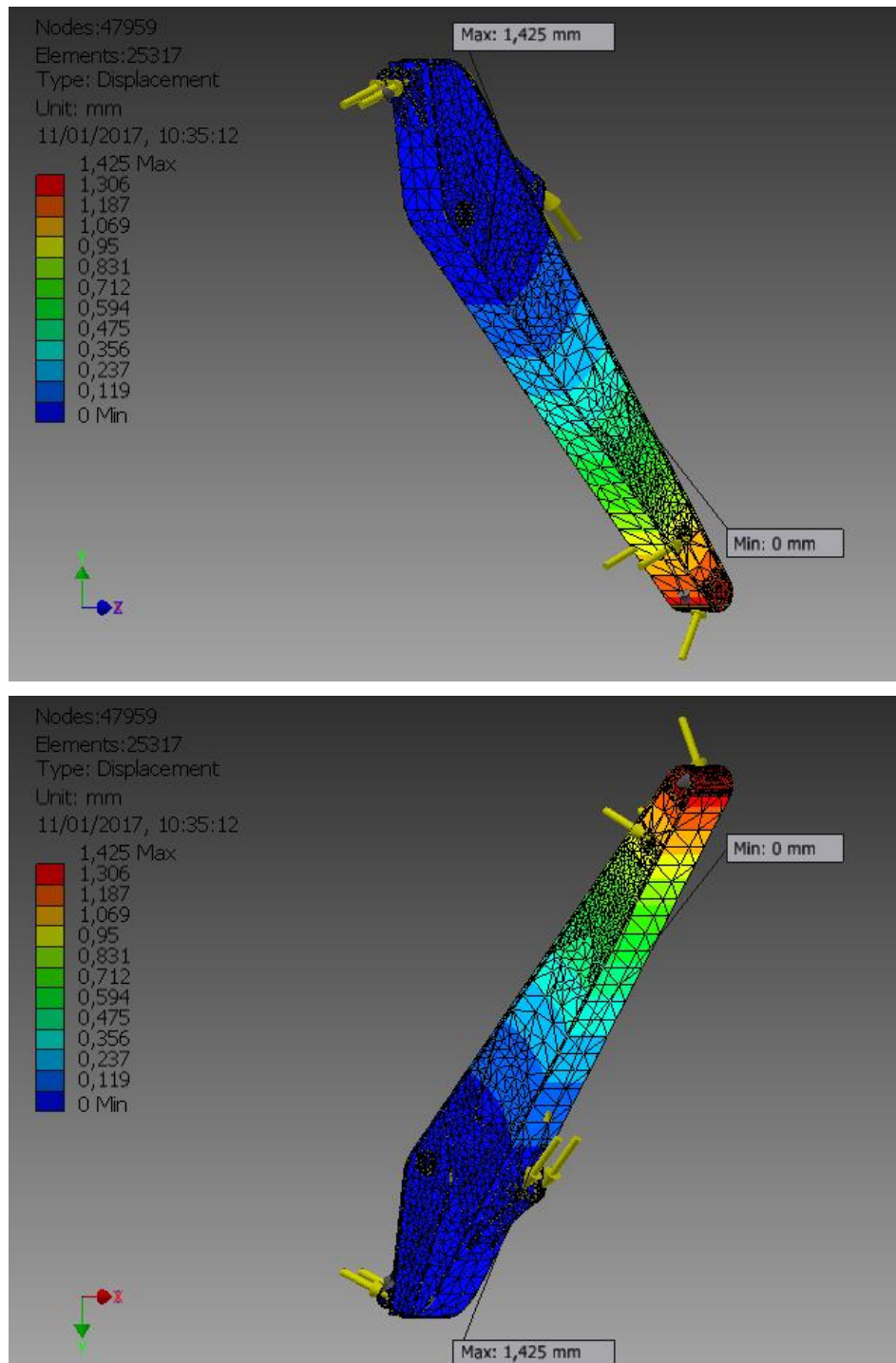
Gambar 21. Report 1st Principal Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR

3rd Principal Stress



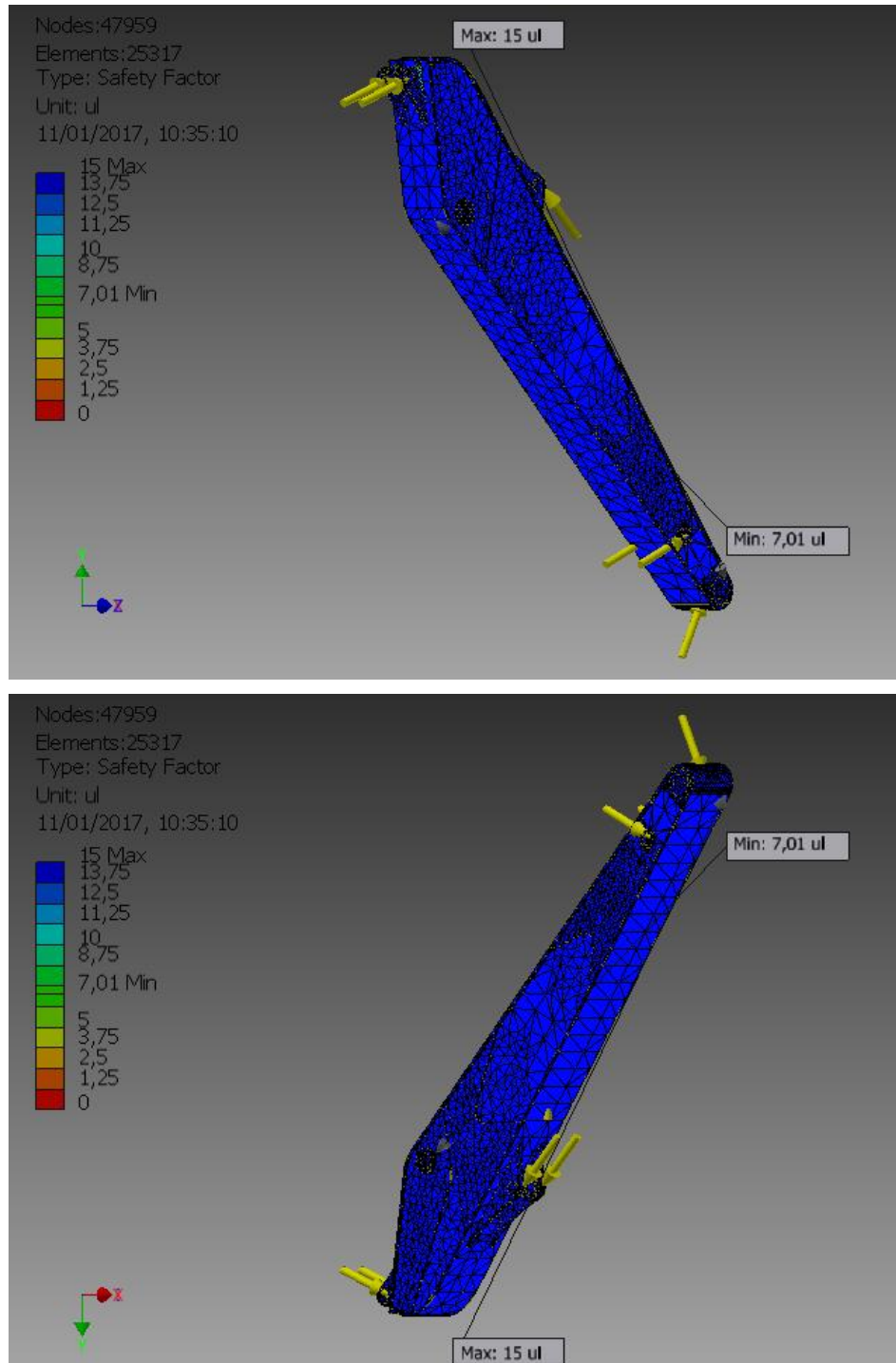
Gambar 22. Report 3rd Principal Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR

☐ Displacement



Gambar 23. Report Displacement Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR

☐ Safety Factor



Gambar 24. Report Safety Factor Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. PQR

Lampiran 3. Stress Analysis Report Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ



Analyzed File:	<i>Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ.iam</i>
Autodesk Inventor Version:	2015 (Build 190159000, 159)
Creation Date:	11/01/2017, 10:38
Simulation Author:	Ilyas Ade Chandra
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author	Ilyas Ade Chandra
--------	-------------------

Project

Part Number	<i>Arm Excavator Jepang</i>
Designer	Live
Cost	Rp0
Date Created	11/01/2017

Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

Physical

Mass	789,587 kg
Area	14294900 mm ²
Volume	100482000 mm ³
Center of Gravity	x=830,572 mm y=-671,933 mm z=0,0404777 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	29/12/2016, 11:26
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ Material(s)

Name	JIS G 5101 (SC49)	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	210 Gpa
	Poisson's Ratio	0,3
	Shear Modulus	80,7692 Gpa
Part Name(s)	Part 1 (Depan) Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 1) Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 2)	

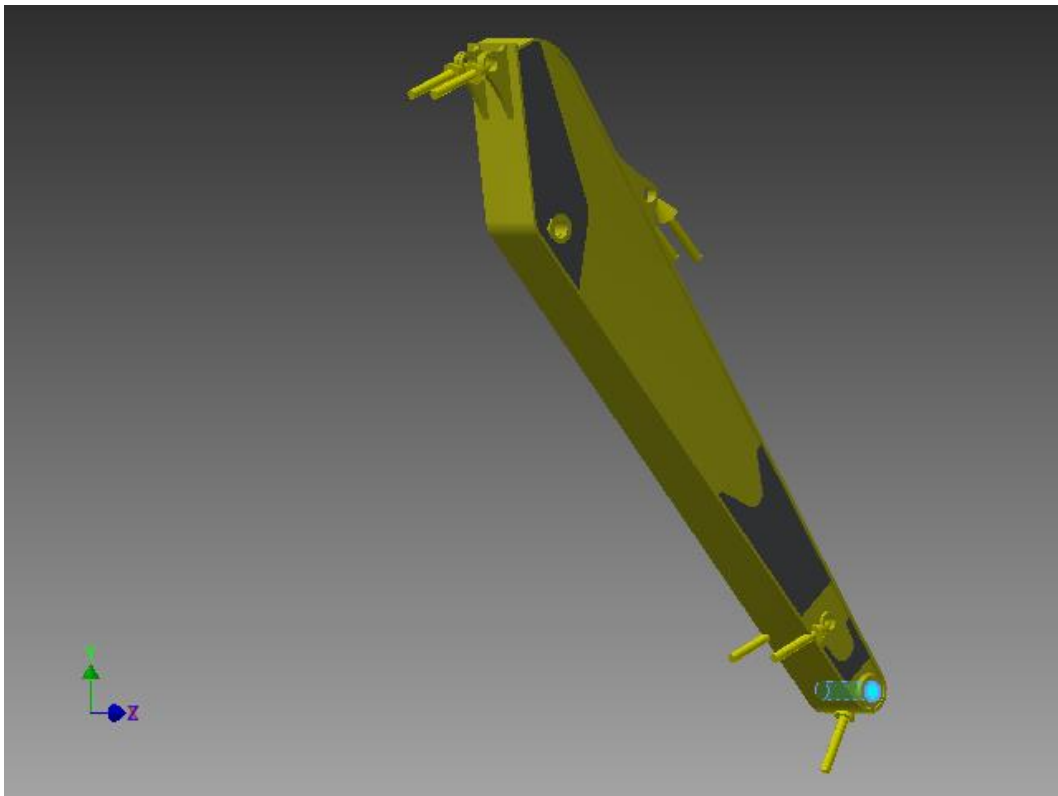
	Boshing Belakang 1 Boshing Belakang 1 Boshing Belakang 2 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 2) Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 1) Boshing Depan 2	
Name	JIS SM 50 YA	
General	Mass Density	7,86109 g/cm ³
	Yield Strength	363 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	200 Gpa
	Poisson's Ratio	0,287
	Shear Modulus	77,7001 Gpa
Part Name(s)	Part 2 (Body)	
Name	JIS SM 50 YA	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	363 MPa
	Ultimate Tensile Strength	490 MPa
Stress	Young's Modulus	200 Gpa
	Poisson's Ratio	0,287
	Shear Modulus	77,7001 GPa
Part Name(s)	Stiffner Versi 2	
Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 Gpa
	Poisson's Ratio	0,275
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Part Name(s)	Reinforce 2 Reinforce 2 Reinforce 1 Reinforce 1 Reinforce belakang kanan Reinforce belakang kanan	

☐ **Operating conditions**

☐ **Force:1**

Load Type	Force
Magnitude	14648.000 N
Vector X	6602.172 N
Vector Y	13075.750 N
Vector Z	0.000 N

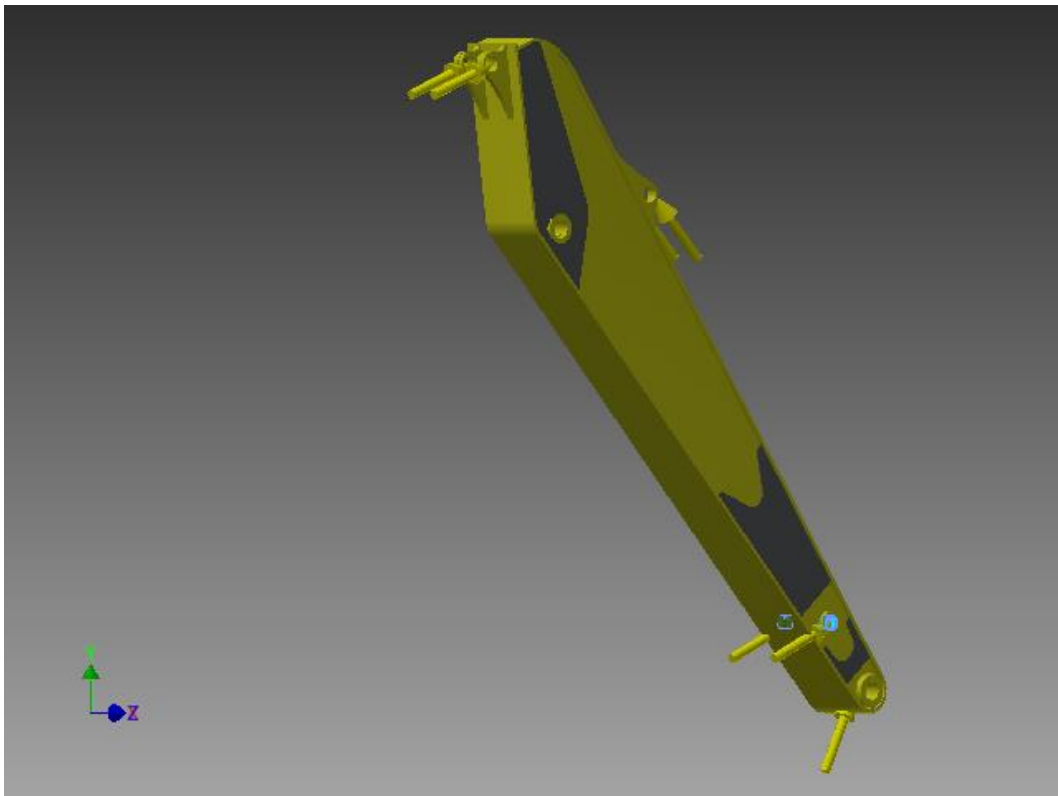
☐ **Selected Face(s)**



Gambar 25. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. XYZ* di *Pin 1*

Force:2

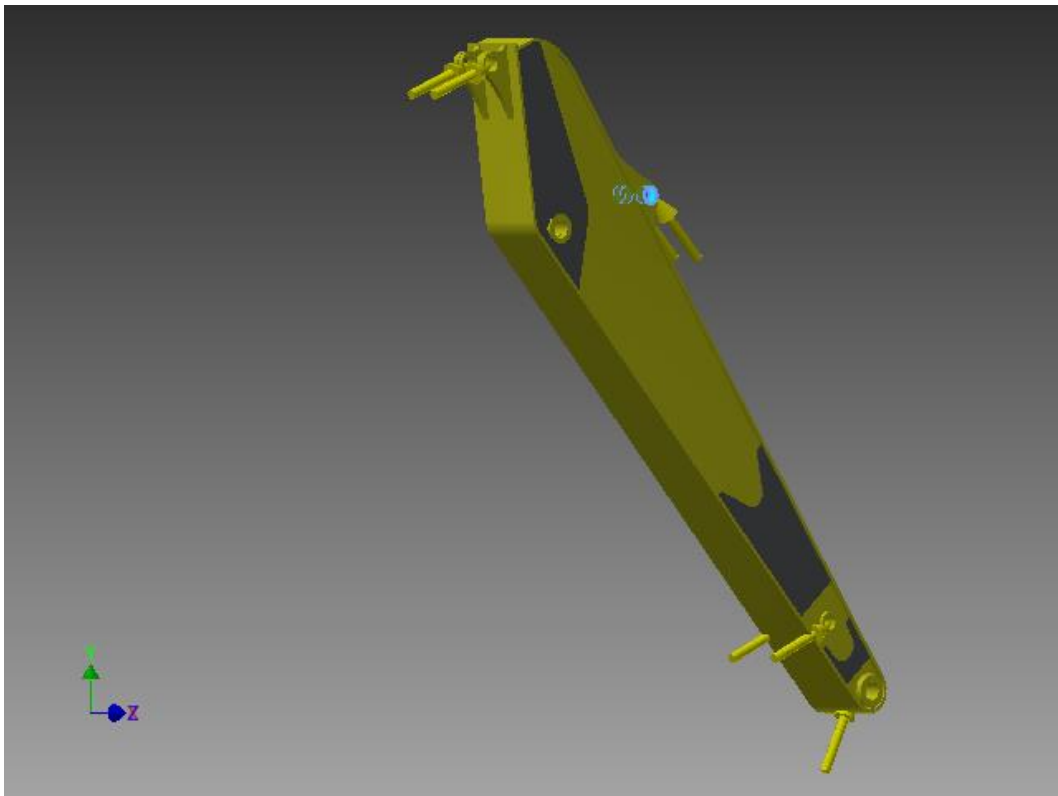
Load Type	Force
Magnitude	11107.000 N
Vector X	10160.892 N
Vector Y	4485.725 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 26. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. XYZ* di *Pin 2*

Force:3

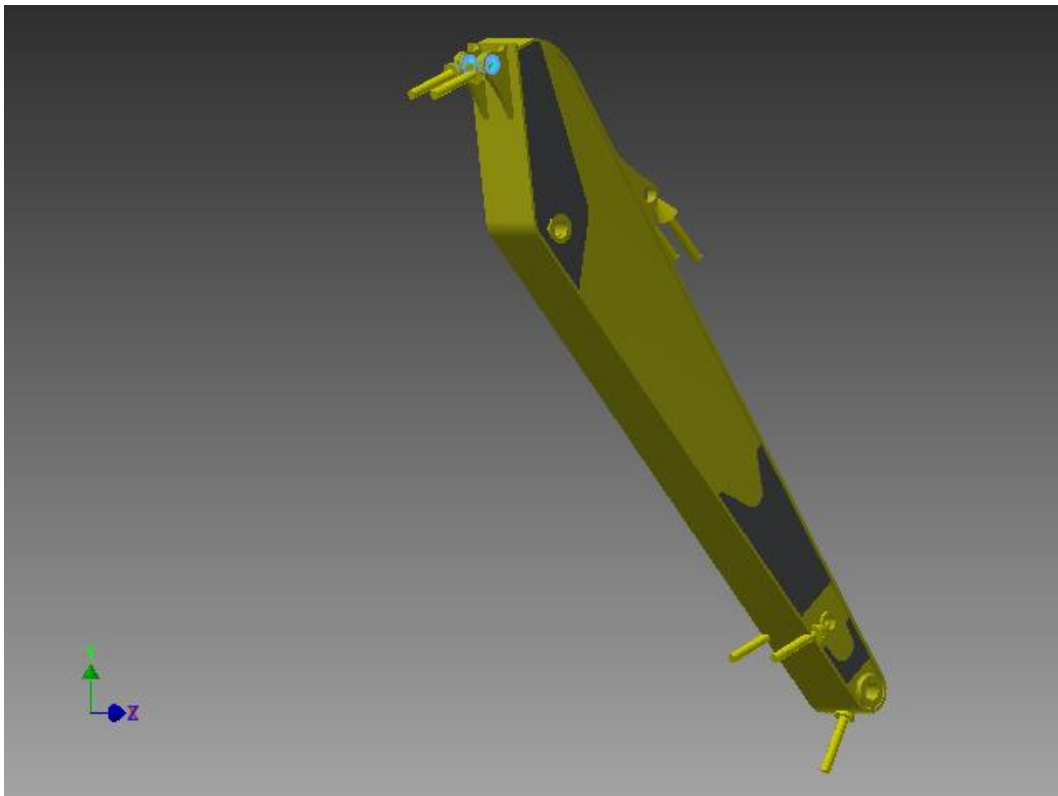
Load Type	Force
Magnitude	23770.000 N
Vector X	-16793.254 N
Vector Y	16822.590 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 27. Pemberian Gaya pada Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ di Pin 3

Force:4

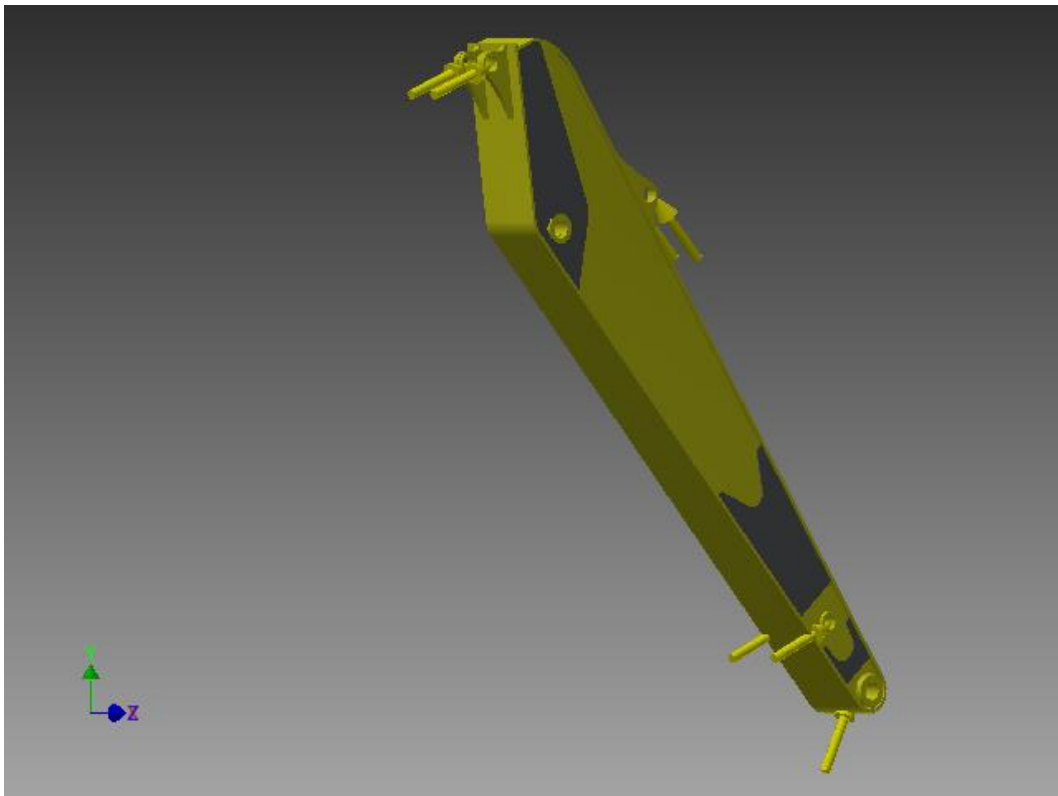
Load Type	Force
Magnitude	94164.667 N
Vector X	88367.207 N
Vector Y	32530.314 N
Vector Z	0.000 N

Selected Face(s)

Gambar 28. Pemberian Gaya pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. XYZ* di *Pin 4*

☐ Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

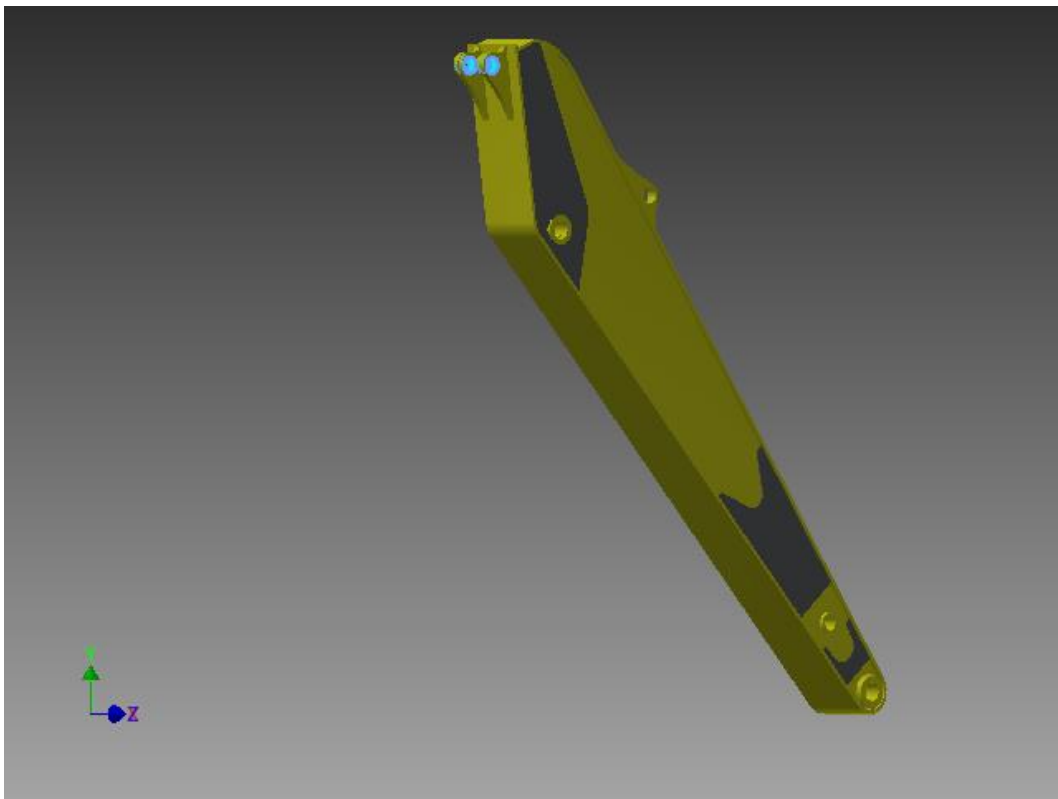
☐ Selected Face(s)

Gambar 29. Pemberian Gaya Gravitasi pada Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ

☐ **Pin Constraint:2**

Constraint Type	Pin Constraint
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

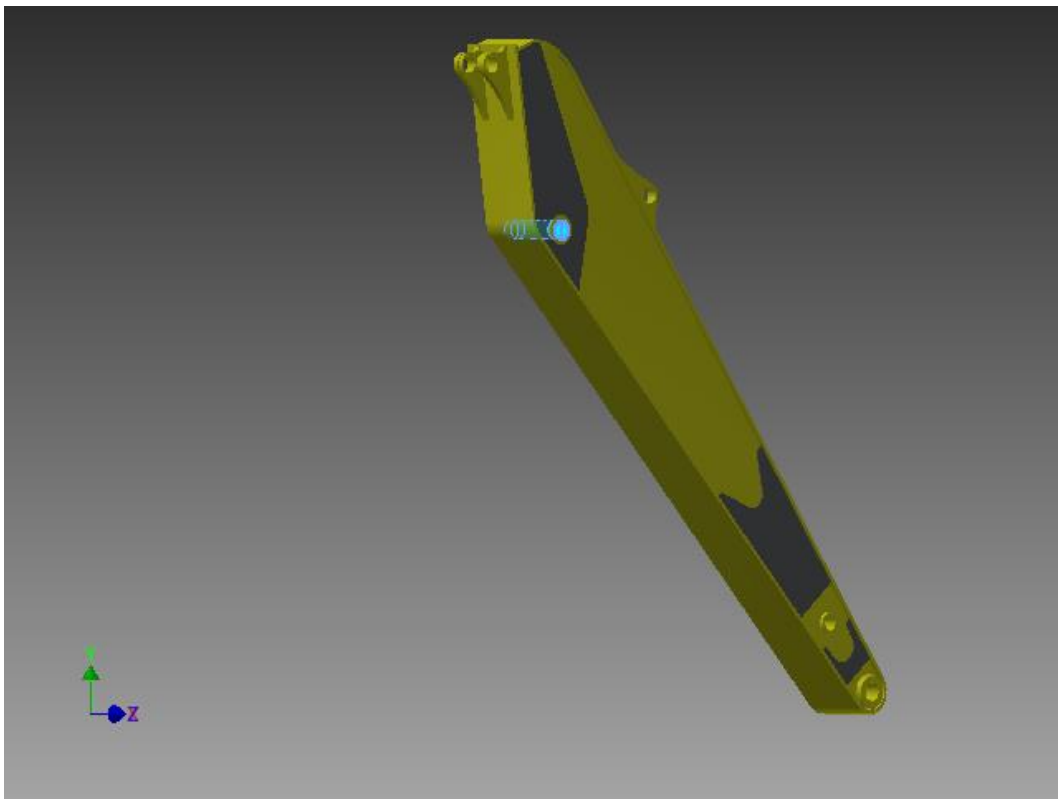
☐ **Selected Face(s)**



Gambar 30. Pemberian *Constraint* (Tumpuan) pada *Arm Excavator* Kelas 20 Ton Versi *Engineer PT. XYZ* di Bagian Dudukan *Hydraulic Arm*

☐ Pin Constraint:1

Constraint Type	<i>Pin Constraint</i>
Fix Radial Direction	Yes
Fix Axial Direction	Yes
Fix Tangential Direction	No

☐ Selected Face(s)

Gambar 31. Pemberian *Constraint* (Tumpuan) pada *Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ* di Bagian *Boshing Center Arm*

☐ **Contacts (Bonded)**

Name	Part Name(s)
Bonded:1	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:2	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:3	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:4	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:5	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:6	Part 1 (Depan):1 Part 2 (Body):1
Bonded:7	Part 2 (Body):1 Boshing Belakang 1:1
Bonded:8	Part 2 (Body):1 Boshing Belakang 1:2
Bonded:9	Part 2 (Body):1 Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 1):1
Bonded:10	Part 2 (Body):1 Part 4 (Dudukan Arm Cylinder 2):1
Bonded:11	Part 2 (Body):1 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 2):1
Bonded:12	Part 2 (Body):1 Part 3 (Dudukan Bucket Cylinder 1):1
Bonded:13	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:14	Part 2 (Body):1 Boshing Depan 2:1
Bonded:15	Part 2 (Body):1 Boshing Depan 2:1
Bonded:16	Part 2 (Body):1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:17	Part 2 (Body):1

	Stiffner Versi 2:1
Bonded:18	Boshing Belakang 1:1 Boshing Belakang 2:1
Bonded:19	Boshing Belakang 1:2 Boshing Belakang 2:1
Bonded:20	Boshing Belakang 2:1 Stiffner Versi 2:1
Bonded:21	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:1
Bonded:22	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:1
Bonded:23	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:1
Bonded:24	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:2
Bonded:25	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:2
Bonded:26	Part 2 (Body):1 Reinforce 2:2
Bonded:27	Part 2 (Body):1 Reinforce 1:1
Bonded:28	Part 2 (Body):1 Reinforce 1:1
Bonded:29	Part 2 (Body):1 Reinforce 1:1
Bonded:30	Part 2 (Body):1 Reinforce 1:2
Bonded:31	Part 2 (Body):1 Reinforce 1:2
Bonded:32	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:33	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:34	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:35	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1

Bonded:36	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:37	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:38	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:39	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:40	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:41	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:42	Part 2 (Body):1 Reinforce belakang kanan:2
Bonded:43	Boshing Belakang 1:1 Reinforce belakang kanan:1
Bonded:44	Boshing Belakang 1:2 Reinforce belakang kanan:2

☐ Results

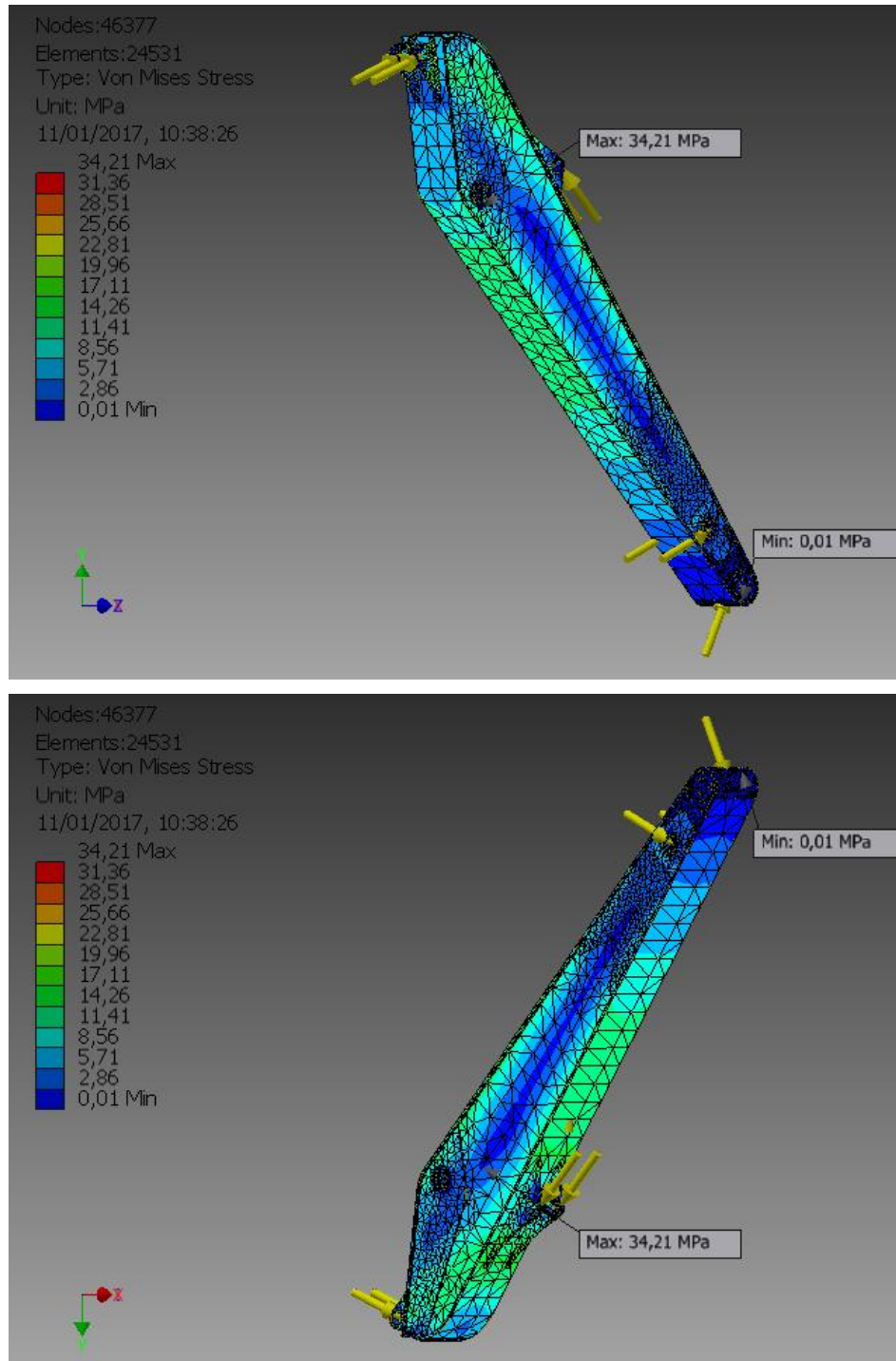
☐ Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
<i>Pin</i> Constraint:2	44015,2 N	13132,2 N	99,7864 N m	-42,2986 N m
		-42010,5 N		-90,3778 N m
		0 N		0 N m
<i>Pin</i> Constraint:1	102912 N	-101473 N	47,8059 N m	-20,0896 N m
		-17149 N		43,3799 N m
		0 N		0 N m

☐ Result Summary

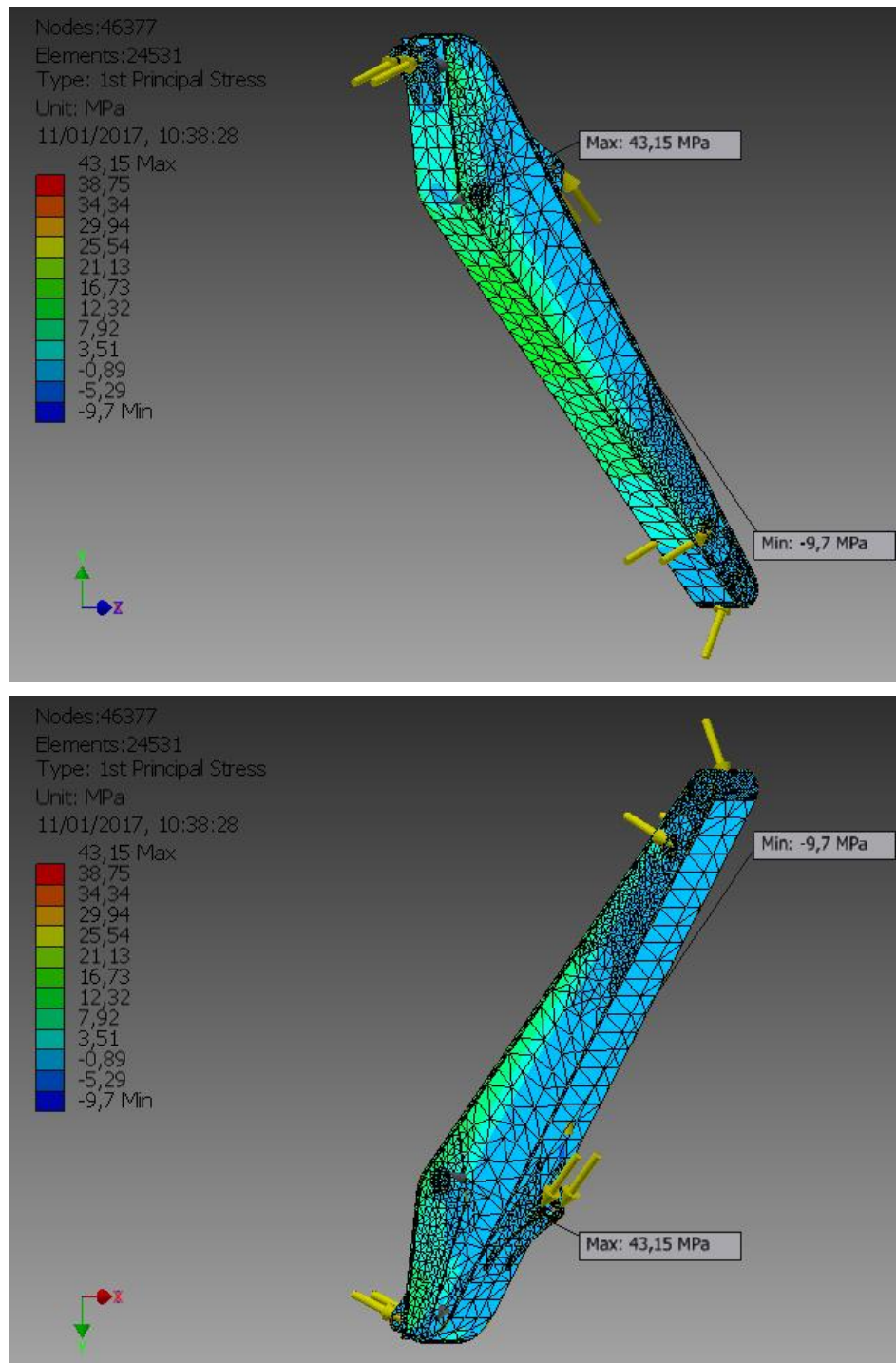
Name	Minimum	Maximum
Volume	100482000 mm ³	
Mass	788,78 kg	
Von Mises Stress	0,0143146 MPa	34,2145 MPa
1st Principal Stress	-9,69917 MPa	43,1532 MPa
3rd Principal Stress	-38,694 MPa	11,5022 MPa
Displacement	0,0000157597 mm	1,4732 mm
Safety Factor	7,30685	15
Stress XX	-36,1931 MPa	32,5836 MPa
Stress XY	-14,6393 MPa	9,88373 MPa
Stress XZ	-12,1011 MPa	9,334 MPa
Stress YY	-22,1509 MPa	28,1973 MPa
Stress YZ	-15,2518 MPa	8,20414 MPa
Stress ZZ	-16,2508 MPa	14,0428 MPa
X Displacement	-0,0433023 mm	1,13407 mm
Y Displacement	-0,015121 mm	0,989336 mm
Z Displacement	-0,0185432 mm	0,0172895 mm
Equivalent Strain	0,0000000590876	0,000150505
1st Principal Strain	-0,000000199051	0,000176693
3rd Principal Strain	-0,000164621	0,000000295417
Strain XX	-0,000140041	0,000120636
Strain XY	-0,0000906243	0,000061185
Strain XZ	-0,0000749119	0,0000577819
Strain YY	-0,000100826	0,000102165
Strain YZ	-0,0000981451	0,0000507875
Strain ZZ	-0,000041593	0,0000505831
Contact Pressure	0 MPa	73,7209 MPa
Contact Pressure X	-51,5535 MPa	36,7745 MPa
Contact Pressure Y	-45,7324 MPa	67,4032 MPa
Contact Pressure Z	-14,753 MPa	17,8839 MPa

☐ Von Mises Stress



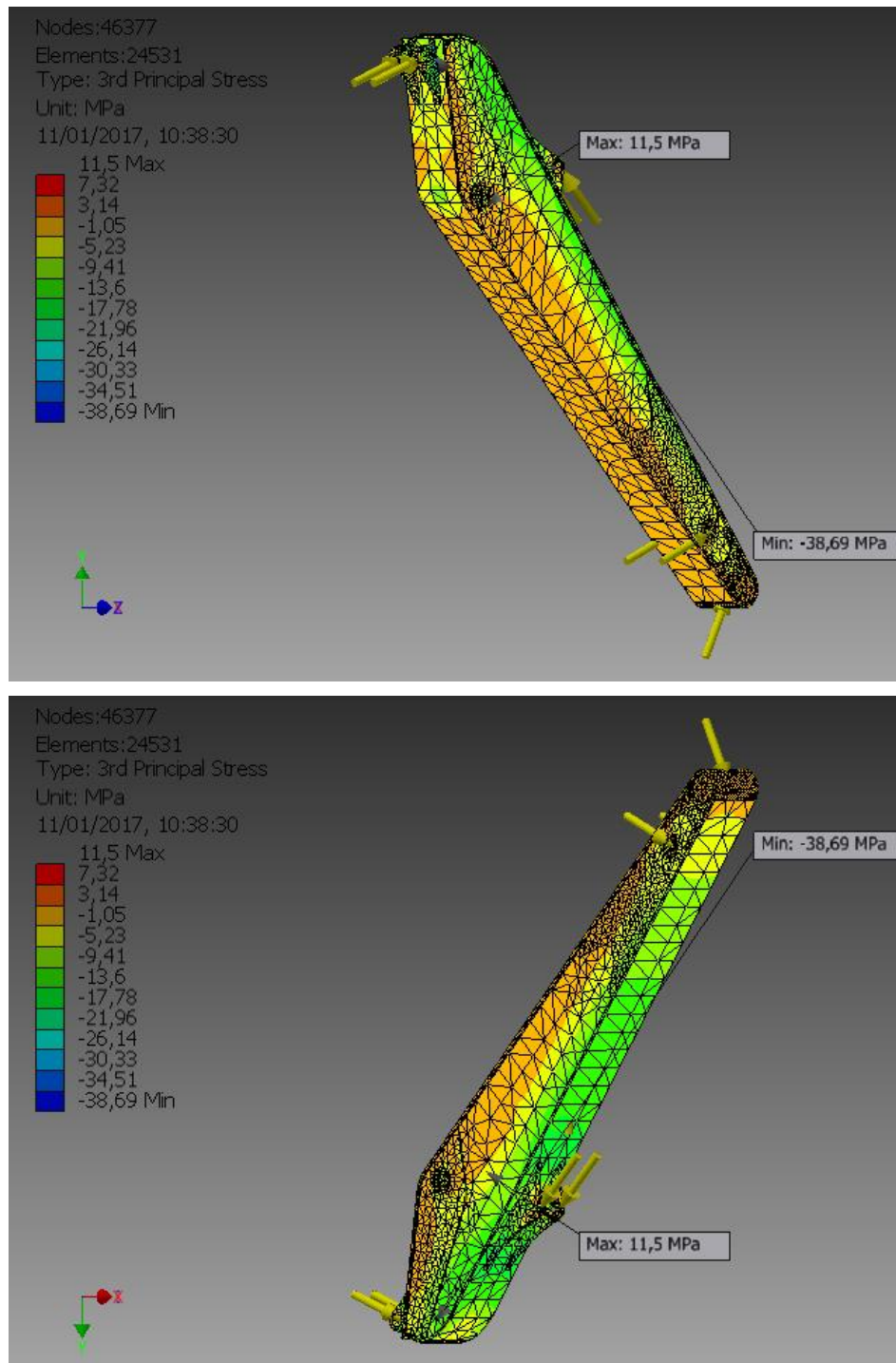
Gambar 32. Report Von Misses Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ

▣ 1st Principal Stress



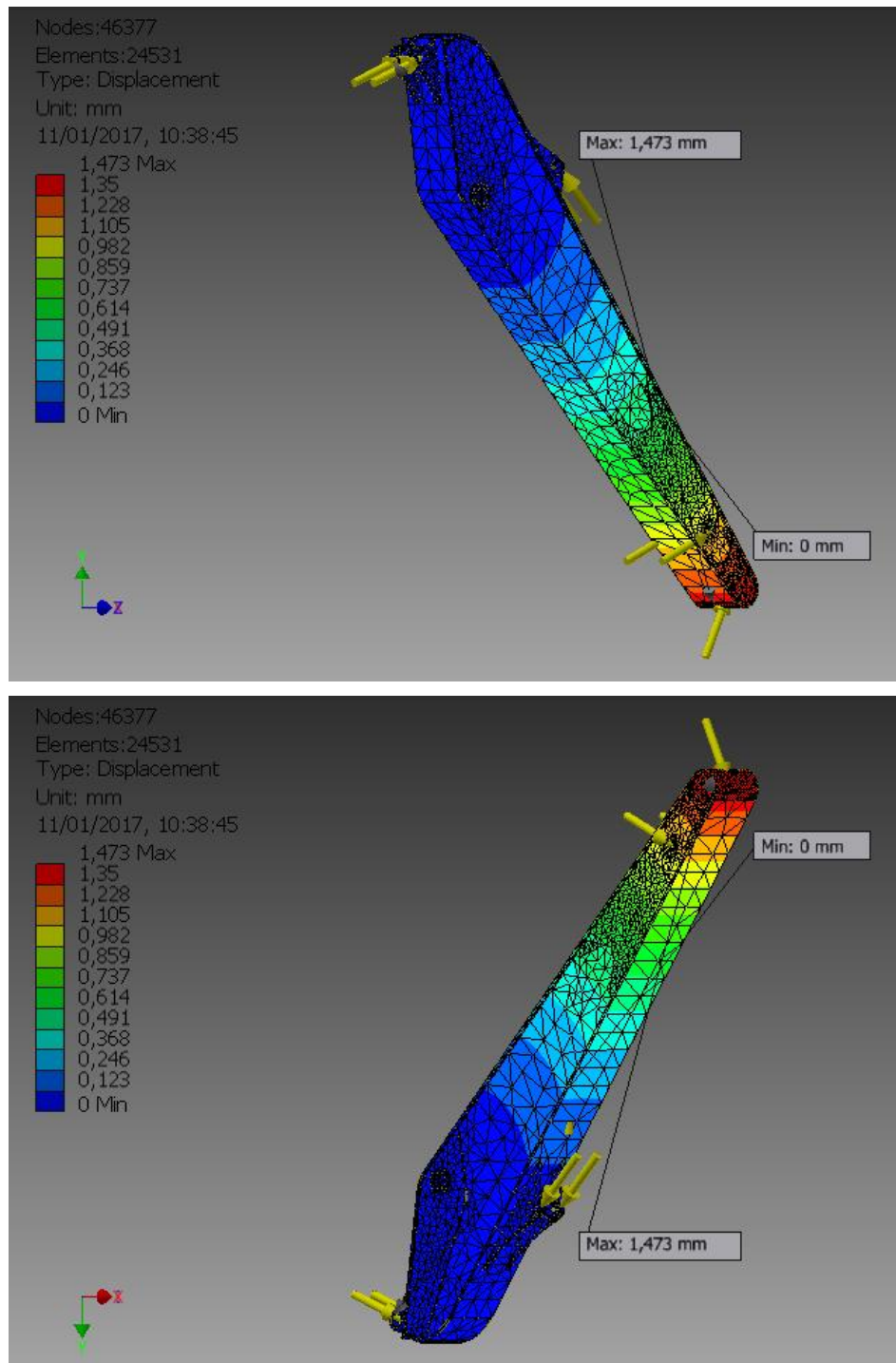
Gambar 33. Report 1st Principal Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ

▣ 3rd Principal Stress



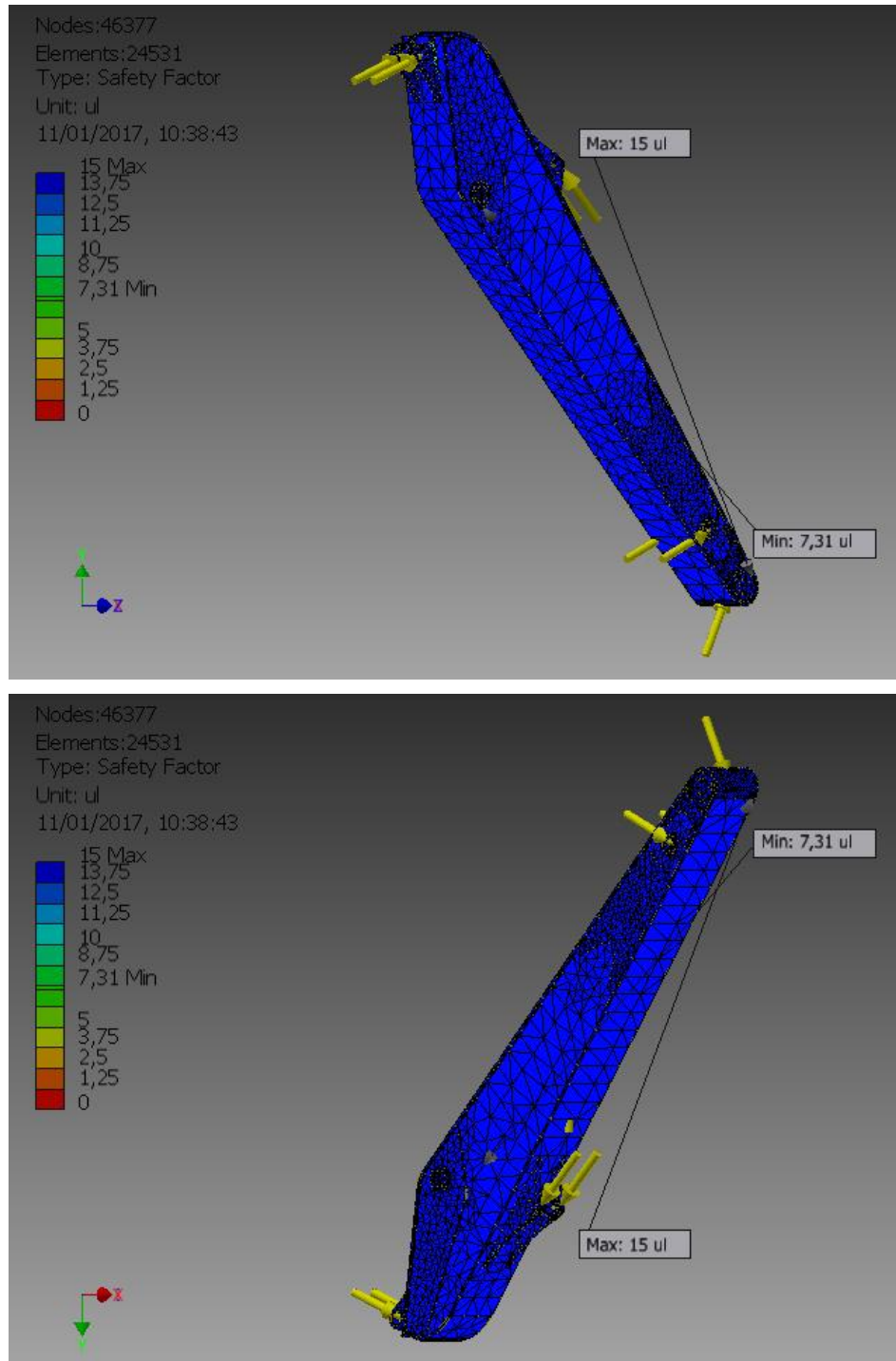
Gambar 34. Report 3rd Principal Stress Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ

☐ Displacement

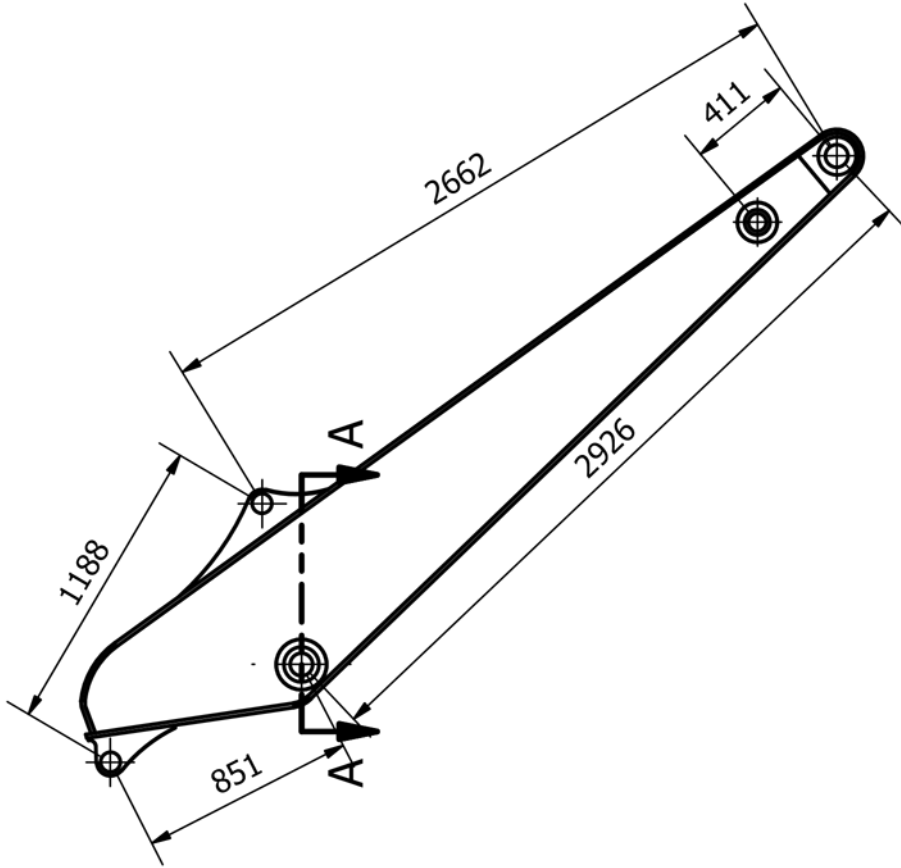
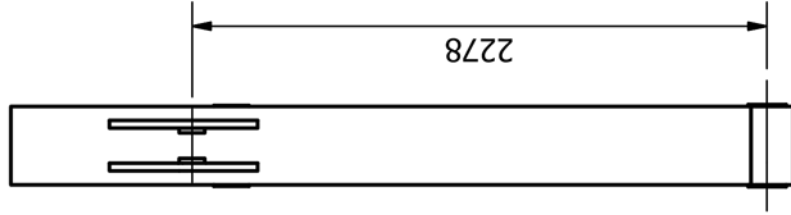
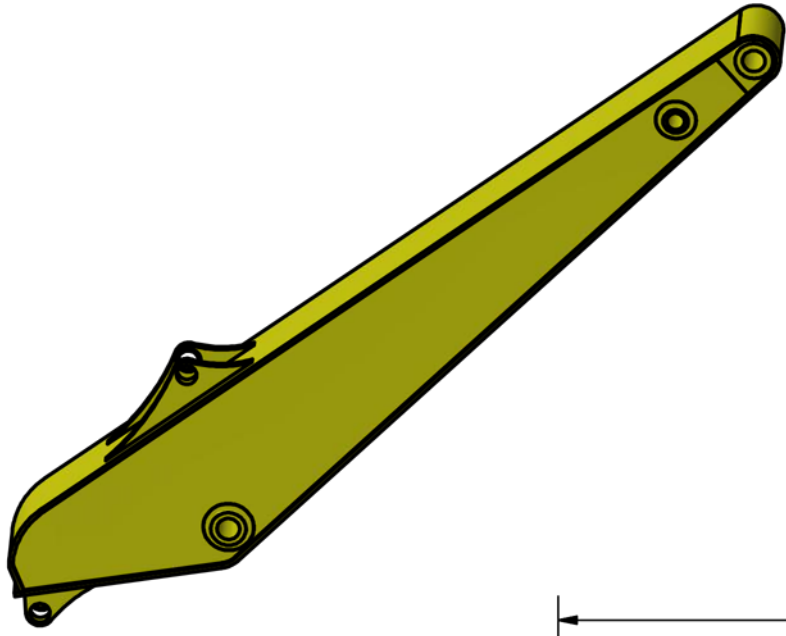


Gambar 35. Report Displacement Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ

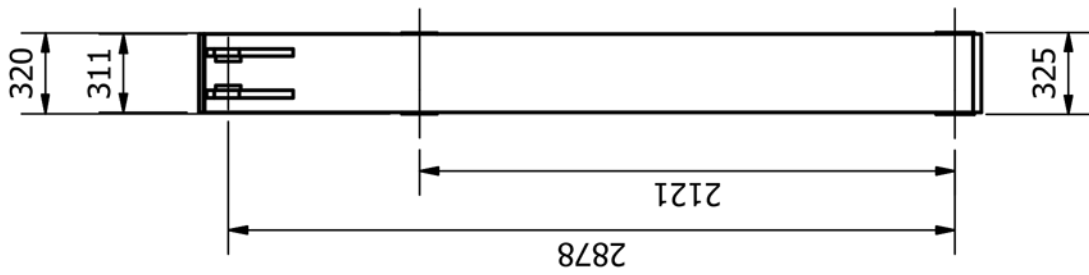
☐ Safety Factor



Gambar 36. Report Safety Factor Arm Excavator Kelas 20 Ton Versi Engineer PT. XYZ



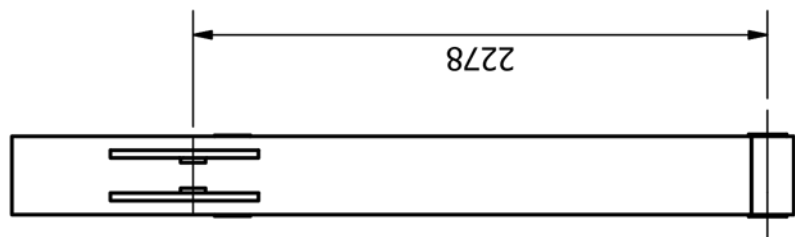
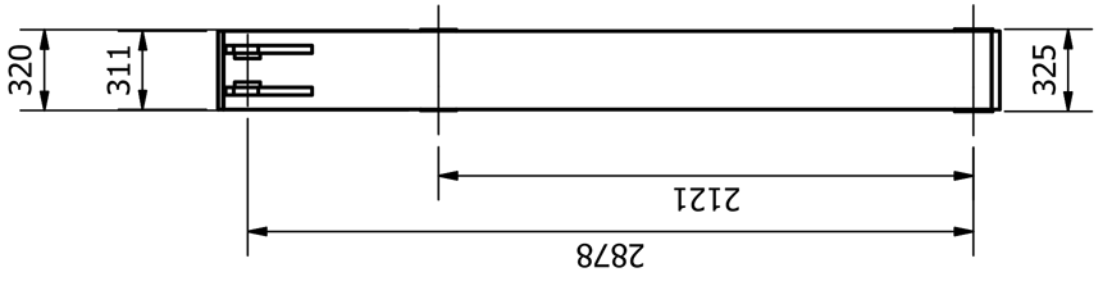
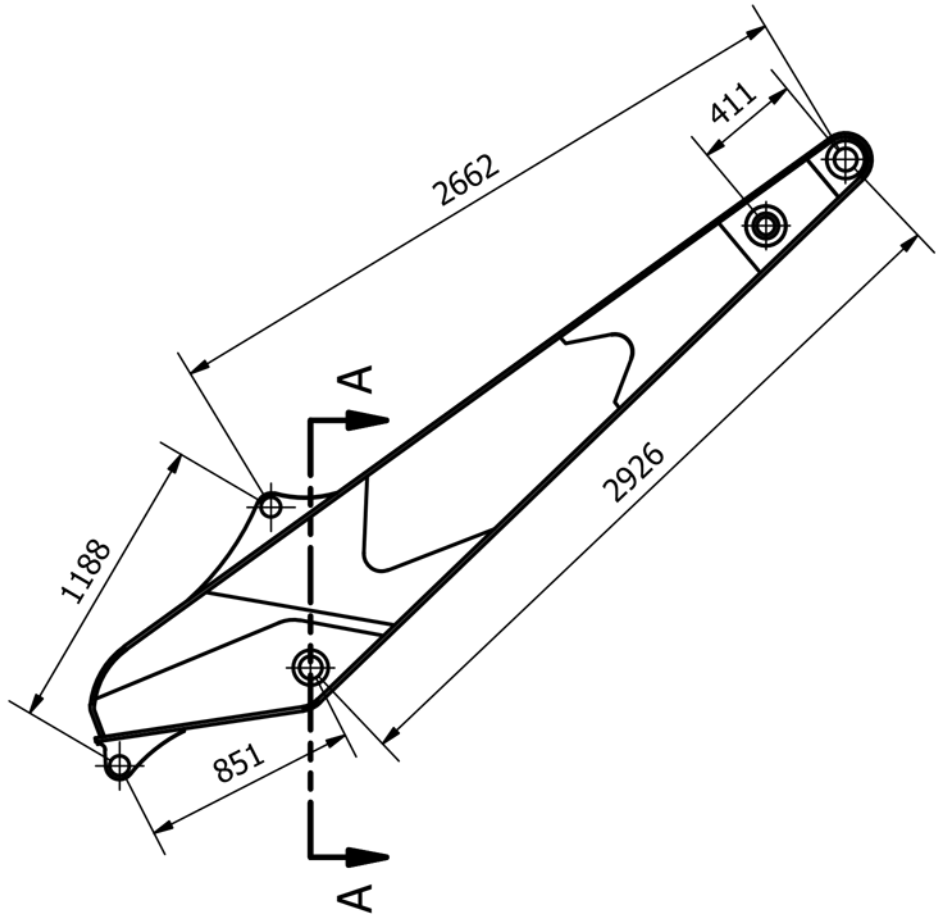
SECTION A-A
SCALE 1:30



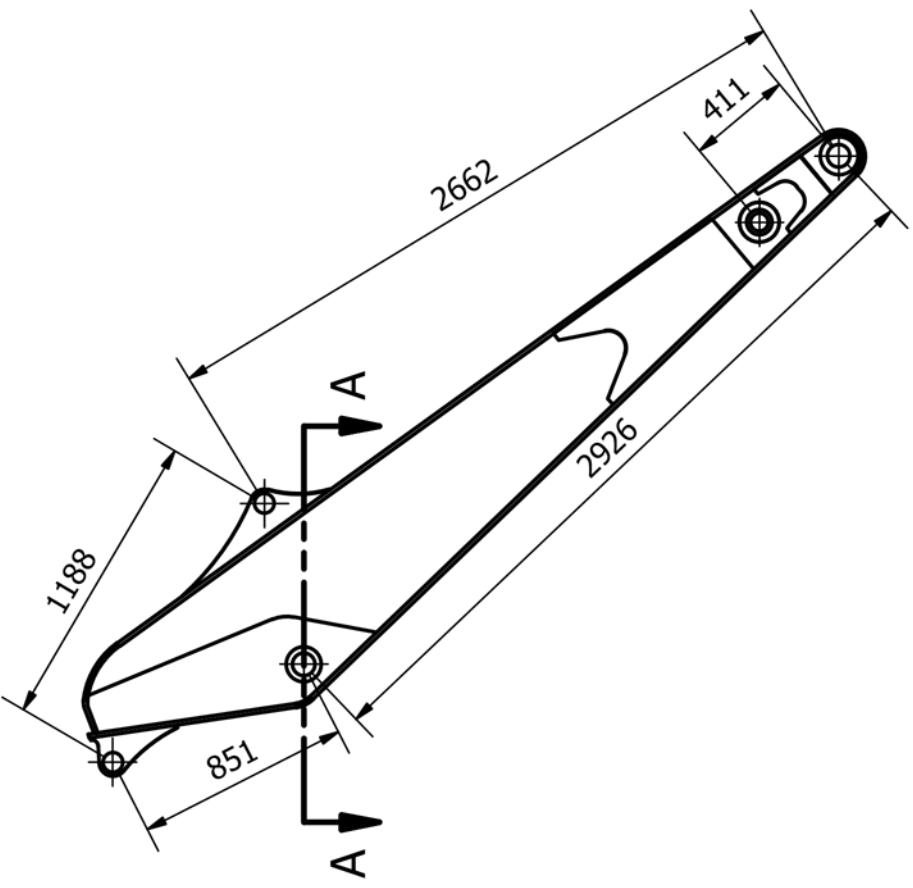
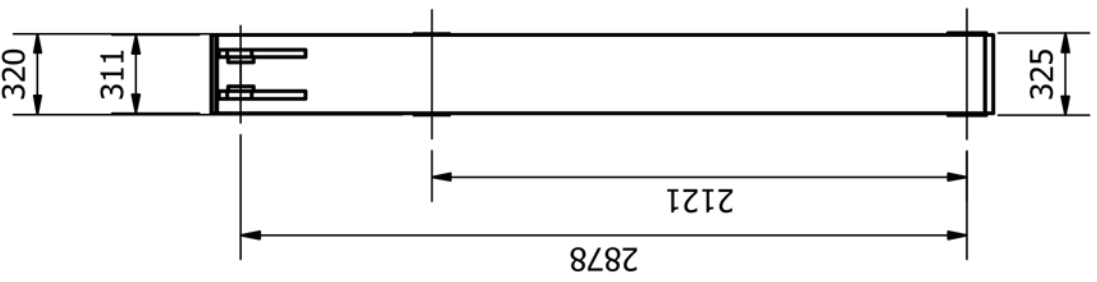
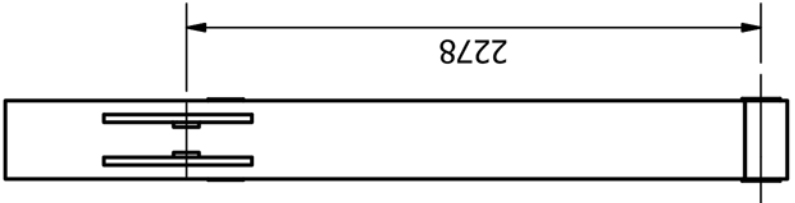
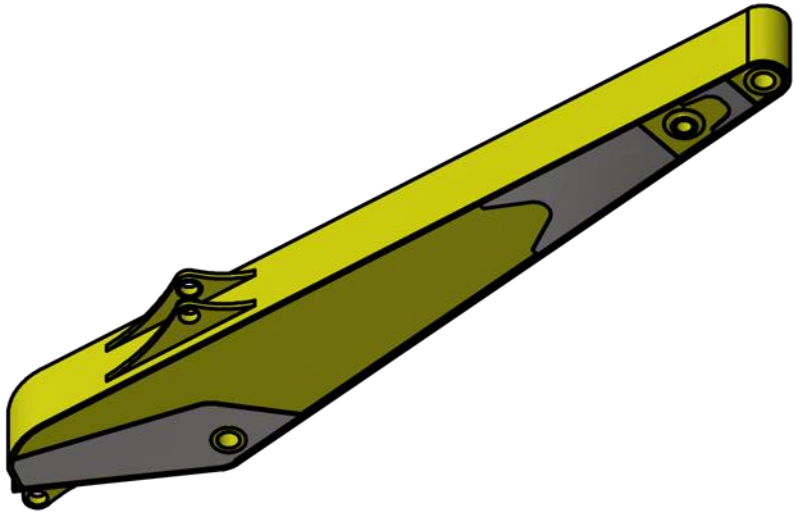
	SKALA : 1:30	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	44
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA	ASSEMBLY ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON UNREINFORCEMENT		SKRIPSI	A4



SECTION A-A
SCALE 1:30

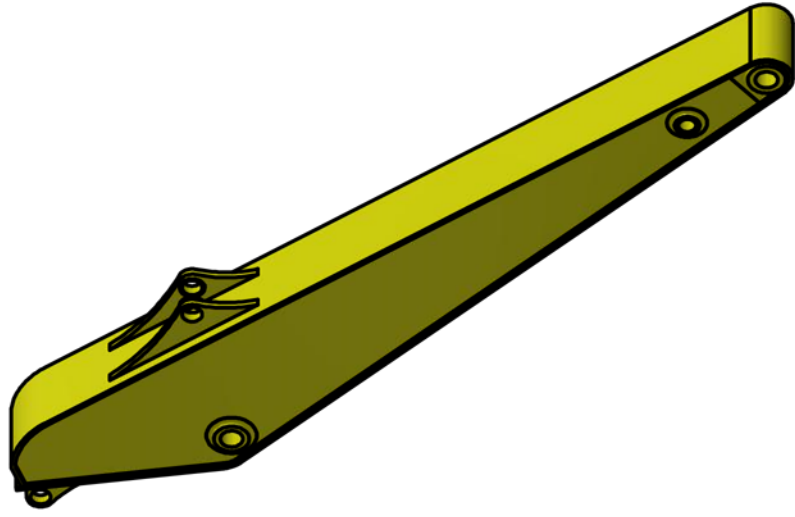
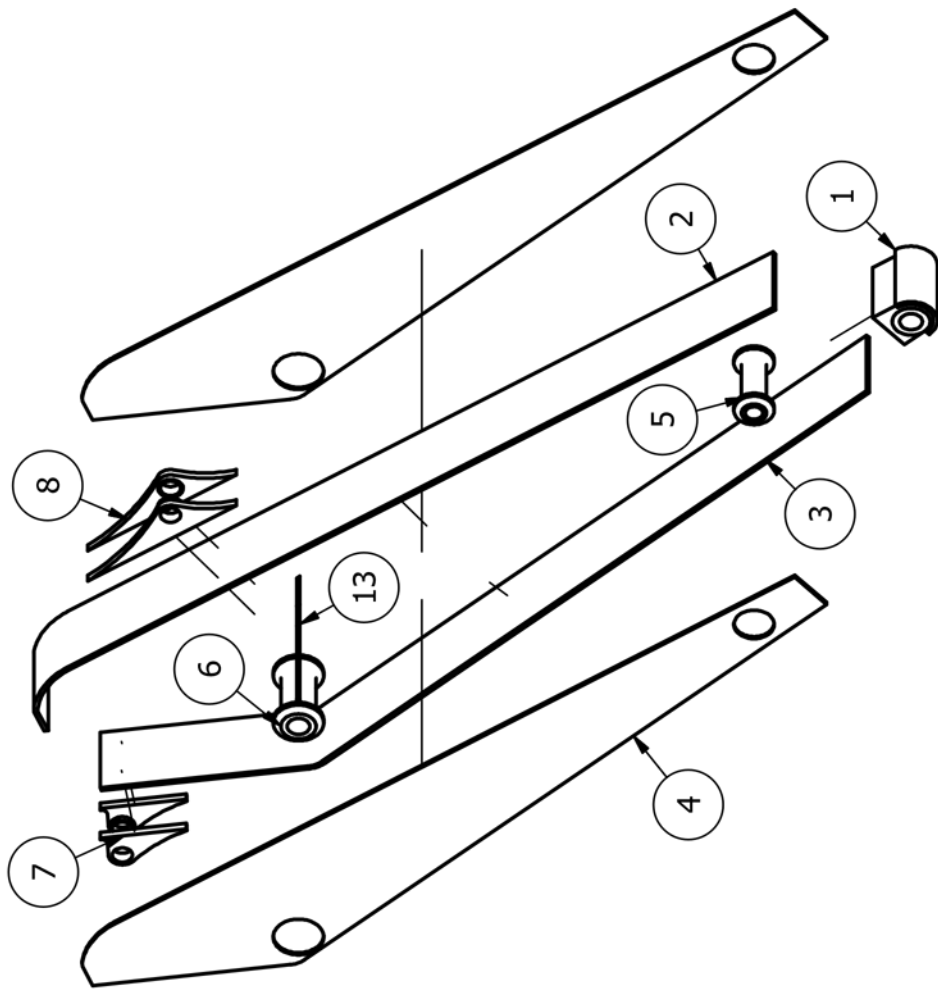


	SKALA : 1:30	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	45
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA	ASSEMBLY ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON VERSI ENGINEER PT.PQR		SKRIPSI	A4

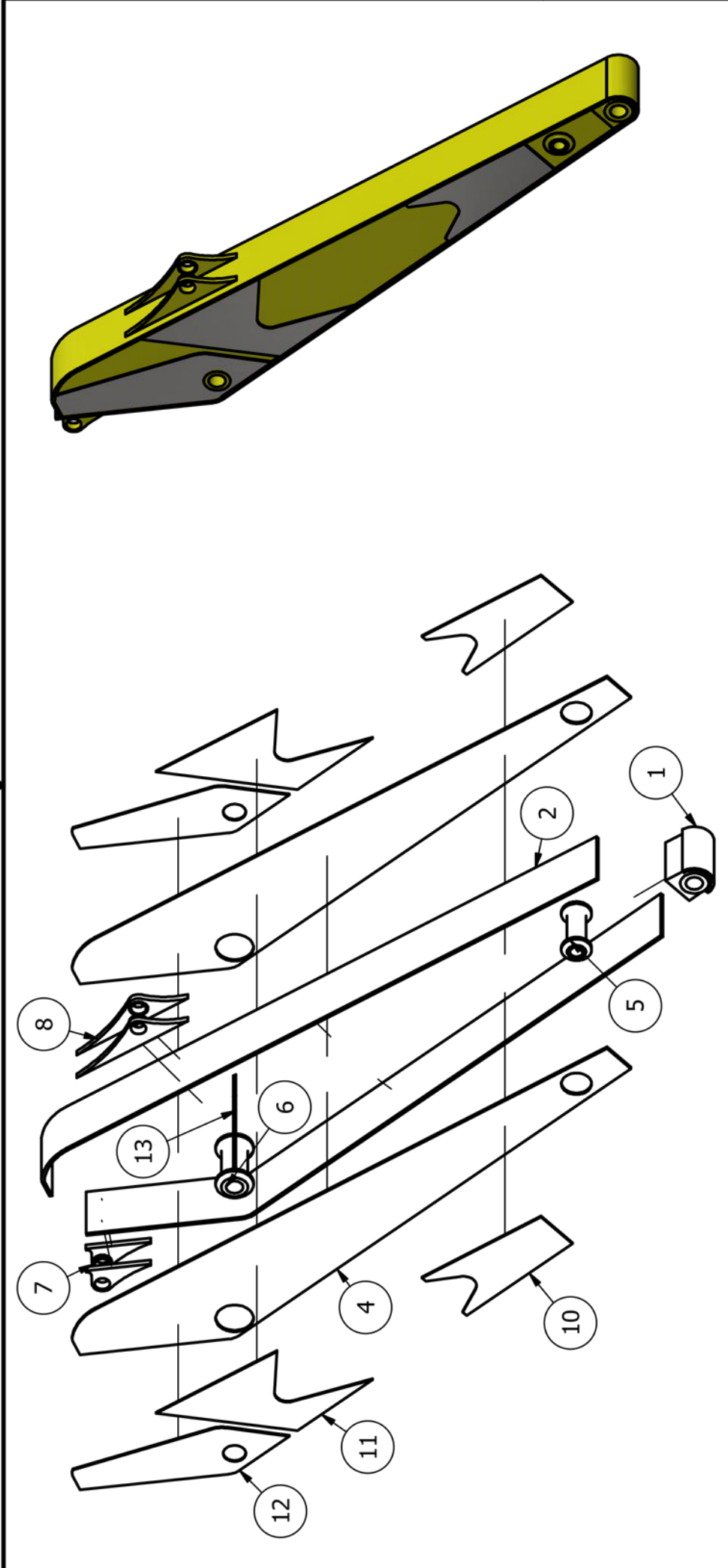


SECTION A-A
SCALE 1:30

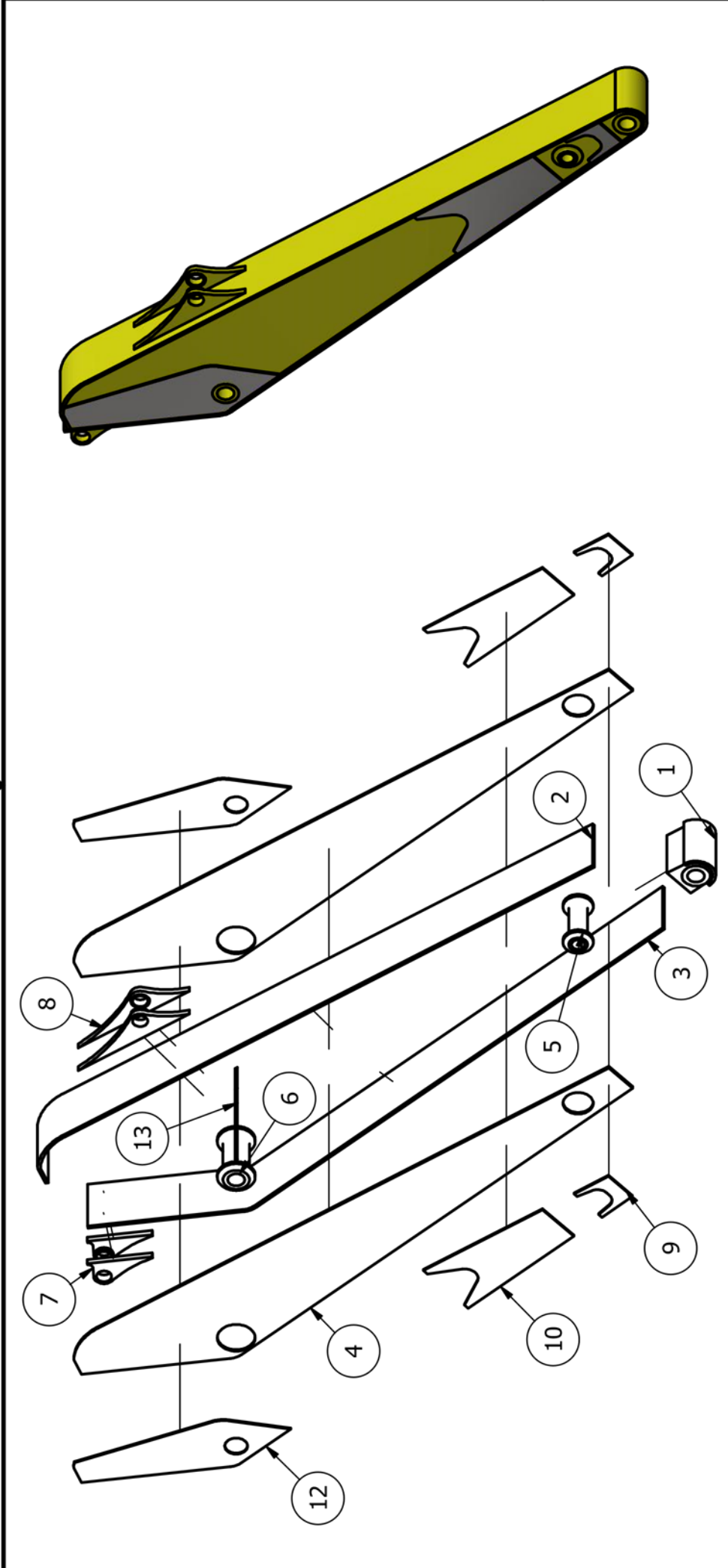
	SKALA : 1:30	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	46
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA	ASSEMBLY ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON VERSI ENGINEER PT.XYZ		SKRIPSI	A4



4	PART 4	2	JIS SM 50 YA	8	PART 13	1	JIS SM 50 YA
3	PART 3	1	JIS SM 50 YA	7	PART 8	1	JIS G 5101
2	PART 2	1	JIS SM 50 YA	6	PART 7	1	JIS G 5101
1	PART 1	1	JIS G 5101	5	PART 6	1	JIS G 5101
NO.	NAMA	JML	BAHAN	NO.	NAMA	JML	BAHAN
SKALA : 1:30		DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA		KETERANGAN		47	
SATUAN : MM		NO.REG : 5315122792					
TANGGAL : 09-01-2017		DISETUIJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.					
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA						ASSEMBLY ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON UNREINFORCE	
						SKRIPSI	
						A4	



6	PART 6	1	JIS G 5101	12	PART 13	1	JIS SM 50 YA
5	PART 5	1	JIS G 5101	11	PART 12	1	MILD STEEL
4	PART 4	2	JIS SM 50 YA	10	PART 11	1	MILD STEEL
3	PART 3	1	JIS SM 50 YA	9	PART 10	1	MILD STEEL
2	PART 2	1	JIS SM 50 YA	8	PART 8	1	JIS G 5101
1	PART 1	1	JIS G 5101	7	PART 7	1	JIS G 5101
NO.	NAMA	JML	BAHAN	NO.	NAMA	JML	BAHAN
	SKALA : 1:30		DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA				KETERANGAN
	SATUAN : MM		NO.REG : 5315122792				48
	TANGGAL : 09-01-2017		DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.				
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		ASSEMBLY ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON VERSI		ENGINEER PT.PQR		SKRIPSI	A4



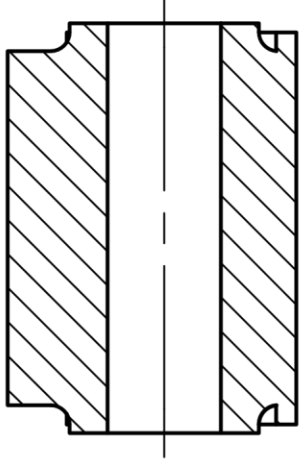
6	PART 6	1	JIS G 5101	12	PART 13	1	JIS SM 50 YA
5	PART 5	1	JIS G 5101	11	PART 12	1	MILD STEEL
4	PART 4	2	JIS SM 50 YA	10	PART 10	1	MILD STEEL
3	PART 3	1	JIS SM 50 YA	9	PART 9	1	MILD STEEL
2	PART 2	1	JIS SM 50 YA	8	PART 8	1	JIS G 5101
1	PART 1	1	JIS G 5101	7	PART 7	1	JIS G 5101
NO.	NAMA	JML	BAHAN	NO.	NAMA	JML	BAHAN

	SKALA : 1:30 SATUAN : MM TANGGAL : 09-01-2017	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA NO.REG : 5315122792 DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.	KETERANGAN : 49
--	-----------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

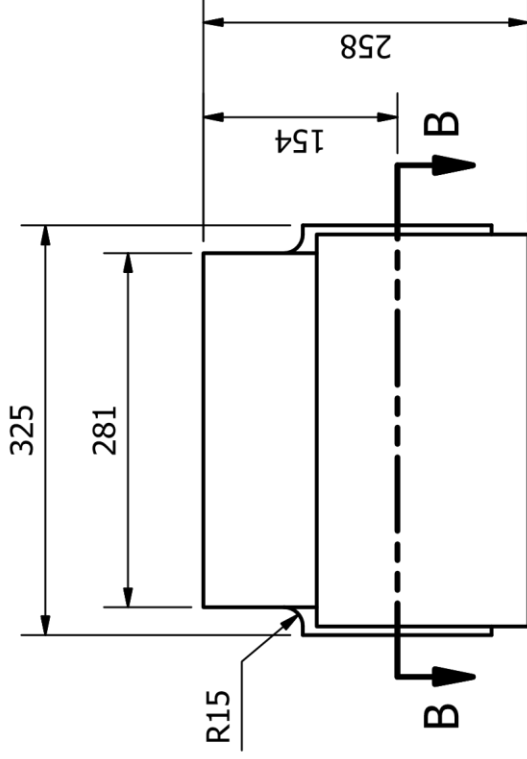
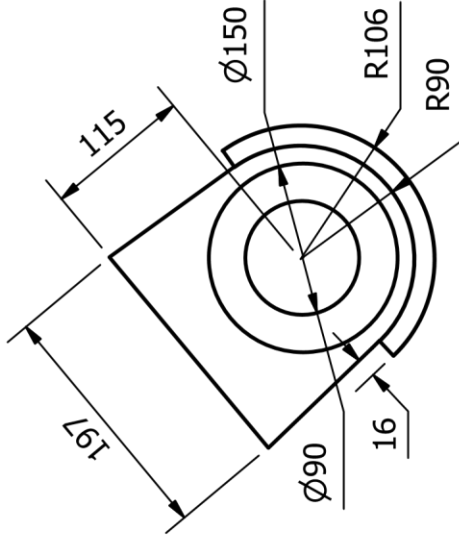
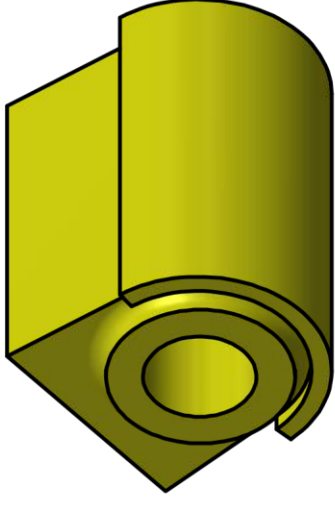
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
 ASSEMBLY ARM EXCAVATOR KELAS 20 TON VERSI
 ENGINEER PT.XYZ

SKRIPSI

A4



SECTION B-B
SCALE 1 / 6



SKALA : 1:6

SATUAN : MM

TANGGAL : 09-01-2017

DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA

NO.REG : 5315122792

DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.

KETERANGAN

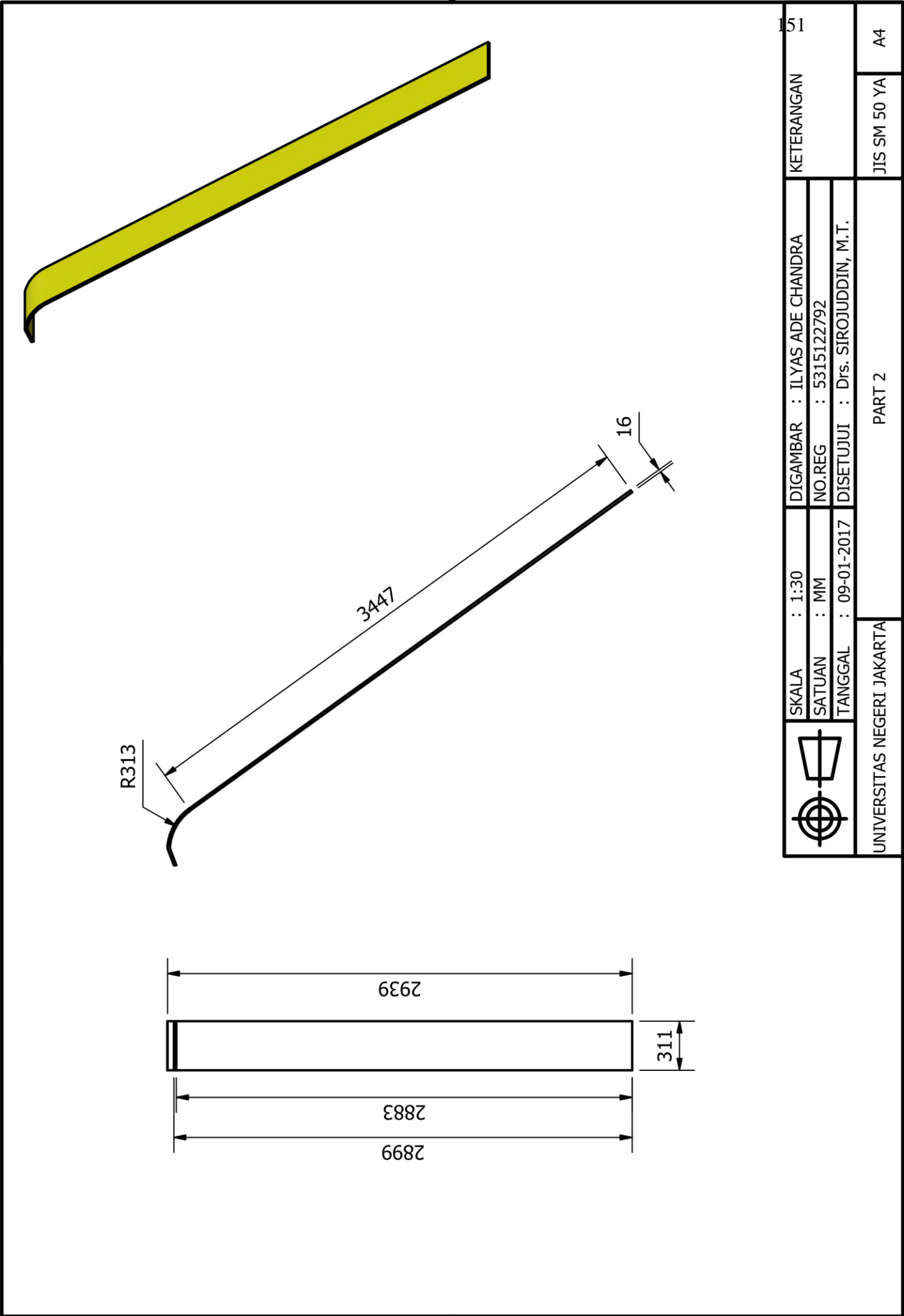
50


UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

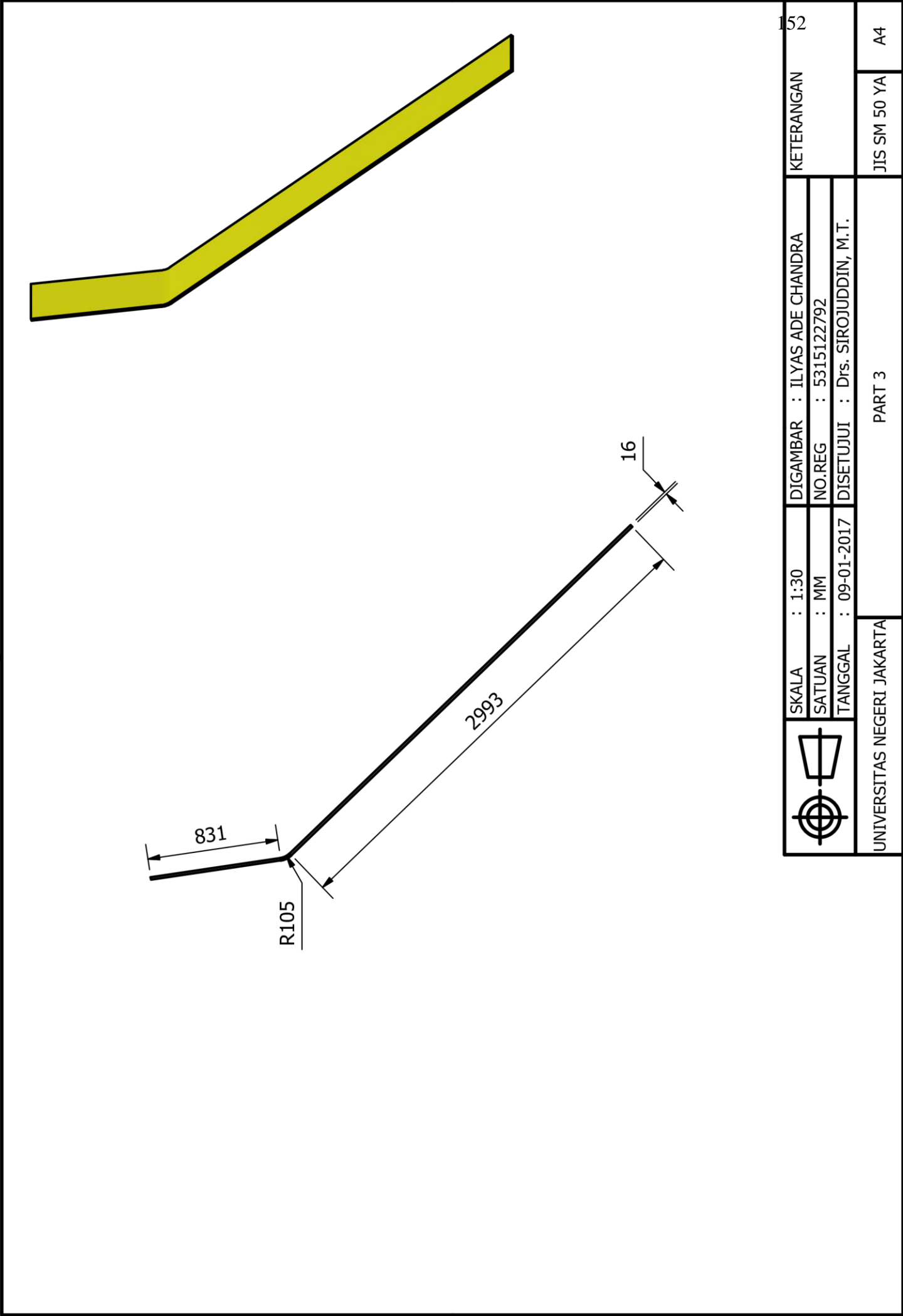
PART 1


JIS G 5101

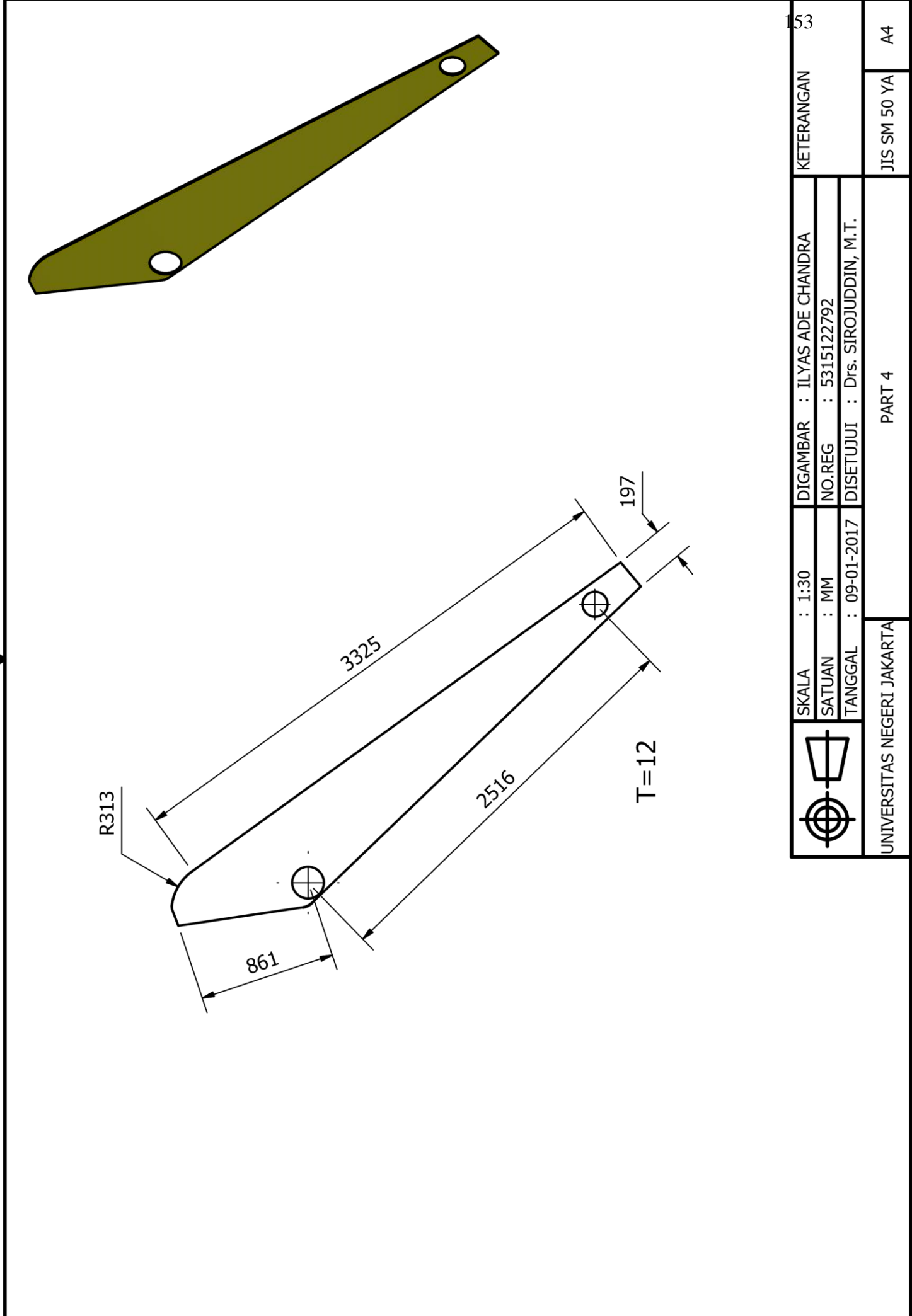
A4



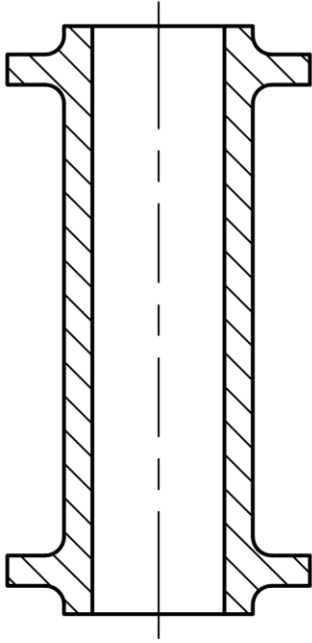
	SKALA : 1:30	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	151
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 2		JIS SM 50 YA
				A4



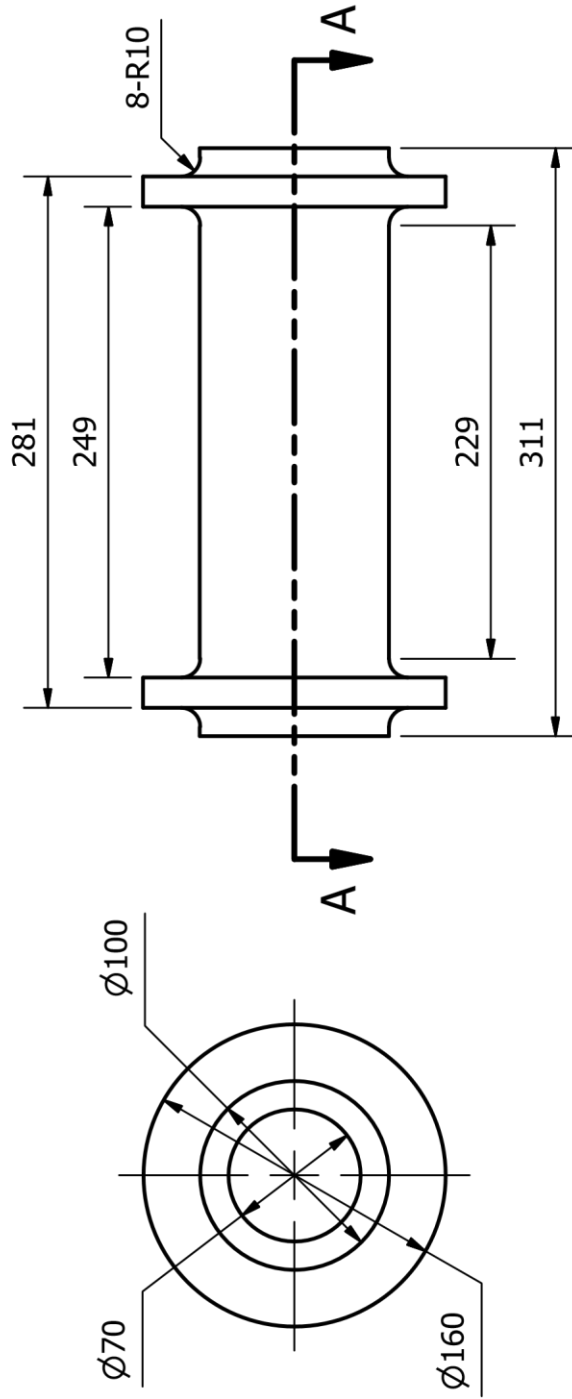
	SKALA : 1:30	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	152
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 3		JIS SM 50 YA
				A4



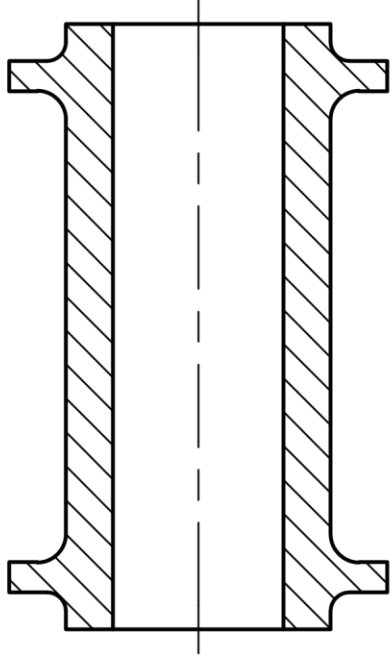
	SKALA : 1:30	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	153
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 4		JIS SM 50 YA
				A4



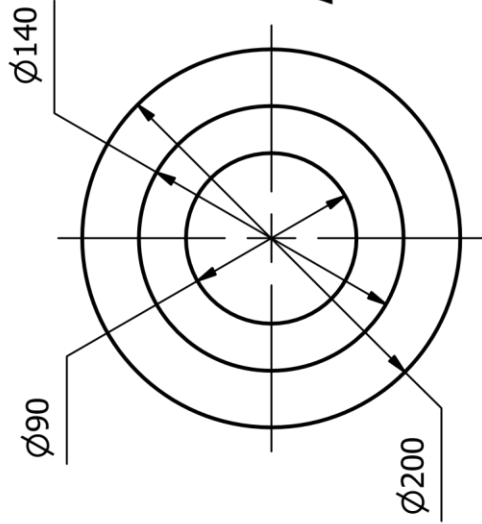
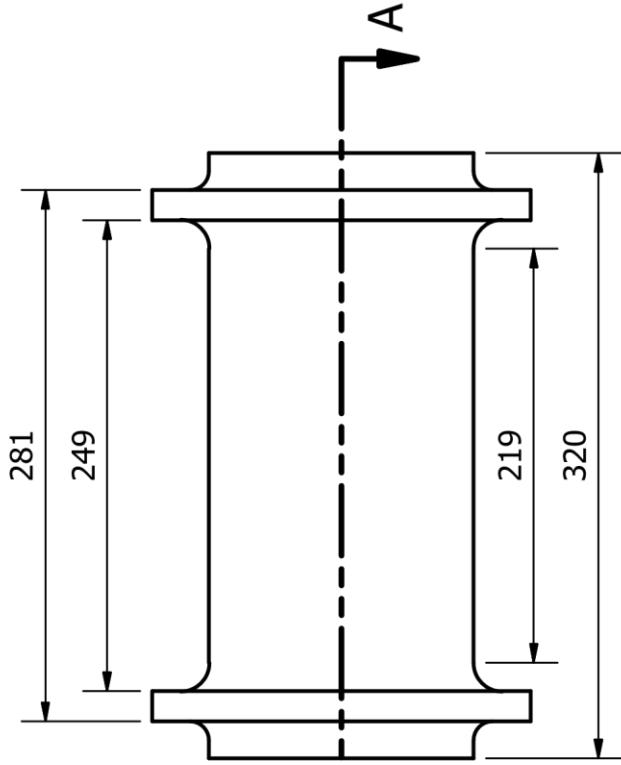
SECTION A-A
SCALE 1 / 4




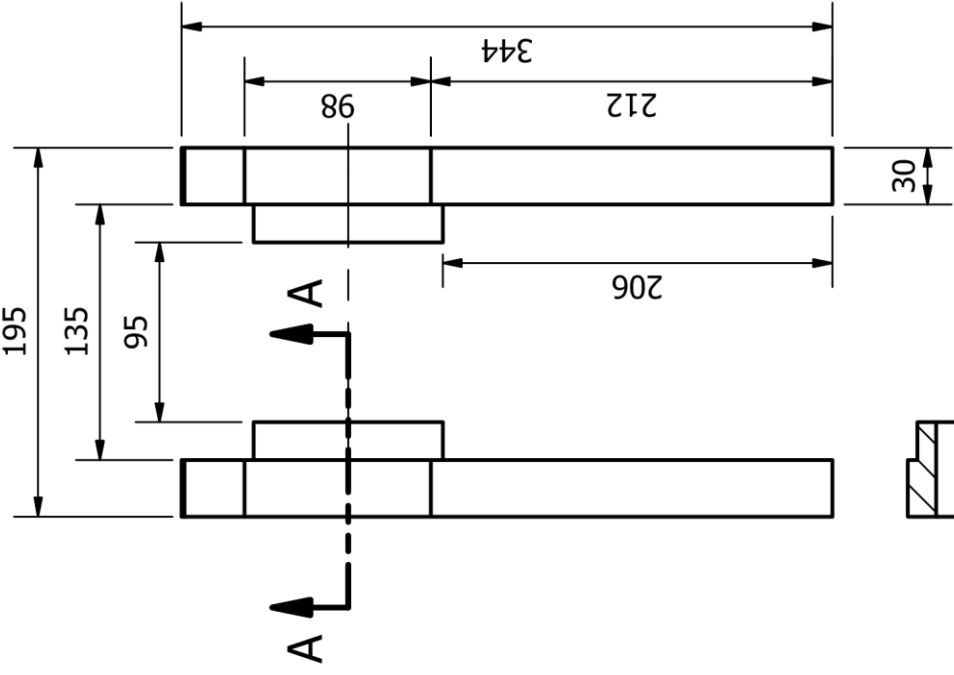
	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	154
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 5		JIS G 5101
				A4



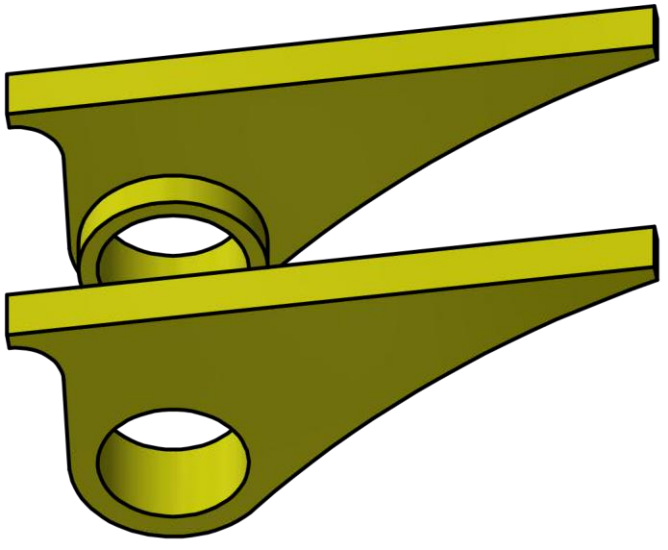
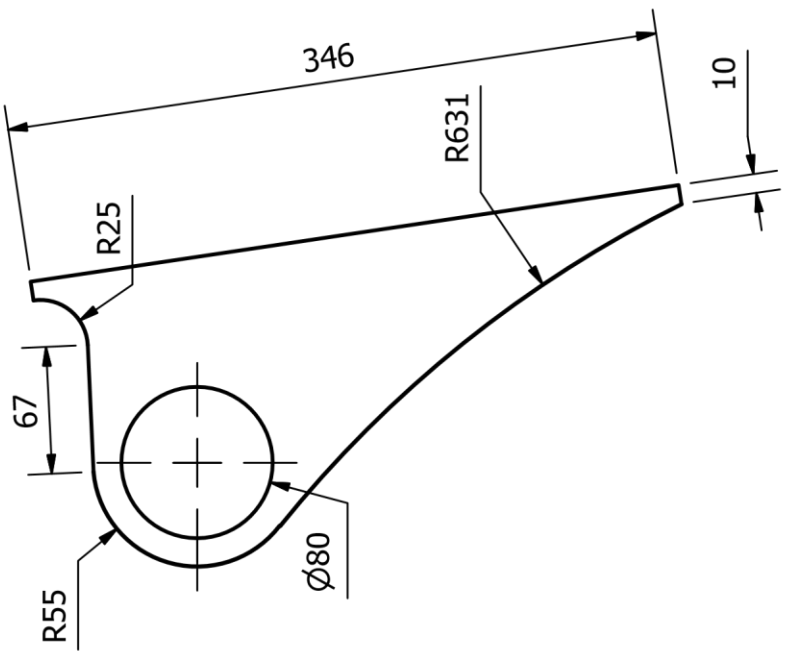
SECTION A-A
SCALE 1 / 4




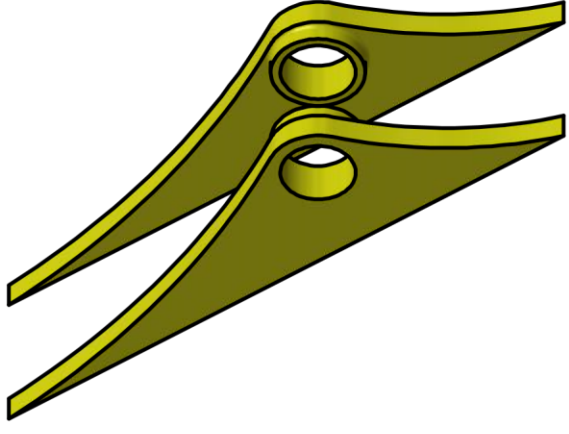
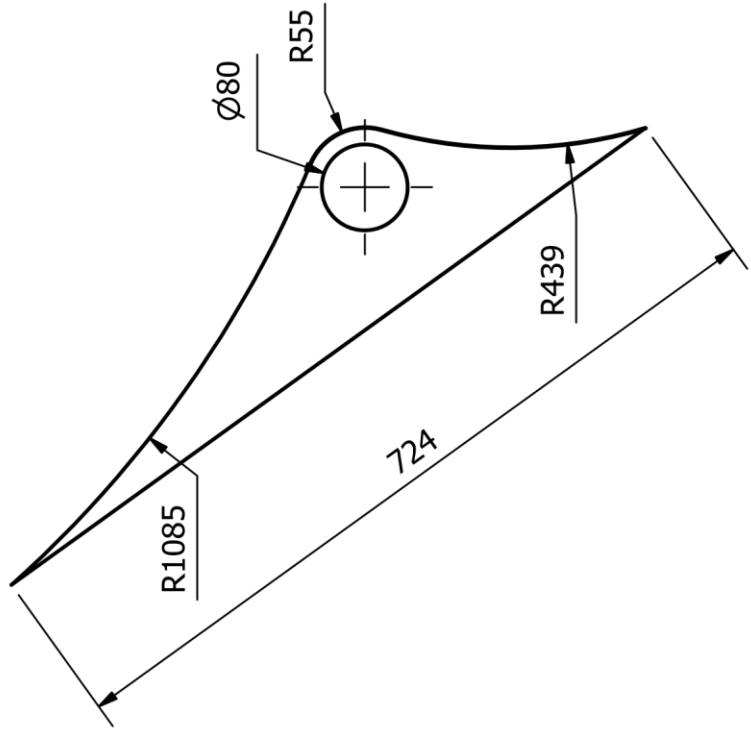
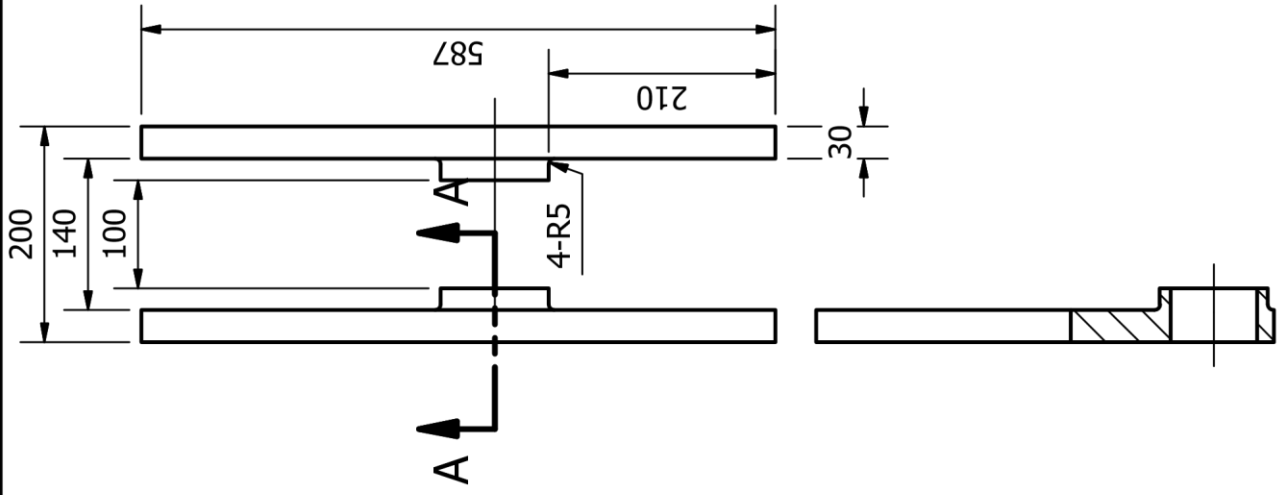
	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	55
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 6		JIS G 5101
				A4




SECTION A-A
SCALE 1 / 4

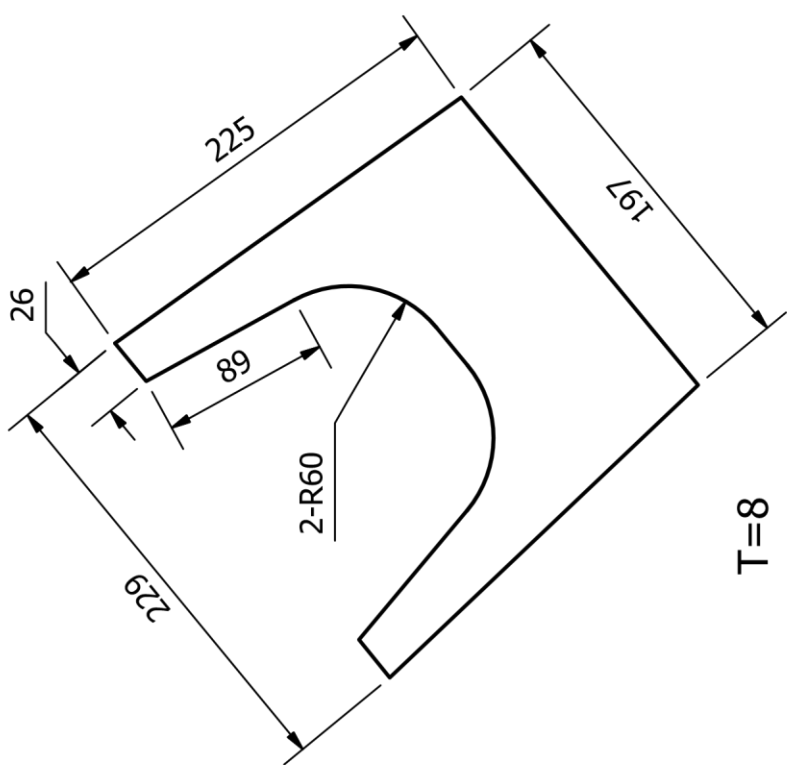
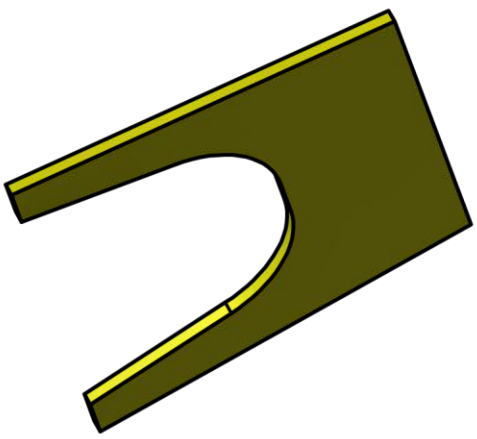



	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	156
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 7		JIS G 5101
				A4

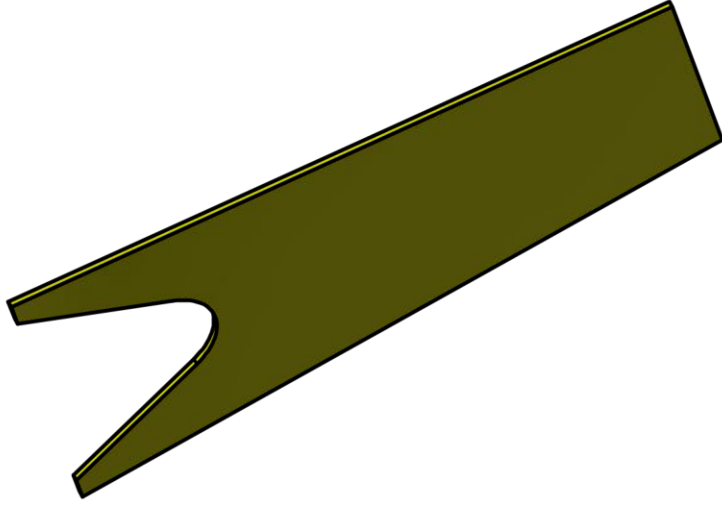
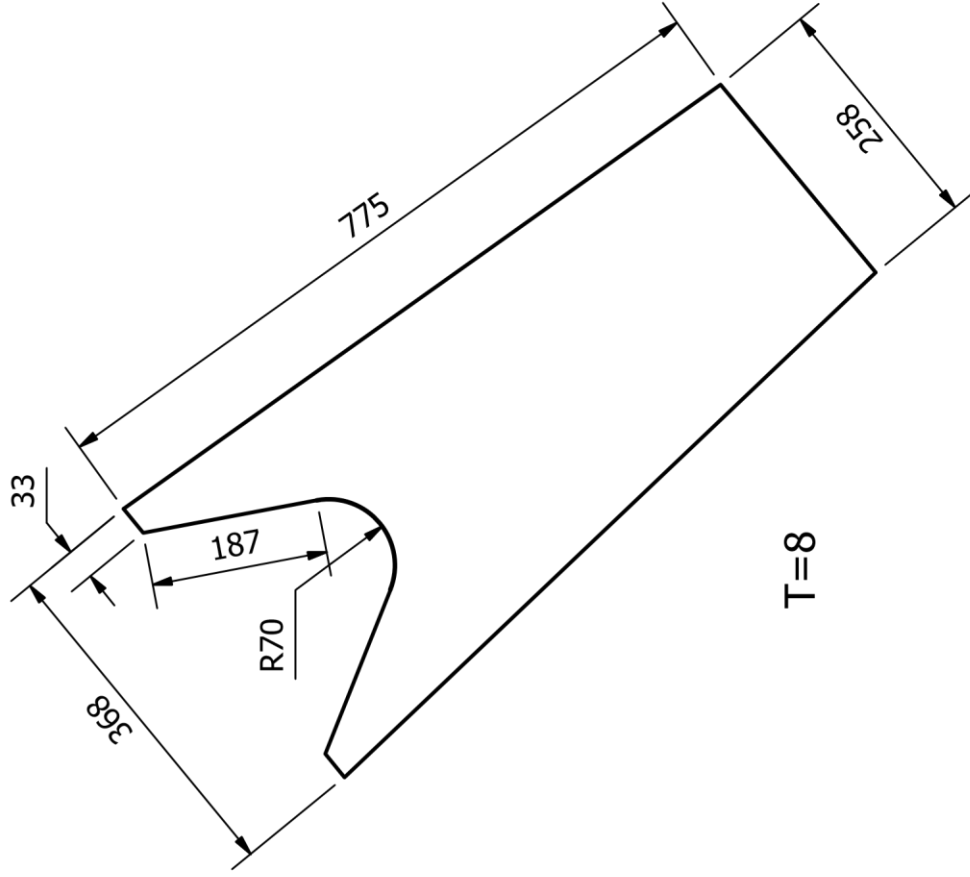



	SKALA : 1:7	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	157
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 8		JIS G 5101
				A4

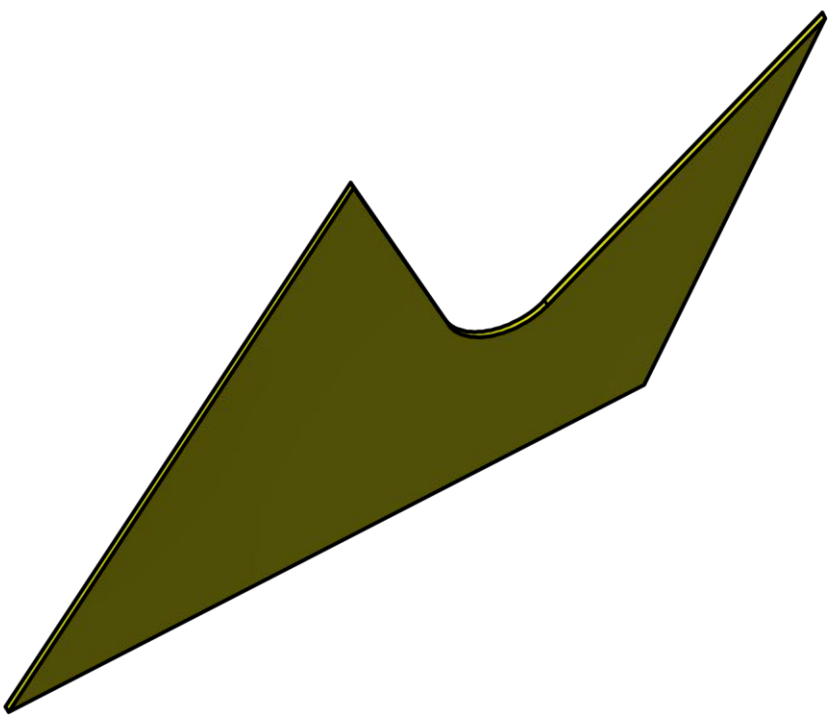
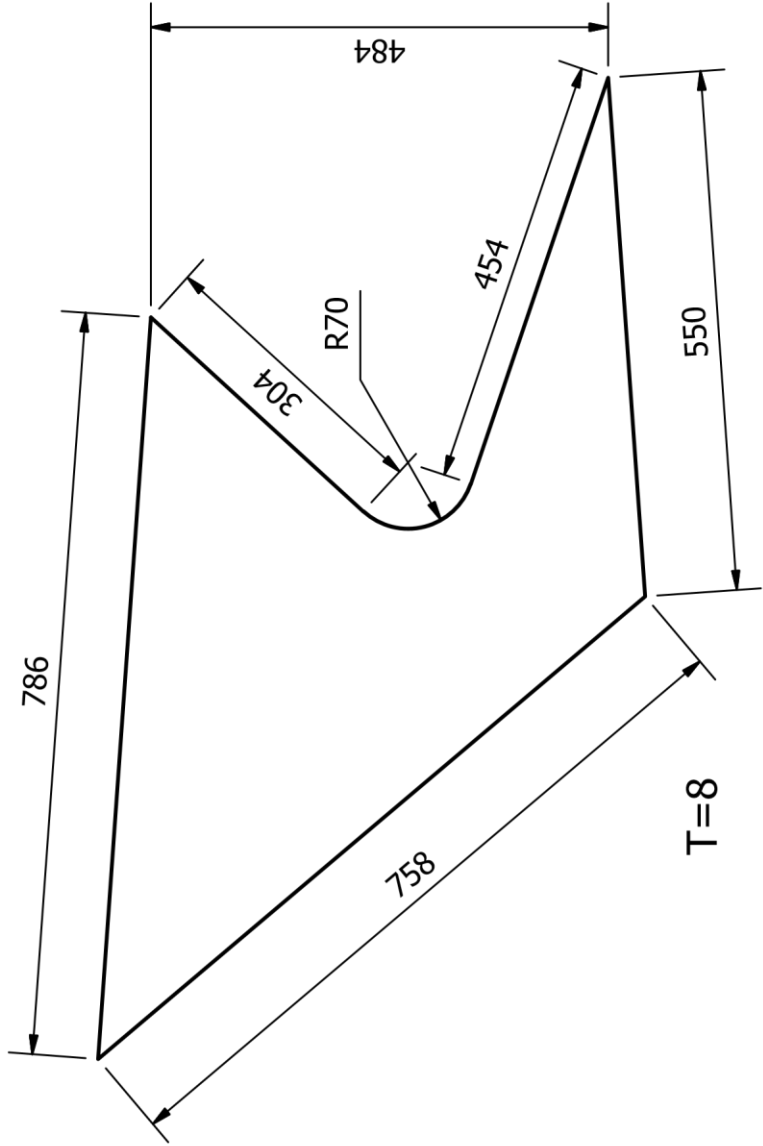
SECTION A-A
SCALE 1:7



	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	158
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 9		MILD STEEL
				A4



	SKALA : 1:8	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	159
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 10		MILD STEEL
				A4



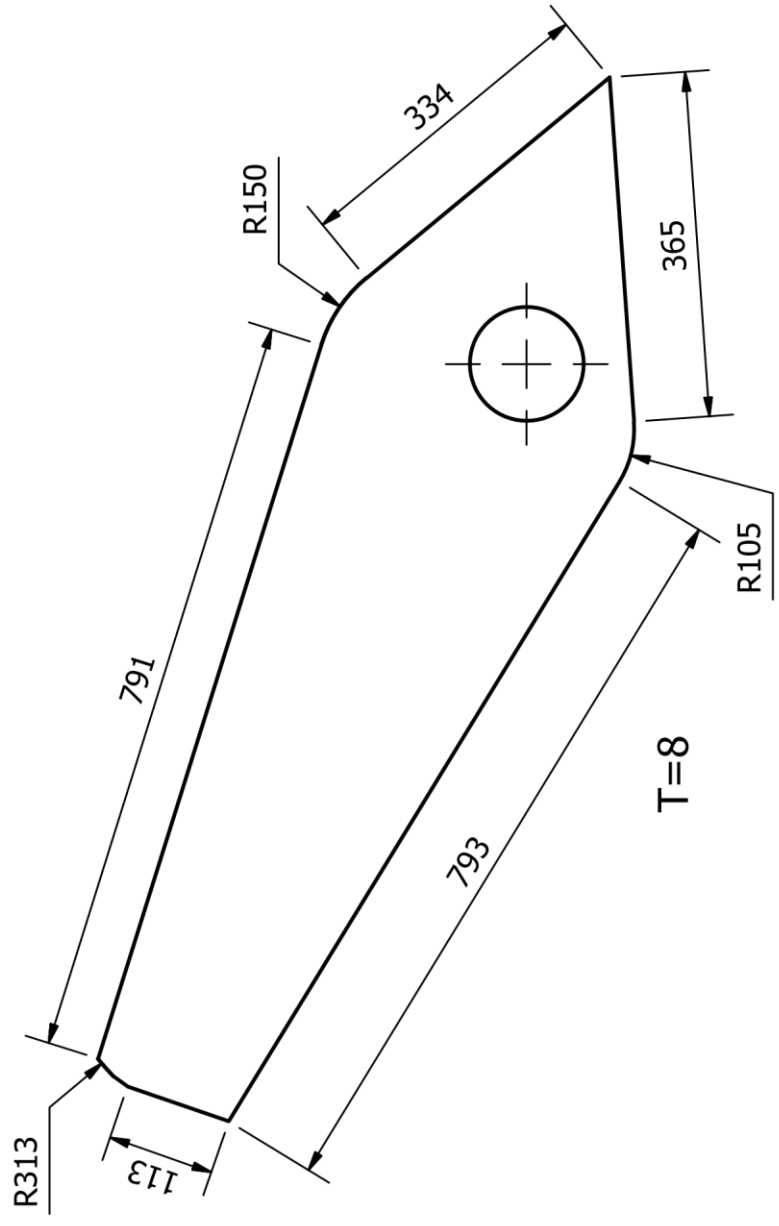
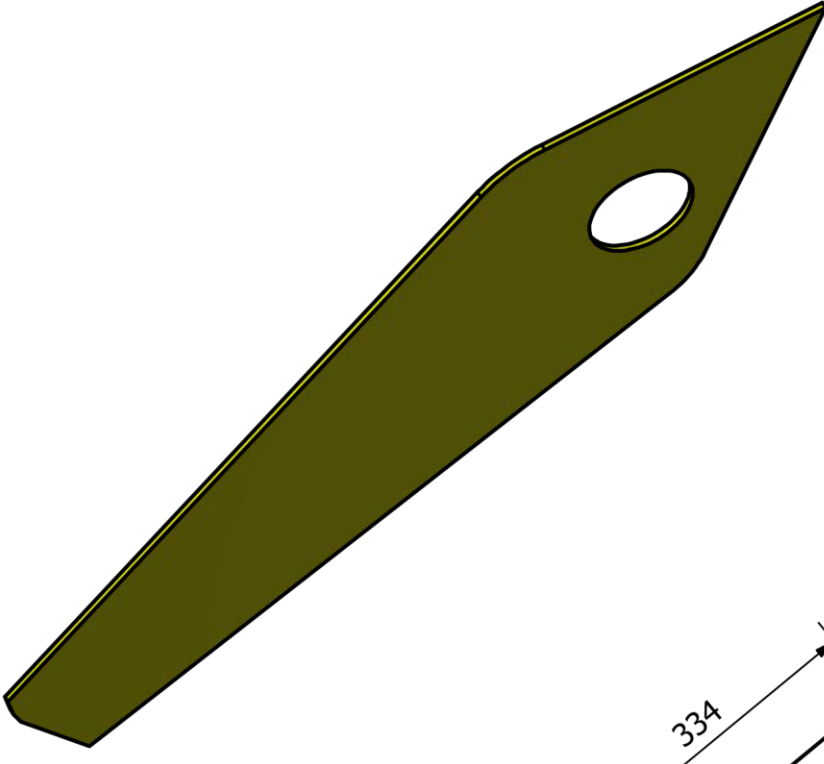
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA


SKALA : 1:8
 SATUAN : MM
 TANGGAL : 09-01-2017

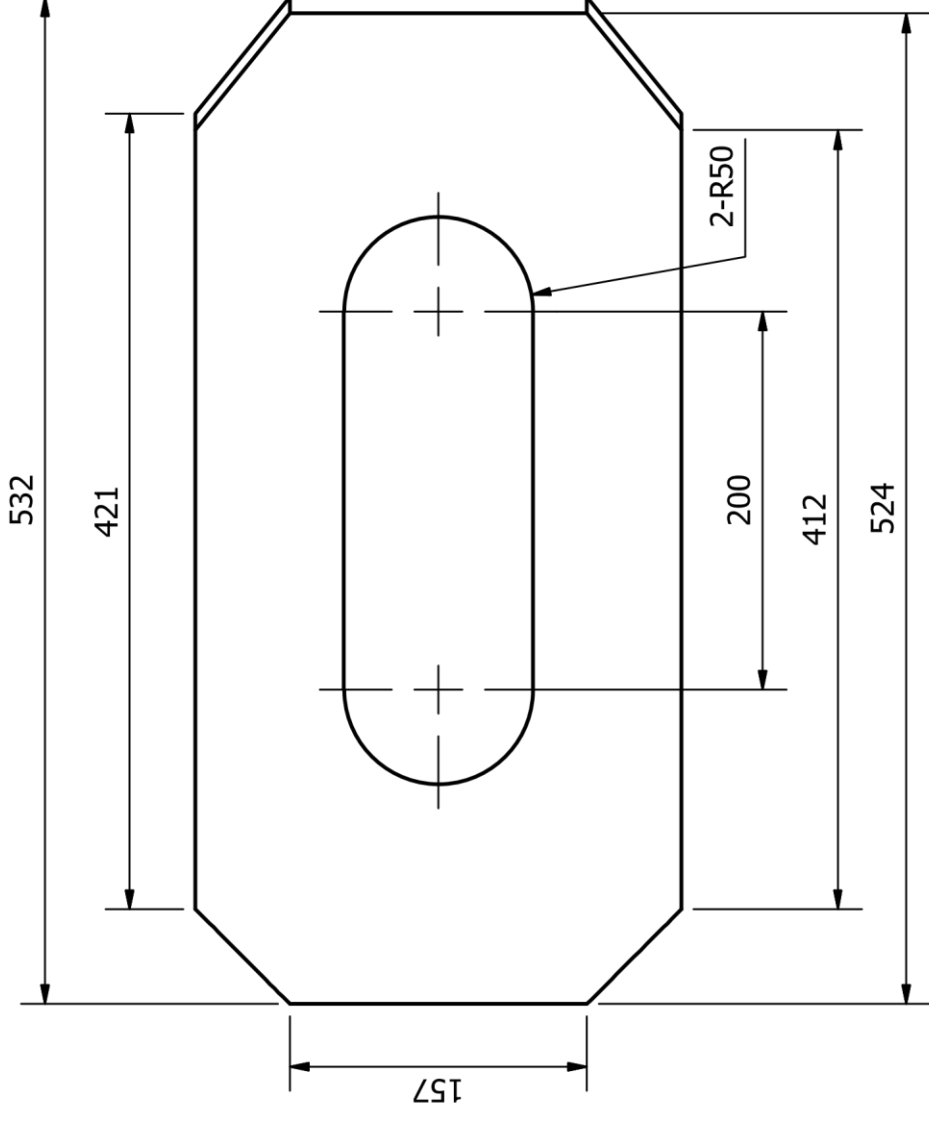
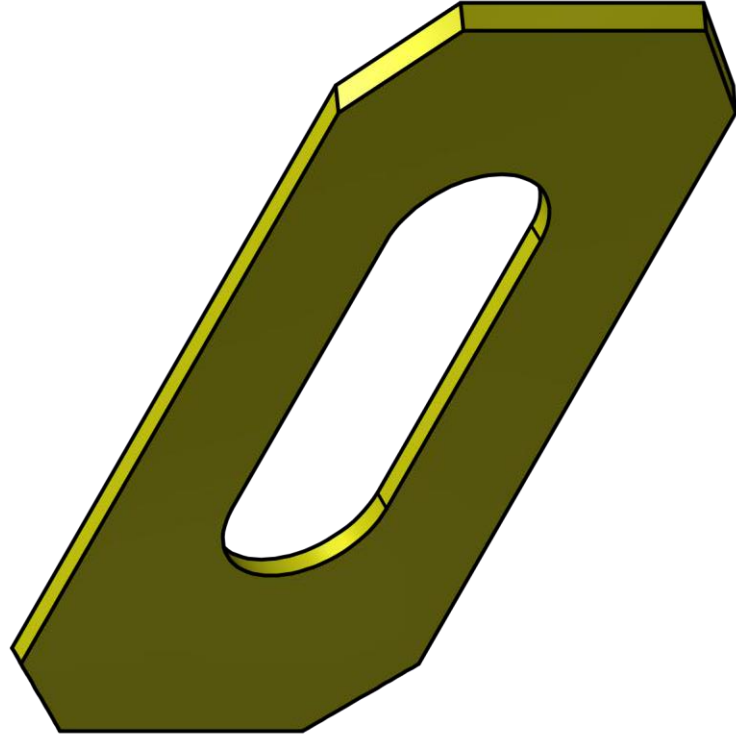
DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA
 NO.REG : 5315122792
 DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.


KETERANGAN : 60
 MILD STEEL
 A4

PART 11



	SKALA : 1:8	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	61
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 12	MILD STEEL	A4



	SKALA : 1:4	DIGAMBAR : ILYAS ADE CHANDRA	KETERANGAN	62
	SATUAN : MM	NO.REG : 5315122792		
	TANGGAL : 09-01-2017	DISETUJUI : Drs. SIROJUDDIN, M.T.		
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA		PART 13	JIS SM 50 YA	A4

RIWAYAT HIDUP



Ilyas Ade Chandra lahir di Jakarta, pada tanggal 23 Maret 1995. Putra ke-4 dari 4 bersaudara pasangan Bapak Waris dan Ibu Warsini. Bertempat tinggal di Perumahan Taman Wisma Asri Jl.Durian X Blok C.12 No.57 RT.02 RW.05 Kel.Teluk Pucung Kec.Bekasi Utara Kota Bekasi 17121.

Menempuh pendidikan di SDN Teluk Pucung X Kota Bekasi, SMP IT YAKPI Kota Bekasi, SMA Negeri 1 Babelan Kab.Bekasi dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik.

Pengalaman Praktik Kerja Lapangan yang pernah dilaksanakan di PT. United Tractors Tbk Cabang Jakarta tahun 2015 dan 2016 bagian Workshop. Melaksanakan PKM di SMK Negeri 5 Jakarta tahun 2015, dan pernah menjadi peserta Kuliah Kerja Nyata Universitas Negeri Jakarta di wilayah Kecamatan Cinangka, Kabupaten Serang, Provinsi Banten pada tahun 2016.

Selama menempuh pendidikan tinggi penulis aktif dalam organisasi diantaranya menjadi Staff Humas BEMJ Teknik Mesin UNJ periode 2013/2014, Staff Qur'an Center FSI Al-Biruni periode 2013/2014, Kepala Departemen Humas BEMJ Teknik Mesin UNJ periode 2014/2015, Staff Kominfo BEM FT UNJ periode 2015/2016, Kepala Departemen Soshumas PK KAMMI UNJ 2015/2016, Staff Humas PD KAMMI Jakarta Timur periode 2016/2017 dan Tim Media Yayasan Indonesia Semesta Cendekia.

Selain keorganisasian, penulis juga pernah menjadi peserta Training Autodesk Inventor 2014 level essential tahun 2015, menjadi panitia Seminar Nasional Mesin dan Teknologi Kejuruan (SNMTK) tahun 2014, 2016 dan menjadi peserta Pelatihan Guru Pamong SMP Terbuka Se-Nasional yang diadakan oleh KEMENDIKBUD tahun 2014.