

**ANALISIS TEGANGAN DAN OPTIMASI DESAIN
BUCKET PINDAD EXCAVA 200 MENGGUNAKAN
SOLIDWORKS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Di Bidang Teknik Mesin



Diajukan oleh:

SIKWAN MILLA ATE

NIM: 185214094

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2023

**STRESS ANALISYS AND OPTIMIZATION DESIGN
BUCKET PINDAD EXCAVA 200 USING
SOLIDWORKS**

FINAL PROJECT

Presented As Partial Fulfillment Of The
Requirement To Obtain Of The *Sarjana Teknik* Degree
In Mechanical Engineering



By:

**SIKWAN MILLA ATE
STUDENT NUMBER: 185214094**

**FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA**

2023

TUGAS AKHIR
ANALISIS TEGANGAN DAN OPTIMASI DESAIN
BUCKET PINDAD EXCAVA 200 MENGGUNAKAN
SOLIDWORKS

Disusun oleh:

SIKWAN MILLA ATE

NIM: 185214094

Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Budi Sugiharto

**ANALISIS TEGANGAN DAN OPTIMASI DESAIN
BUCKET PINDAD EXCAVA 200 MENGGUNAKAN
SOLIDWORKS**

Dipersiapkan dan disusun oleh:


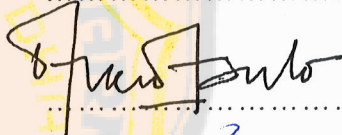
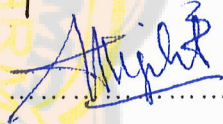
Nama: Sikwan Milla Ate

NIM: 185214094

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

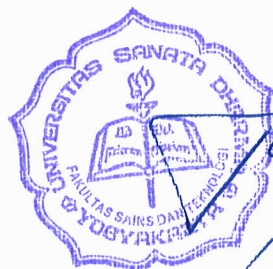
Pada tanggal 19 Januari 2023

Susunan Dewan Penguji

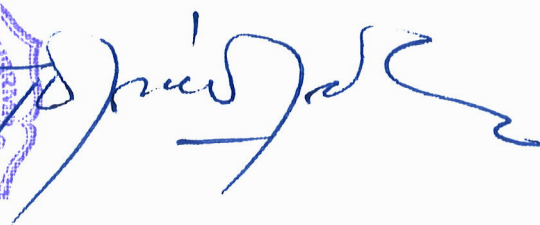
	Nama Penguji	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Ir. FA Rusdi Sambada	
Sekretaris	: Doddy Purwadianto, M.T.	
Anggota	: Dr. Ir. Budi Sugiharto	

Tugas akhir ini telah diterima sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sanata Dharma



Dekan



Ir. Drs. Haris Sriwindono, M.Kom., Ph.D

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini penulis menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

**ANALISIS TEGANGAN DAN OPTIMASI DESAIN
BUCKET PINDAD EXCAVA 200 MENGGUNAKAN
SOLIDWORKS**

Dibuat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Strata 1, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma. Sejauh yang penulis kerjakan, penelitian ini bukan merupakan tiruan dari tugas akhir maupun penelitian yang sudah dipublikasikan di Universitas Sanata Dharma atau di Perguruan Tinggi manapun, kecuali bagian informasi yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka sebagai layaknya karya ilmiah.

Yogyakarta, 24 Januari 2023

Penulis



Sikwan Milla Ate

185214094

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK AKADEMIS**

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata
Dharma:

Nama : Sikwan Milla Ate

NIM : 185214094

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada
perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah dengan judul:

**ANALISIS TEGANGAN DAN OPTIMASI DESAIN
BUCKET PINDAD EXCAVA 200 MENGGUNAKAN
SOLIDWORKS**

Dengan demikian, saya memberikan hak kepada perpustakaan Universitas
Sanata Dharma untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain,
mengolah dalam bentuk pangkalan data, mempublikasikan di internet atau media
lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin kepada saya selama
masih mencantumkan nama saya sebagai penulis. Dengan pernyataan ini saya
buat dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta 24 Januari 2023

Yang menyatakan,



Sikwan Milla Ate

185214094

ABSTRAK

Excavator merupakan alat berat yang sering di gunakan dalam berbagai pekerjaan konstruksi dengan kegunaan menggali, mengangkat material, meratakan, dan lain sebagainya *excavator* memiliki komponen bucket yang berfungsi sebagai alat pengeruk material. Bucket sangat berpengaruh terhadap produktifitas *excavator* karena merupakan komponen yang bersentuhan langsung dengan material. *Bucket* harus cukup kuat untuk bekerja dengan andal dalam kondisi kerja yang berat. Biasanya *bucket excavator* bekerja di bawah gerakan siklik selama proses penggalian. Karena sifat pekerjaan yang berulang ini, tegangan siklik dapat terjadi pada beberapa bagian bucket.

Penelitian dilakukan dengan pemodelan *bucket* dan menganalisis tegangan *bucket* menggunakan metode elemen untuk mengetahui *nilai von misses stress, displacement, dan safety factor*, kemudian dilakukan pengoptimasian menggunakan metode topologi. Data yang diperoleh dari analisis awal yaitu nilai *max von misses stress* sebesar 347,662MPa, nilai *displacement* 14,769mm. Analisis awal menunjukkan desain masih dalam keadaan aman karena tidak melewati batas *yield strange* yang diizinkan material sebesar. Dilanjutkan ke tahap optimasi topologi untuk mengurangi massa bucket sebesar 16%. Persentase pengurangan massa *bucket* yang dilakukan sebesar 16,39% atau sebesar 187,62kg. Volume *bucket* berkurang sebanyak 0,0034m³ atau 2,41% dari volume awal 0,14m³ menjadi 0,11m³. Luas permukaan bucket bertambah sebanyak 0,61m² atau 7% dari luas awal 8,34m² menjadi 8,95m². setelah optimasi dilakukan analisis statik dan diperoleh nilai *von misses stress* sebesar 347,662MPa, *displacement* sebesar 15,374mm. Hasil optimasi dapat dikatakan aman dan layak digunakan karena tidak melewati batas nilai *yield strange* yang diizinkan material.

Kata kunci: *static analysis, von misses stress, displacement, factor of safety, topology optimization*

ABSTRACT

Excavators are heavy equipment that are often used in various construction jobs with the function of digging, transporting materials, leveling, and many more. Excavators have a bucket component that functions as a material scraper. Bucket is very influential on the productivity of the excavator due to its component that is in direct contact with the material. The bucket must be strong enough to work reliably under tough working conditions. Usually excavator's bucket works under cyclic motion during the digging process. Due to the repetitive nature of the work, cyclic stress may occur in some parts of the bucket.

The research was carried out by modeling Bucket and analyzing Bucket stress using the element method to determine the value of von mises stress, displacement, and safety factor, then optimization was carried out using the topological method. The data obtained from the initial analysis is the max von mises stress value of 347.662MPa, displacement value of 14.769mm. Preliminary analysis shows that the design is still in a safe condition because it does not exceed the allowable yield limit for the material. Proceed to the topology optimization stage to reduce the bucket mass by 16%. The percentage of reduction in bucket mass that was carried out was 16.39% or 187.62kg. Bucket volume reduced by 0.0034m³ or 2.41% from initial volume of 0.14m³ to 0.11m³. The bucket surface area has increased by 0,61m² or 7% from the initial area of 8.34m² to 8.95m². After optimization, static analysis was carried out and the von mises stress value was 347.662MPa, displacement was 15.374mm. The optimization results can be said to be safe and feasible to use because they do not exceed the permitted yield strange value of the material.

Keywords: *static analysis, von mises stress, displacement, factor of safety, topology optimization*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan kasih karunianya yang senantiasa diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS TEGANGAN DAN OPTIMASI DESAIN BUCKET PINDAD EXCAVA 200 MENGGUNAKAN SOLIDWORKS” dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ir. Drs. Haris Sriwindono, M.Kom., Ph.D., selaku dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ir. Budi Setyahandana, M.T., selaku ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
3. Dr. Ir. Budi Sugiharto, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak penuh kesabaran, meluangkan waktu, memberikan bimbingan, masukan, dan saran terkait penelitian yang dilakukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staff Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta untuk segala ilmu, pengetahuan, pengalaman, dan bantuan untuk memajukan kami sebagai anak didik.
5. Bapak Andreas Rato Lerre, Ibu Paulina Ndoda selaku orang tua penulis yang selalu mendukung penulis dengan memberikan perhatian dan doa.
6. Arlin Kurniawan Tonsionkor dan Juitaria Sally Inya Lupu selaku kakak penulis yang selalu mendukung dan memberi semangat dalam mengerjakan tugas akhir.

7. Segenap staff dan karyawan gudang alat BBWS cupuwatu yang telah meluangkan waktu untuk pengambilan data serta konsultasi mengenai alatt berat.
8. Rizky Julianto, Ryvido Abdi Alexander, Yohanes Pamungkas, Edwin Pradipta, Ivhan Berlin, selaku teman yang selalu membantu, mendukung dalam mengerjakan penelitian dan tugas akhir.

Penulis sadar dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Segala kritik dan saran yang membangun akan sangat penulis harapkan demi penyempurnaan di kemudian hari. Akhir kata seperti yang penulis harapkan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

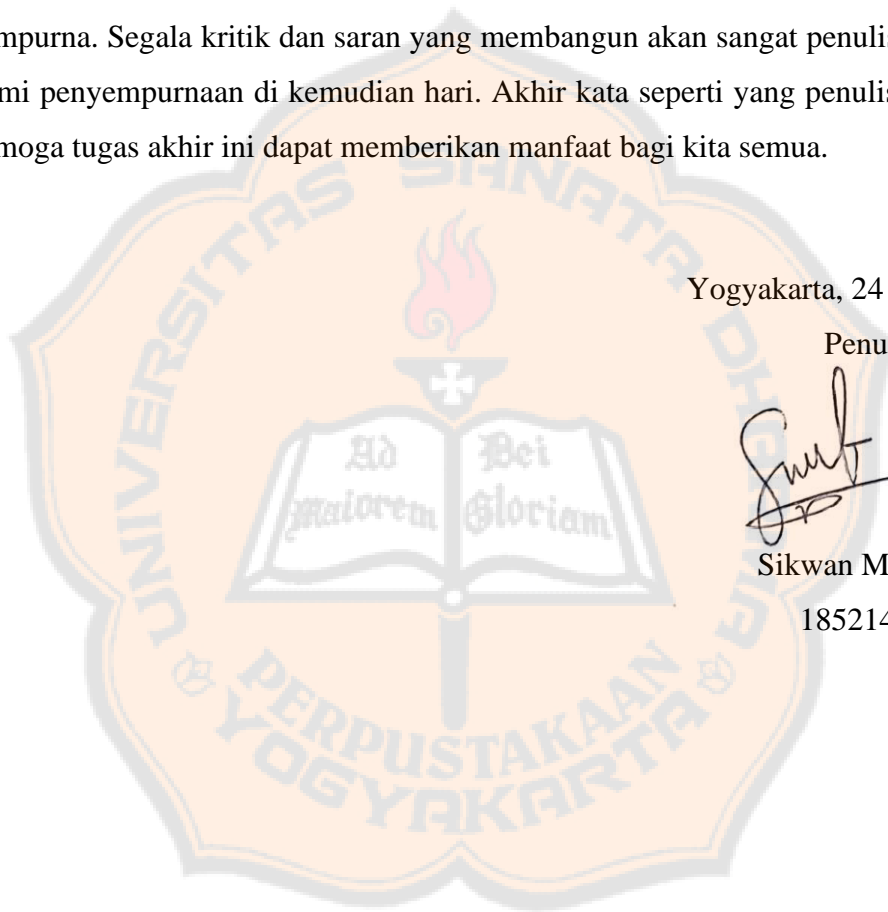
Yogyakarta, 24 Januari 2023

Penulis



Sikwan Milla Ate

185214094



DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian.....	3
1.5.1 Manfaat untuk peneliti	3
1.5.2 Manfaat Untuk Masyarakat/Perusahaan	4
1.5.3 Manfaat Untuk Universitas	4
BAB II KAJIAN PUSATAKA	5
2.1 Alat Berat	5
2.1.1 Excavator	6
2.1.2 Bucket	7
2.2 Sistem Gaya.....	9
2.2.1 Keseimbangan Benda Tegar	11
2.2.2 Diagram Benda Bebas (Free Body Diagram)	12
2.2.3 Kapasitas Bucket.....	12
2.2.4 Bucket Digging Force	14
2.3 Solidworks.....	16
2.3.1 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>).....	17
2.3.2 Analisis Statik	19
2.3.3 Optimasi Topologi	22
2.4 Penelitian terdahulu	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25

3.2 Objek Penelitian	26
3.3 Variasi Penelitian	27
3.4 Langkah Penelitian	28
3.5 Langkah Analisis dan Optimasi	30
3.5.1 Analisis Statik	30
3.5.2 Optimasi Topologi	32
3.5.3 Merapikan Hasil Optimasi	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Desain	38
4.2 Analisa Beban dan Arah Gaya	39
4.3 Perhitungan Kapasitas <i>Bucket</i>	39
4.3.1 <i>Bucket Digging Force</i>	42
4.4 Hasil Simulasi Statik	43
4.4.1 Von Mises Stress	44
4.4.2 Displacement	45
4.4.3 Factor Of Safety	46
4.5 Optimasi Topologi.....	47
4.5.1 Hasil Optimasi Topologi.....	47
4.5.2 Hasil Optimasi Topologi Setelah di Rapikan	48
4.6 Hasil Simulasi Statik Setelah Optimasi.....	50
4.6.1 Von Mises Stress	50
4.6.2 Displacement	51
4.6.3 Factor Of Safety	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pindad Excava 200 (sumber: https://pindad.com/excava200)	6
Gambar 2. 7 Komponen Tegak Lurus.....	10
Gambar 2. 8 Komponen Tegak Lurus.....	11
Gambar 2. 9 <i>Free Body Diagram</i>	12
Gambar 2. 10 Struck Capacity	13
Gambar 2. 11 Heaped Capacity	13
Gambar 2. 12 Mekanisme gaya penggalian (McKyes, 1985).....	15
Gambar 2. 13 Elemen Beam (1 dimensi).....	17
Gambar 2. 14 Elemen Shell (2 dimensi)	18
Gambar 2. 15 elemen solid (3 Dimensi)	18
Gambar 2. 16 Konsep Tegangan.....	19
Gambar 2. 17 Konsep regangan	20
Gambar 2. 18 Grafik tegangan vs regangan material ulet.....	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. 2 Pindad Excava 200.....	26
Gambar 3. 3 Operation Range Pindad Excava 200.....	27
Gambar 3. 4 Meter	28
Gambar 3. 5 <i>Vernier Caliper</i>	28
Gambar 3. 6 Model 3D Pindad Excava 200.....	29
Gambar 3. 7 Katalog Pindad Excava 200	30
Gambar 3. 8 <i>Fixture</i>	31
Gambar 3. 9 <i>External Loads</i>	31
Gambar 3. 10 <i>Meshing</i>	32
Gambar 3. 11 <i>Result</i>	32
Gambar 3. 12 <i>Fixture</i>	32
Gambar 3. 13 <i>External Loads</i>	33
Gambar 3. 14 <i>Goals and constrain</i>	33
Gambar 3. 15 <i>Preserved Region</i>	34
Gambar 3. 16 <i>De-mold control</i>	34
Gambar 3. 17 <i>Symmetry control</i>	35
Gambar 3. 18 <i>Mesh</i>	35

Gambar 3. 19 <i>Result</i>	36
Gambar 3. 20 <i>Export smoothed mesh</i>	36
Gambar 3. 21 <i>Configuration</i>	37
Gambar 3. 22 <i>Sketch</i>	37
Gambar 4. 1 Modeling <i>Bucket</i> Pindad Excava 200.....	38
Gambar 4. 2 <i>Sketch Bucket Right Plane</i>	39
Gambar 4. 3 <i>Sketch Bucket Front Plane</i>	40
Gambar 4. 4 Katalog Pindad Excava 200(“Katalog Pindad Excava 200,” n.d.)... 41	
Gambar 4. 5 Sudut Kemiringan <i>Bucket</i>	42
Gambar 4. 6 <i>Von Mises Stress</i>	44
Gambar 4. 7 <i>Resultant Displacement</i>	45
Gambar 4. 8 <i>Factor of Safety</i>	46
Gambar 4. 9 Hasil Running Optimasi Topologi	47
Gambar 4. 10 Hasil Running Optimasi Topologi Right Plane.....	48
Gambar 4. 11 Model Dan <i>Evaluate</i> Setelah Optimasi	49
Gambar 4. 12 Model Dan <i>Evaluate</i> Setelah Optimasi Dari Sisi Samping.....	49
Gambar 4. 13 <i>Von Mises Stress</i> setelah optimasi.....	50
Gambar 4. 14 <i>Resultant Displacement</i> setelah optimasi.....	51
Gambar 4. 15 <i>Factor of Safety</i> setelah optimasi	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Properti Material HARDOX 400	29
Tabel 4. 1 <i>Von Mises Stress</i>	44
Tabel 4. 2 <i>Resultant Displacement</i>	45
Tabel 4. 3 <i>Factor of Safety</i>	46
Tabel 4. 4 <i>Von Mises Stress</i> setelah optimasi	50
Tabel 4. 5 <i>Resultant Displacement</i> setelah optimasi.....	51
Tabel 4. 6 <i>Factor of Safety</i> setelah optimasi	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan alat-alat berat mulai menggantikan tenaga kerja pada sejumlah proyek yang cukup besar dikarenakan keterbatasan waktu dan tenaga manusia dalam mengerjakan pekerjaan secara cepat. Selain itu, peralatan berat yang cukup canggih dan modern sangat efektif dan efisien dalam membantu pekerjaan di areal perbukitan, di lembah, maupun di tempat lainnya yang sulit untuk dijangkau (Mariana, 2015).

Pekerjaan yang marak menggunakan alat berat sebagai pendukung pekerjaan yaitu dalam dunia industri dan konstruksi. Beberapa alat berat yang dipakai dalam membantu meringankan pekerjaan manusia antara lain, yaitu *Tractor, Motor Graders, Excavator, Backhoe Loaders, Forest Products, Pipelayers, Wheel Tractor-Scrapers, Construction and Mining Trucks/Tractors, Articulated Trucks, Wheel Dozers, Soil Compactors, Skid Steer Loaders, Multi Terrain Loaders, Compact Track Loaders, Wheel Loaders, Integrated Tool carriers, Track Loaders, Telescopic Handlers, Paving Products, Underground Mining Equipment, Hydromechanical Work Tools*, dan sebagainya (Yunus, 2020).

Salah satu penyedia alat berat di Indonesia adalah PT. Pindad (Persero) melalui divisi alat berat menghasilkan produk-produk pendukung industri konstruksi dan pertambangan antara lain produk alat berat, berupa *Excavator* dan jasa permesinan. PT Pindad merupakan perusahaan industri pertahanan yang bergerak dalam pembuatan produk-produk militer dan komersial di Indonesia. Awal berdirinya PT Pindad ini tidak lepas dari berdirinya bengkel peralatan militer yang bernama *Artillerie Constructie Winkle (ACW)* dan *Pyroteknische Werkplaats (PW)* pada tahun 1808 yang pada awalnya berfungsi sebagai penyedia dan pemelihara alat-alat perkakas senjata dan bahan peledak untuk memenuhi kebutuhan angkatan laut Belanda. Sejak menjadi BUMN, PT. Pindad (Persero) mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai penunjang Hankamnas dalam hal ini pengembangan industri kemiliteran dan sebagai penyelenggara industri komersial (Abadie et al., 1999). Melalui transformasi kompetensi pada produk pertahanan yaitu sistem hidraulik dan roda rantai, Pindad menciptakan produk alat

berat pertama dengan merek Excava 200 yang memiliki kapasitas beban sebesar 20 ton.

Excavator adalah alat berat yang digunakan dalam industri–industri besar seperti konstruksi, pertanian atau perhutanan, pertambangan, dan sebagainya yang membutuhkan kemampuan di luar kemampuan manusia. *Excavator* memiliki belalai yang terdiri dari dua piston. *Excavator* juga memiliki *bucket* (ember keruk) yang disebut *dipper*. Ruang pengemudi atau ruang operator disebut sebagai *cabin*, terletak diatas roda (*trackshoe*), dan dapat berputar 360 derajat. Salah satu komponen penting dari *Excavator* adalah *bucket* yang terletak pada belalai dari *Excavator*.

Bucket Excavator harus memiliki sifat material yang cukup kuat untuk bekerja dengan andal dalam kondisi kerja berat. Biasanya *bucket Excavator* bekerja di bawah gerakan siklik (berulang) selama proses penggalian. Karena sifat pekerjaan yang berulang ini, tegangan siklik dapat terjadi pada beberapa bagian *Excavator*. Tingkat tegangan yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada beberapa bagian *bucket* itu sendiri, sehingga hal ini dapat mengurangi produktifitas dari *Excavator* (Hutagalung et al., 2022). Analisa dengan menggunakan *Solidworks* dapat digunakan untuk mendapatkan nilai distribusi *Stress*, *Displacement*, dan *Factor of Safety* pada *bucket* Pindad Excava 200 untuk mengetahui kekuatan desain produk. Pengujian karakteristik statik secara eksperimental di laboratorium memerlukan biaya yang tidak sedikit. Untuk itu diperlukan bantuan *software* yang mampu menganalisa karakteristik statik suatu model seperti *Solidworks*. Oleh karena itu penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* yang berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*), yaitu dengan *software Solidworks* versi tahun 2022.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa nilai persentase dimensi desain *bucket*?
2. Berapa hasil pengujian statik dari desain *bucket*?
3. Berapa persentase dimensi *bucket* setelah optimasi desain?
4. Berapa hasil pengujian statik *bucket* setelah optimasi desain?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari analisa kekuatan dan optimasi desain pada komponen *bucket* Pindad Excava 200 dengan Metode Elemen Hingga adalah:

1. Mengetahui ukuran dimensi desain *bucket*.
2. Mengetahui nilai pengujian statik pada desain *bucket*.
3. Mengetahui ukuran dimensi desain *bucket* setelah optimasi.
4. Mengetahui nilai pengujian statik pada desain *bucket*.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Komponen alat berat yang dianalisis yaitu *bucket* Pindad Excava 200.
2. *Attachment* komponen dianggap solid atau pejal.
3. Pengambilan data dilakukan dengan datang langsung ke *workshop* perawatan alat berat Cupuwatu BBWS Serayu Opak.
4. Material yang digunakan menggunakan Hardox 400
5. Analisa dan optimasi topologi menggunakan fitur simulasi statik serta topologi struktur yang terdapat *software* Solidworks.
6. Parameter yang dikontrol adalah pengurangan massa dengan persentase 16%.

1.5 Manfaat penelitian

1.5.1 Manfaat untuk peneliti

Adapun manfaat dari penelitian ini untuk peneliti, yaitu:

1. Untuk mempermudah dan mempercepat hasil perhitungan karena hasil didapat menggunakan komputasi.
2. Mendapatkan hasil tegangan maksimum pada komponen *bucket* yang akan dibandingkan dengan tegangan ijin dari material.

3. Mendapatkan hasil massa setelah optimasi desain dengan fitur *topology study* yang ada pada *software Solidworks*.

1.5.2 Manfaat Untuk Masyarakat/Perusahaan

Manfaat dari penelitian ini bagi masyarakat, yaitu:

1. Mendapatkan ilmu pengetahuan tentang optimasi dan analisa tegangan komponen *bucket*.
2. Menghasilkan data yang dapat dipergunakan bagi operator maupun *maintenance*.
3. Dapat digunakan untuk perancangan yang lebih lanjut dalam mengoptimalkan desain *bucket*.

1.5.3 Manfaat Untuk Universitas

Manfaat dari penelitian ini bagi universitas, yaitu:

1. Hasil penelitian ini dapat dipergunakan sebagai referensi untuk penelitian yang akan datang.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan inovasi yang berbeda yang berhubungan dengan *excavator*.

BAB II

KAJIAN PUSATAKA

2.1 Alat Berat

Alat Berat atau *heavy equipment* merupakan alat yang di gunakan oleh manusia untuk membantu meringankan pekerjaan yang berat, misal penggalian tanah, konstruksi jalan, bangunan, perkebunan, industri, dan pertambangan. Keberadaan alat berat dalam setiap pekerjaan sangatlah penting guna menunjang jalannya suatu proyek atau pekerjaan pembangunan infrastruktur maupun dalam mengeksplorasi hasil tambang. Banyak keuntungan yang diperoleh dalam menggunakan alat berat seperti efisiensi waktu yang lebih cepat, efisiensi tenaga yang lebih besar, dan nilai-nilai ekonomis dan lainnya.

Setiap proyek konstruksi memerlukan alat berat untuk beberapa jenis pekerjaan, namun tidak mencakup semua jenis alat berat yang ada. Jenis-jenis proyek yang pada umumnya menggunakan alat berat adalah proyek gedung, pelabuhan, jembatan, jalan, irigasi dan lain-lain. Kesalahan pemilihan alat berat dapat mengakibatkan proyek tidak berjalan lancar, sehingga dapat mengakibatkan kebutuhan biaya yang akan membengkak, produktifitas yang kecil dan tenggang waktu yang di butuhkan untuk pengadaan alat berat yang tidak sesuai bahkan lebih lama. Adapun faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan penggunaan alat berat adalah lokasi dan jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan, fungsi dan jenis alat berat yang akan digunakan seperti untuk menggali, mengangkut, menggsur, meratakan(Sokop et al., 2018).

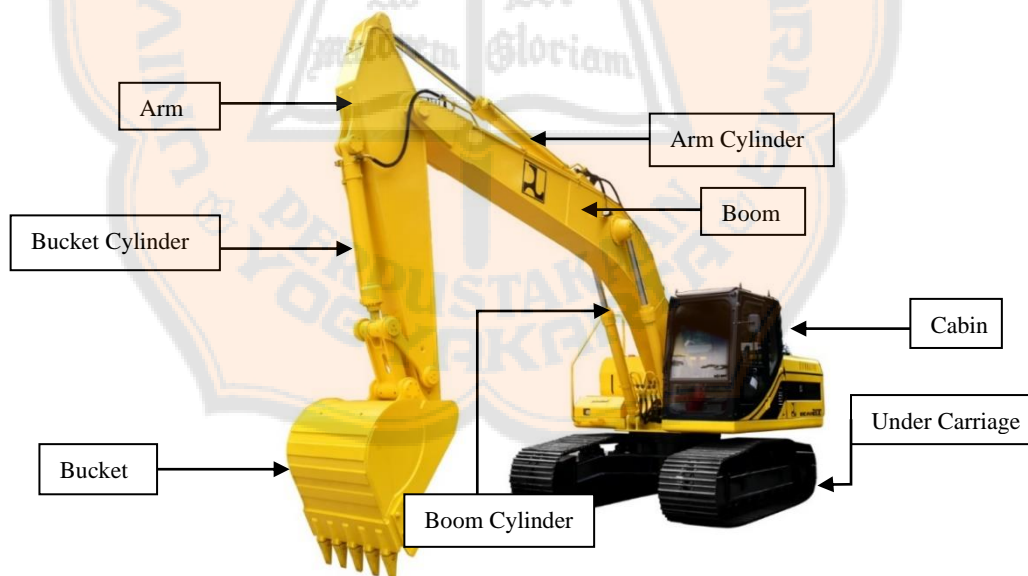
Pengelompokan alat berat dibagi menjadi 2 yaitu berdasarkan penggeraknya (*Prime-Mover*) dan berdasarkan fungsi. *Primer-mover* merupakan penggerak utama alat berat, seperti halnya kendaraan dapat bergerak maju/ mundur dalam kecepatan tertentu. *Prime-mover* beroperasi disesuaikan dengan fungsi *Attachment* yang terpasang. *Attachment* adalah peralatan yang terpasang pada alat berat. Dimana bentuk dan konstruksi disesuaikan dengan tujuan penggunaan di lapangan atau medan yang akan diterjuni oleh alat berat yang bersangkutan(Suparyanto & Rosad, 2015). Berdasarkan fungsi, pemilihan alat berat ditentukan mengikuti jenis pekerjaan contohnya alat pengolah lahan, alat

penggali, alat pengangkut material, alat pemindah material, alat pemadat, alat pengolah material, alat penempatan akhir material, dan lain sebagainya.

2.1.1 Excavator

Excavator adalah alat berat dan biasanya digunakan untuk penggalian material di bawah permukaan tanah atau dibawah tempat kedudukan alatnya (Suryo & Yuniarto, 2020). *Excavator* merupakan mesin serbaguna yang dapat digunakan dalam operasi seperti menggali, tanah meratakan, membawa beban, dan mengangkat beban. Sebagian besar waktu, *excavator* diperlukan untuk melaksanakannya tugas yang melibatkan kontak dengan lingkungannya, seperti meratakan dan menggali (Tafazoli et al., 2002).

Alat ini digerakkan oleh mesin yang ada di bagian atas *track shoe* atau roda rantainya. Alat berat satu ini adalah yang sangat serbaguna serta sanggup menangani berbagai pekerjaan alat lain. Tapi pekerjaan utama alat ini adalah menggali, memuat material ke dalam *dump truck (loading)*, menciptakan kemiringan (*sloping*), memecahkan batu (*breaker*).



Gambar 2. 1 Pindad Excava 200 (sumber: <https://pindad.com/excava200>)

Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1 *Excavator* sendiri tersusun dari beberapa komponen penting seperti *bucket*, *bucket cylinder*, *arm*, *arm cylinder*, *boom*, *boom cylinder*, *cabin*, dan *undercarriage*. *Bucket* merupakan komponen yang berfungsi sebagai alat keruk atau alat penggali. *Bucket cylinder* sebagai salah satu komponen *excavator* yang berperan sebagai *power silinder* pada mekanisme hidrolis *excavator* yang bermanfaat untuk mengatur pergerakan *bucket* atau dengan kata lain karena adanya *bucket cylinder*, *bucket* bisa berayun sesuai kontrol operator. *Arm* adalah komponen yang berperan sebagai gagang atau lengan dari *bucket* dan juga sebagai tempat penempatan komponen lainnya. Selain itu *arm* juga berfungsi untuk memperluas jangkauan kerja *excavator*. *Arm cylinder* berperan untuk mengatur pergerakan *arm* dengan menggunakan mekanisme hidrolis. *Boom* merupakan komponen yang berperan sebagai gagang yang menyambungkan *arm* dengan *excavator*. *Boom* terbuat dari baja yang memiliki ukuran besar dan tebal guna meredam beban *arm*, *bucket*, serta beban material yang diangkat *bucket*. *Boom cylinder* berperan sebagai *power silinder* untuk gerakkan *boom* naik dan turun dan menambah kecepatan jarak capai *bucket*. *Undercarriage* atau disebut juga sebagai kerangka bawah merupakan bagian dari sebuah *excavator* yang mempunyai fungsi untuk menopang dan meneruskan beban unit ke tanah, bersama dengan system *steering* dan rem mengarahkan unit untuk bergerak maju, mundur, kanan, dan kiri, Sebagai pembawa dan pendukung unit. *Cabin* berperan sebagai ruangan atau tempat kemudi *excavator*. Dalam *cabin* terdapat berbagai kontrol untuk menggerakkan *excavator*.

2.1.2 Bucket

Bucket merupakan salah satu bagian yang paling penting pada *attachment excavator*. *Bucket* merupakan komponen *excavator* yang akan bersentuhan langsung dengan material saat melakukan pekerjaan seperti menggaruk, menggali atau mengangkat. *Bucket* sendiri berbentuk seperti keranjang besi yang memiliki jari-jari di ujungnya. Dalam melakukan kegiatan penggalian, banyak hal yang mempengaruhi *bucket* dalam pencapaian produksi, diantaranya:

1. Faktor alat

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi penggalian atau kapasitas penggalian *bucket excavator backhoe* adalah:

- a. Karakteristik material *bucket*.
- b. Kecepatan penggalian.
- c. Desain kapasitas dan bentuk *bucket*.
- d. Jumlah dan bentuk gigi *bucket*.

2. Faktor alam

Faktor alam yang dapat mempengaruhi produktivitas *bucket excavator* dalam melakukan pekerjaan seperti berikut:

a. Kekerasan Material

Kekerasan material mempengaruhi produktivitas karena semakin ringan kerja *bucket*, maka semakin besar produksi yang dicapai. Jenis material ini akan sangat berpengaruh terhadap konstruksi *bucket* karena saat menggali material keras ini akan terjadi vibrasi tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi *bucket*. Agar tidak terjadi vibrasi tinggi maka kecepatan penggalian harus dikurangi untuk menurunkan vibrasi.

b. Kelengketan material (*sticky material*)

Jenis material lengket akan menyebabkan tanah galian yang telah masuk ke dalam *bucket* tidak tumpah ke tempat yang di sediakan, tetapi akan jatuh ke lantai lain atau ikut menempel bersama *bucket* sehingga pada pengisian berikutnya *bucket* tidak terisi penuh. Hal ini berpengaruh pada kapasitas material yang dapat diangkat oleh *bucket* itu sendiri.

c. *Material abrasive*

Material abrasive ini akan berpengaruh terhadap kecepatan ausnya *bucket teeth*. Akibatnya, maka pengerukan yang dilakukan *bucket teeth* tidak bisa terlalu dalam sehingga pengisian *bucket* menjadi rendah.

d. *Selective mining*

Merupakan sistem penggalian dengan cara memilih lapisan tanah yang akan dikeruk oleh *bucket*, contoh dimana prinsip *selective mining bucket* yaitu dengan melakukan penggalian batubara yang bagian atasnya terhadap lapisan tanah penutup yang tipis akibat sisa penggalian *bucket* pada lapisan atasnya.

e. Kondisi permukaan kerja

Kondisi permukaan kerja yang dihadapi adalah hal yang menyangkut geometri blok penggalian. Kondisi permukaan kerja ini merupakan suatu pola dimana *bucket* dapat bekerja dengan leluasa, aman, dan sesuai kemampuan tanpa terhambat oleh kondisi tempat kerja.

f. Kemampuan Operator

Kemampuan operator juga merupakan faktor sangat berpengaruh pada penggalian adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan operator untuk membatasi sudut ayunan (*slewing*) dan pembalikan arah ayun.
2. Keahlian operator dalam berpindah *slice* sehingga angka pengisian *bucket* tetap tinggi
3. Kemampuan operator dalam meng-*inching* (mengatur ketebalan sayatan) sehingga tidak terjadi *overload* atau *bucket* kurang penuh.

2.2 Sistem Gaya

Dalam melakukan pekerjaan excavator membutuhkan gaya untuk menggerakkan komponen-komponen yang ada. Gaya adalah suatu kekuatan yang mengakibatkan benda yang dikenainya akan mengalami perubahan posisi. Gaya mewakili aksi satu benda pada benda lain dan umumnya dicirikan oleh titik penerapan, besar, dan arah. Namun, gaya yang bekerja pada partikel tertentu memiliki titik penerapan yang sama (Beer et al., 1987). Gaya ini dapat beraksi melalui suatu kontak langsung atau dari jarak tertentu, seperti misalnya pada gaya gravitasi dan gaya magnetik. Gaya juga dapat diuraikan menjadi komponen vertikal dan horizontal atau mengikuti sumbu x dan y.

1. Hukum 3 Newton

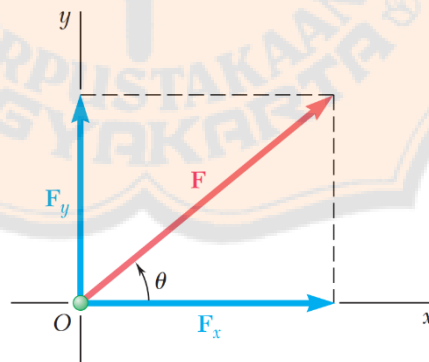
Gaya aksi dan reaksi antara benda yang berhubungan mempunyai besar dan garis aksi yang sama dan berlawanan arah. Jadi hukum newton 3 memiliki beberapa syarat yaitu besar gayanya sama, arahnya berlawanan, dan bekerja pada benda yang berbeda.

2. Hukum Transmisibilitas Gaya (hukum garis gaya)

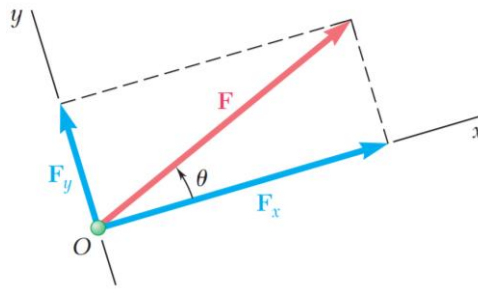
Prinsip ini menyatakan bahwa kondisi keseimbangan atau gerak suatu benda tegar tidak akan berubah apabila gaya yang beraksi pada suatu titik diganti dengan gaya yang lain yang sama besar dan arahnya, tetapi bereaksi pada suatu titik yang berbeda, asalkan kedua gaya tersebut terletak suatu garis aksi yang sama.

3. Komponen Tegak Lurus Suatu Benda

Dalam banyak persoalan cara menguraikan gaya dalam dua komponen tegak lurus akan mempermudah penyelesaiannya. Pada Gambar 2.7 gaya F diuraikan dalam komponen F_x sepanjang sumbu x dan F_y sepanjang sumbu y . Sumbu-sumbu x dan y biasanya dipilih horizontal dan vertikal, seperti pada Gambar 2.7, meskipun dapat pula dipilih setiap arah tegak lurus yang lain, seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 2 Komponen Tegak Lurus
(Sumber: *Statics and dynamics*, P. Beer)



Gambar 2. 3 Komponen Tegak Lurus

(Sumber: *Statics and dynamics*, P. Beer)

Dengan menuliskan F sebagai harga suatu gaya F , sudut antara F dan sumbu x dan F_x serta F_y menyatakan harga komponen F_x dan F_y , diperoleh persamaan berikut:

$$F_x = F \cos \theta \quad (2.1)$$

$$F_y = F \sin \theta \quad (2.2)$$

Harga F_x dan F_y dari komponen F disebut komponen skalar F , sedangkan gaya F_x dan F_y disebut komponen vektor dari F . Bila ternyata tidak ada kemungkinan kekeliruan antara komponen vektor dan skalar dari F , maka komponen tersebut dapat disebut komponen dari F .

2.2.1 Kesetimbangan Benda Tegar

Sebuah benda tegar dalam keseimbangan jika gaya luar yang beraksi padanya membentuk sistem gaya ekuivalen dengan nol, ini berarti sistem yang tidak mempunyai resultan gaya dan resultan kopel. Syarat dalam kesetimbangan benda tegar dapat dinyatakan:

$$\sum F_x = 0 \quad (2.3)$$

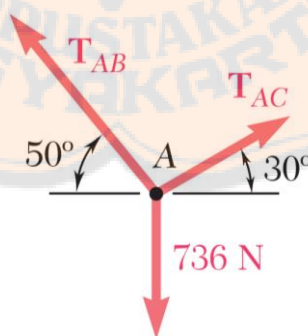
$$\sum F_y = 0 \quad (2.4)$$

$$\sum F_a = 0 \quad (2.5)$$

Karena arah sumbu koordinat dan kedudukan titik A dapat dipilih sembarang, persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) menunjukkan bahwa gaya luar yang beraksi pada benda agar tidak menimbulkan gerak translasi pada benda itu dan tidak menyebabkan rotasi pada titik manapun. Aksi setiap gaya luar individual ditiadakan oleh aksi gaya lainnya dari sistem itu dan dikatakan orang bahwa gaya luar seimbang (Beer et al., 1987).

2.2.2 Diagram Benda Bebas (Free Body Diagram)

Diagram benda bebas merupakan metode analisis yang berlaku untuk sistem gaya yang bekerja pada sebuah partikel. Sejumlah besar masalah yang melibatkan struktur aktual, dapat dikurangi menjadi masalah tentang kesetimbangan partikel. Ini dilakukan dengan memilih partikel dan diagram terpisah yang menunjukkan partikel ini dan semua gaya yang bekerja padanya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9

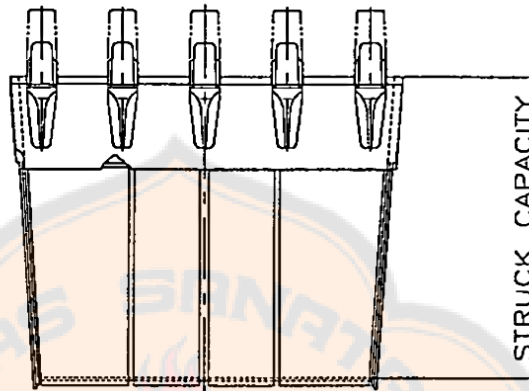


Gambar 2. 4 *Free Body Diagram*

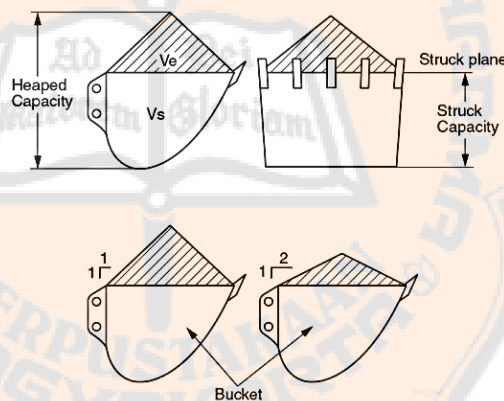
2.2.3 Kapasitas Bucket

Kapasitas *Bucket* adalah volume material yang dapat diangkut oleh *bucket*. Hitungan kapasitas *bucket* yang sering digunakan adalah menggunakan standard *Society of Automotive Engineers (SAE)* atau *Community of European*

Construction Equipment (CECE). Namun demikian, ada pula yang menggunakan standard lain seperti *Japanese Industrial Standard (JIS)* dan *Power Crane and Shovel Association (PCSA)*. Kapasitas *bucket* bisa diukur dalam kapasitas normal atau kapasitas timbunan (Patel & Prajapati, 2012).



Gambar 2. 5 Struck Capacity



Gambar 2. 6 Heaped Capacity

Adapun istilah yang sering digunakan berkaitan dengan kapasitas *bucket* adalah sebagai berikut:

1. *Struck capacity* (V_s)

Struck Capacity adalah kapasitas *bucket* pada kondisi material rata sampai batas *side plate*, dapat dilihat pada Gambar 2.10. *Struck capacity* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_s = P_{area} \left(\frac{(W_f + W_r)}{2} \right) \quad (2.6)$$

2. *Excess Material Capacity Heaped* (V_e)

Excess Material Capacity Heaped merupakan timbunan material yang sudah melebihi kapasitas standar *bucket*. Timbunan ini biasanya membentuk piramid diatas *struck capacity bucket* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. *Excess Material Capacity Heaped* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_e = \left(\frac{L_b W_f^2}{4} - \frac{W_f^3}{12} \right) \quad (2.7)$$

3. *Heaped Capacity* (V_h)

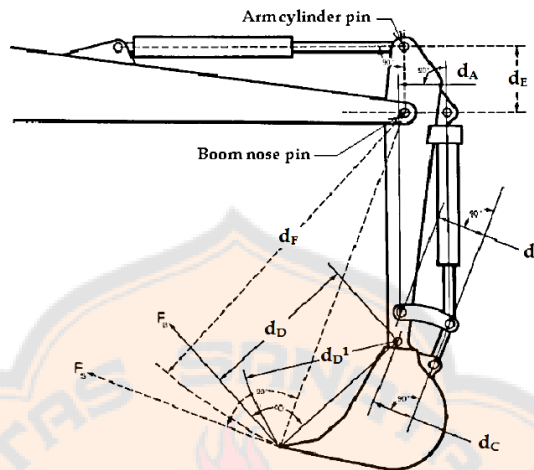
Heaped capacity atau kapasitas maksimum *bucket* merupakan gabungan dari *struck capacity* dengan *Excess Material Capacity Heaped* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Perhitungan *Heaped capacity* dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$V_h = V_s + V_e \quad (2.8)$$

2.2.4 Bucket Digging Force

Penetrasi *bucket* ke dalam tanah akan menghasilkan gaya yaitu *bucket curling force* (F_b) dan *arm crowd force* (F_s). Tingkat dari gaya-gaya tersebut telah ditetapkan oleh standar SAE J1179 " *Surface Vehicle Standards - Hydraulic Excavator and Backhoe Digging Forces*" ("Surface Vehicle Standard," 1990). Gaya tersebut dinilai dari gaya yang diberikan oleh bagian paling ujung pada *excavator* (*bucket teeth*). Nilai ini dapat dihitung dengan memfungsikan tekanan hidrolik silinder pada proses penggalian.

Pada gambar 2.12 terlihat bahwa *bucket* digerakkan oleh *cylinder bucket* untuk melakukan operasi *digging*. *Bucket digging force* (F_b) terjadi akibat adanya gaya reaksi pada saat kontak antara ujung *bucket* dengan permukaan tanah.



Gambar 2. 7 Mekanisme gaya penggalian (McKyes, 1985)

Gambar 2.12 menunjukkan pengukuran *Bucket Curling Force* dan *Arm Crowd Force*. Perhitungan *bucket curling force* dan *arm crowd force* dapat menggunakan persamaan berikut (“Surface Vehicle Standard,” 1990).

$$F_B = \frac{\text{Bucket Cylinder Force} \left(\frac{d_A \times d_C}{d_B} \right)}{d_D} \quad (2.9)$$

Dimana, *Bucket Cylinder Force* = (*Working pressure*) × (*End area of bucket cylinder*) Jika diameter ujung *bucket cylinder* = D_B (mm), *Working pressure* p (MPa) dan jarak lainnya dalam mm maka dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$F_B = \frac{p \times \left(\frac{\pi}{4} \right) D_B^2 \left(\frac{d_A \times d_C}{d_B} \right)}{d_D} \quad (2.10)$$

Maksimum *Tooth Force* adalah *digging force* yang dihasilkan oleh *arm cylinder* yang bersinggungan dengan busur dengan jari-jari d_F . *arm* harus diposisikan untuk memperoleh momen keluaran maksimum dari *arm cylinder* dan

bucket diposisikan dalam keadaan gaya maksimum dari *bucket curl* (*max bucket tangential force*). Menghitung maksimum force FS dapat menggunakan persamaan berikut (“Surface Vehicle Standard,” 1990):

$$F_S = \frac{p \times (\pi/4) D_A^2 \times d_E}{d_F} \quad (2.11)$$

2.3 Solidworks

Solidworks adalah *software* atau aplikasi CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Aided Manufactur*) serta CAE (*Computer Aided Engineering*) yang dikembangkan oleh perusahaan ternama Dassault Systems. *Solidworks* dikembangkan oleh lulusan MIT Jon Hirschtick dan dibeli oleh Dassault Systems pada tahun 1997. Perangkat lunak ini sekarang mencakup sejumlah program yang dapat digunakan untuk desain 2D dan 3D. *Solidworks* dapat membantu dalam proses desain produk dengan menyediakan berbagai alat untuk membuat gambar 3D dan simulasi. Gambar 3D yang dibuat dengan *Solidworks* dapat digunakan untuk menghasilkan prototipe fisik yang tepat. Alat lain yang tersedia di *Solidworks* termasuk pemodelan, animasi, visualisasi, dan simulasi. Ini memungkinkan para desainer untuk menguji produk sebelum memproduksinya, sehingga meminimalkan risiko dan kesalahan. *Solidworks* juga memungkinkan desainer menggunakan teknologi untuk membuat desain lebih kompleks dan kreatif. Fitur-fitur seperti pemodelan parametrik memungkinkan desainer untuk mengganti parameter seperti ukuran, bentuk, dan warna, tanpa mengubah keseluruhan desain. Ini memungkinkan desainer untuk membuat produk yang lebih fleksibel dan kustom.

Perangkat lunak *Solidworks* selain dapat digunakan mendesain komponen tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan berbagai pengujian dan pengoptimalan desain. *Solidworks* memiliki fitur yang memungkinkan desainer untuk membuat produk yang lebih aman dan efisien. Fitur seperti Analisis FEM (*Finite Element Method*) memungkinkan desainer untuk menguji kinerja produk dengan menggunakan simulasi mekanik dan elektronik. Ini memungkinkan desainer untuk mengetahui bagaimana produk akan berperilaku di bawah berbagai kondisi operasi. Ada beberapa jenis pengujian pada fitur *Solidworks* yaitu *static*

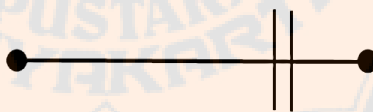
analysis, buckling analysis, fatigue analysis, vibration analysis, dan lain sebagainya.

2.3.1 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik untuk memecah masalah kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima oleh rekayasawan (Robert D. Cook). Dalam proses desain akan sangat dibutuhkan metode elemen hingga untuk menyelesaikan permasalahan teknik maupun matematis. Pada dasarnya komputer tidak mampu menghitung komputasi secara eksak dan hanya melakukan pendekatan-pendekatan dengan memecah model menjadi elemen-elemen kecil contohnya $2+2=4$ (hasil eksak), maka komputer menghitung dengan menggunakan pendekatan $1,8+1,9=3,7$ (pendekatan dengan nilai 4). Dalam penggunaan metode elemen hingga, secara garis besar metode elemen hingga dibedakan menjadi tiga jenis yaitu elemen beam (1 dimensi), elemen shell (2 dimensi), dan elemen solid (3 dimensi).

1. Elemen *beam* (1 dimensi)

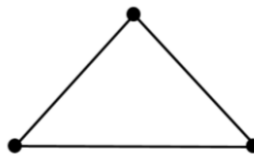
Elemen ini terdiri dari dua nodal (titik) dan satu penghubung, setiap nodal memiliki enam derajat kebebasan yaitu 3 translasi, dan 3 rotasi yang memungkinkan untuk melihat gaya reaksi dan momen reaksi, seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 8 Elemen Beam (1 dimensi)

2. Elemen *shell* (2 dimensi)

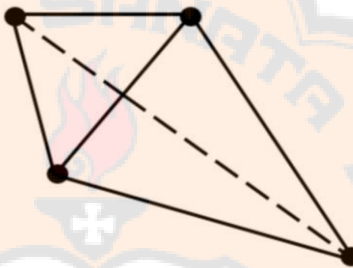
Elemen ini terdiri dari tiga nodal (titik) dan dua penghubung, setiap nodal memiliki enam derajat kebebasan yaitu 3 translasi, dan 3 rotasi yang memungkinkan untuk melihat gaya reaksi dan momen reaksi, seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 9 Elemen Shell (2 dimensi)

3. Elemen solid (3 dimensi)

Elemen ini terdiri dari empat nodal (titik) dan enam penghubung, setiap nodal memiliki tiga derajat kebebasan yaitu 3 translasi yang memungkinkan hanya melihat gaya reaksi, penggunaan elemen ini untuk geometri yang memiliki bentukan yang kompleks.



Gambar 2. 10 elemen solid (3 Dimensi)

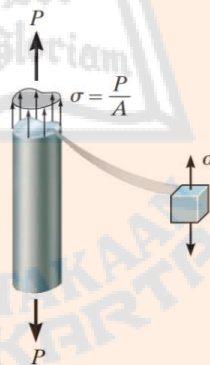
Gambar 2.15 diatas menjelaskan setiap komponen akan dipecah menjadi elemen-elemen kecil yang terdiri dari nodal (titik) dan penghubung yang membentuk atau menyusun secara keseluruhan komponen, kemudian dalam metode elemen hingga setiap pergerakan nodal akan dihitung dan dijumlahkan sehingga menghasilkan bilangan yang diinginkan misalnya tegangan dan deformasi

2.3.2 Analisis Statik

Analisa statik merupakan salah satu fitur yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan suatu komponen pada saat diberi beban yang sifatnya statik. Pada fitur analisa statik akan memunculkan hasil yang akan dapat mengetahui kemampuan suatu komponen setelah dilakukan simulasi, hasil atau data yang akan didapat yaitu tegangan (*stress*), simpangan (*displacement*), dan regangan (*strain*). Indikator seberapa besar kemampuan suatu komponen adalah hasil tegangan pada simulasi statik masih dibawah kriteria kekuatan luluh material (*yield strength*), sehingga komponen tidak mengalami deformasi atau patah (Raharjo, 2020).

1. Tegangan (*Stress*)

Pada konsep mekanika kekuatan material, tegangan merupakan gaya per tiap satuan luas dengan satuan N/mm², konsep ini didapat ketika melakukan pengujian tarik, gaya pada Gambar 2.8 sebesar P, pada bagian potongan dapat dilihat akan menimbulkan tegangan (*stress*) yang berlawanan arah dari gaya P dan disimbolkan sigma (σ) (Raharjo, 2020).



Gambar 2. 11 Konsep Tegangan
(Sumber: Mechanics of Material, R.C. Hibbeler)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.12)$$

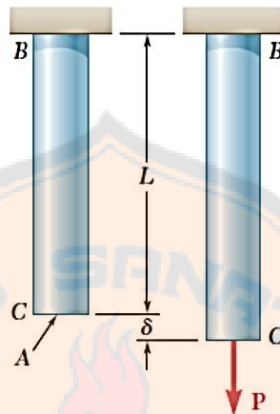
Keterangan:

F = gaya (N)

A = Luas permukaan yang dikenakan gaya (m²)

2. Regangan (*strain* dan simpangan)

Material pada saat dilakukan pengujian tarik akan mengalami yang namanya pertambahan panjang atau disebut deformasi dan mengalami regangan yaitu pertambahan panjang atau deformasi dibagi panjang awal spesimen uji tarik, seperti pada Gambar 2.9 dimana spesimen ditarik gaya sebesar P.



Gambar 2. 12 Konsep regangan
(Sumber: Mechanics of Material, R.C. Hibbeler)

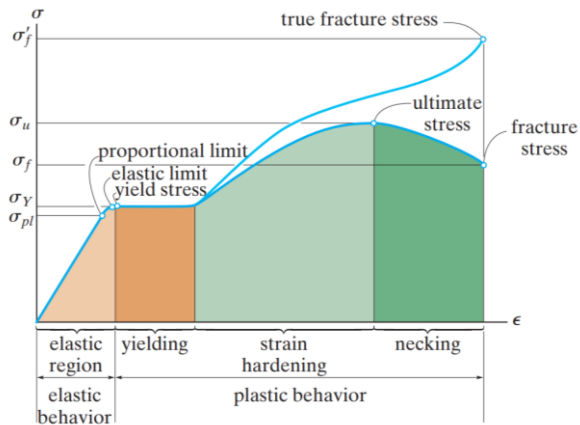
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \tag{2.13}$$

Keterangan:

- ε = regangan
- δ = deformasi total (m)
- L = panjang awal (m)

3. Kekuatan luluh

Kekuatan luluh material merupakan seberapa besar kekuatan material pada saat menahan beban sebelum mengalami deformasi plastis, artinya masih dalam daerah kurva elastis.



Gambar 2. 13 Grafik tegangan vs regangan material ulet
(Sumber: Mechanics of Material, R.C. Hibbeler)

Gambar 2.18 menunjukkan pada *elastic region* material ini dikatakan elastis linier. Batas *stress* atas untuk ini hubungannya linier disebut *proportional limit* atau batas proporsional, jika tegangan sedikit melebihi batas kurva proporsional, maka kurva cenderung menekuk dan mendatar seperti pada gambar diatas. Setelah mencapai titik ini jika beban dilepas, spesimen ini akan kembali ke bentuk semula. Sedikit peningkatan tegangan di atas batas elastis, maka material akan mengalami kerusakan yang menyebabkan deformasi secara permanen. Perilaku ini disebut luluh, karena pada kurva ini mengalami deformasi plastis. Saat peluluhan telah berakhir, maka peningkatan beban dapat didukung oleh spesimen yang menghasilkan kurva yang naik secara terus menerus, sehingga mencapai tegangan maksimum atau disebut *ultimate stress* yang disebut sebagai tegangan akhir. Sampai pada tekanan akhir spesimen akan mengalami perubahan luas penampang pada saat kurva *necking*. Penurunan ini cukup seragam di atas panjang ukuran seluruh spesimen.

4. Faktor keamanan

Faktor keamanan merupakan acuan aman atau tidaknya komponen yang kita desain, yang menjadi acuan dalam faktor keamanan diantaranya kekuatan luluh material yang dapat dilihat pada kurva tegangan dan regangan beserta tegangan yang timbul akibat pembebanan (Raharjo, 2020), dengan persamaan:

$$Factor\ of\ Safety = \frac{Yield\ stress}{tegangan\ normal} \quad (2.14)$$

Semakin besar nilai dari faktor keamanan, maka semakin aman desain yang telah dibuat, tetapi jika nilai faktor keamanannya berkisar antara 0 dan 1, maka desain tidak aman. Dalam faktor keamanan terdapat besaran yang digunakan berdasarkan jenis bebannya (Budynas & Nisbett, 2015)

- a. Beban statik: 1,25 – 2
- b. Beban dinamis: 2 – 3
- c. Beban kejut: 3 – 5

2.3.3 Optimasi Topologi

Optimasi topologi adalah metode matematis yang mengoptimalkan tata letak material dalam ruang desain tertentu, untuk serangkaian beban, kondisi batas, dan kendala tertentu dengan tujuan memaksimalkan kinerja sistem. Teori optimasi sangat banyak dan beragam antara lain yaitu *Solid Isotropic Microstructure with Penalization (SIMP)*, *Evolutionary Method*, *Commercial Evolutionary Implementation*, dari semua teori optimasi dapat disimpulkan sebagai berikut. Bahwa optimasi topologi dalam FEM (*Finite Element Method*) akan membuang sejumlah massa, yang tidak dibutuhkan melalui elemen dari analisis baik di kecilkan ukuran elemen atau dihilangkan jumlah elemennya untuk meningkatkan efisiensi *layout* atau disebut *Rejection Ratio (RR)*. Elemen yang memiliki nilai berada jauh dari kriteria kritis atau masih dikatakan aman akan dihilangkan atau diminimalkan, sedangkan nilai elemen yang memiliki nilai kritis yang paling tinggi akan dipertahankan. Keseluruhan komponen hanya terdapat elemen dengan nilai kritis saja, sehingga massa lebih ringan namun mampu menahan dengan beban kritis tersebut.

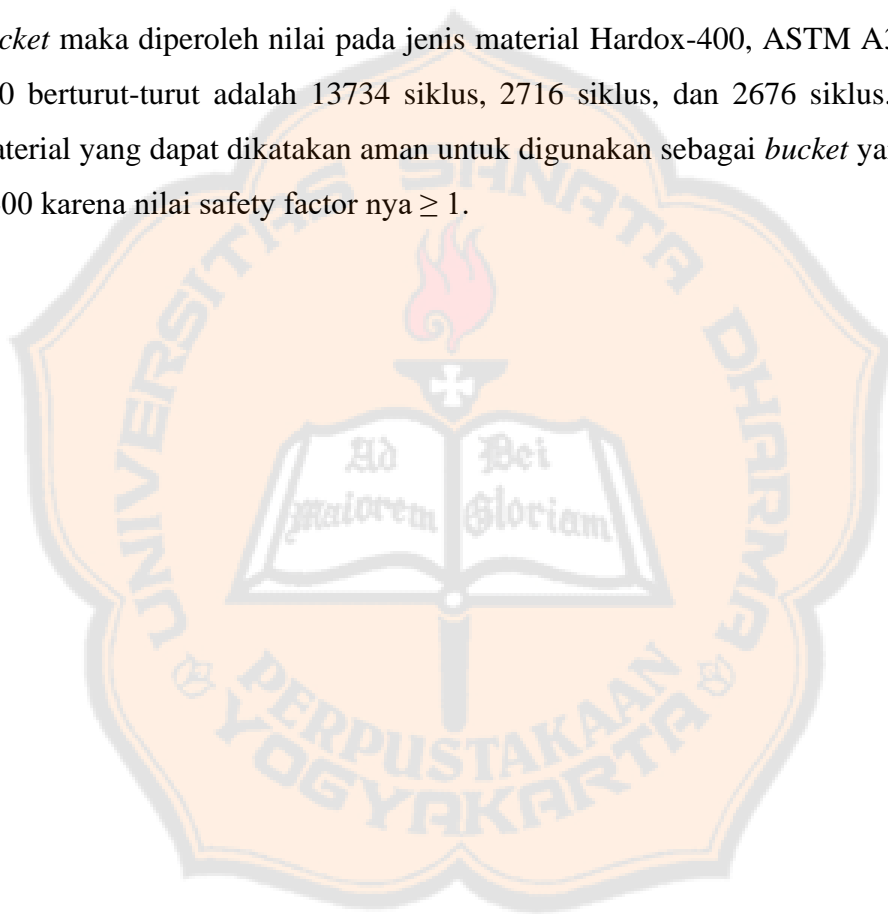
2.4 Penelitian terdahulu

Sumar Hadi, Bayuseno, Jamari, Rachmat Muhamad Andika dan Kurnia Chamid (2018) meneliti tentang desain dan analisis trapezoidal *bucket excavator* backhoe menggunakan metode FEA (*finite element analysis*). *Software* yang digunakan untuk desain menggunakan *Solidworks* analisis menggunakan ANSYS R15.0. penelitian ini menekankan pada pengembangan yang dilakukan pada ujung gigi *bucket excavator* berdasarkan perhitungan dan simulasi ANSYS dengan hasil tegangan geser maksimum yaitu sebesar 50,437 Mpa dengan tingkat deformasi maksimum yang ditemukan pada bagian *bucket head excavator*.

Aidil Rahman, Sumar Hadi Suryo, Bambang Yuniarto (2022) melakukan penelitian tentang Optimasi Desain Dan Analisis Tegangan *Bucket Excavator* Cat 390f L Menggunakan Metode Topologi Dan Elemen Hingga. Optimasi dilakukan dengan pemodelan *bucket* dan menganalisis tegangan menggunakan metode elemen hingga kemudian pengoptimasian menggunakan metode topologi. Hasil penelitian didapatkan distribusi gaya yang berpengaruh pada *bucket excavator* yang ada pada ujung *bucket teeth* (A4), *idler point* (A11) dan *hinge point* (A3). Nilai tegangan *von mises* pada jenis material ASTM-A36, AISI-1045, dan HARDOX-400 adalah 296,1 MPa, 291,7 MPa, dan 291,5 MPa. Nilai *displacement* pada jenis material ASTM-A36, AISI-1045, dan HARDOX-400 adalah 13,91 mm, 14,02 mm, 13,34 mm. Nilai *safety factor* pada jenis material ASTM-A36, AISI-1045, dan HARDOX-400 adalah 0,84, 1,06, dan 3,43. Setelah dilakukan optimasi topologi, didapatkan tegangan maksimum *von mises* pada variasi pertama 296, 2 MPa, sedangkan pada variasi kedua 293, 2 MPa. Nilai dari tegangan yang terjadi pada kedua desain dapat dinyatakan aman. Didapatkan juga penurunan massa pada desain variabel pertama menjadi 4492, 48 kg dan pada desain variabel kedua 4532, 46 kg.

Hosea Sutan M. Hutagalung, Sumar Hadi Suryo, Bambang Yuniarto (2022) melakukan penelitian tentang evaluasi kapasitas *bucket* dan analisis gaya statis pada mini hidrolis backhoe *excavator* cat 302-cr. Analisis tegangan *Bucket* menggunakan metode elemen hingga kemudian dilanjutkan dengan melakukan evaluasi untuk mengetahui nilai *safety factor* dan melakukan simulasi untuk mendapatkan umur kelelahan (*Life Cycle Fatigue*) dari *bucket*. Hasil penelitian ini

didapatkan distribusi gaya yang berpengaruh pada *bucket excavator* yang ada di 3 titik, yaitu ujung *bucket teeth* (A4), *idler point* (A11) dan *Hinge point* (A3). Nilai tegangan (*von mises*) pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 401,02 MPa, 399,41 MPa 401,32 MPa. Nilai *displacement* pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 1,2212 mm, 1,2212 mm, 1,2278 mm. Sedangkan nilai *safety factor* pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 2,54, 0,61, dan 0,58. Dan setelah dilakukan simulasi untuk mendapatkan umur kelelahan dari *bucket* maka diperoleh nilai pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 13734 siklus, 2716 siklus, dan 2676 siklus. Sehingga material yang dapat dikatakan aman untuk digunakan sebagai *bucket* yaitu Hardox - 400 karena nilai *safety factor* nya ≥ 1 .

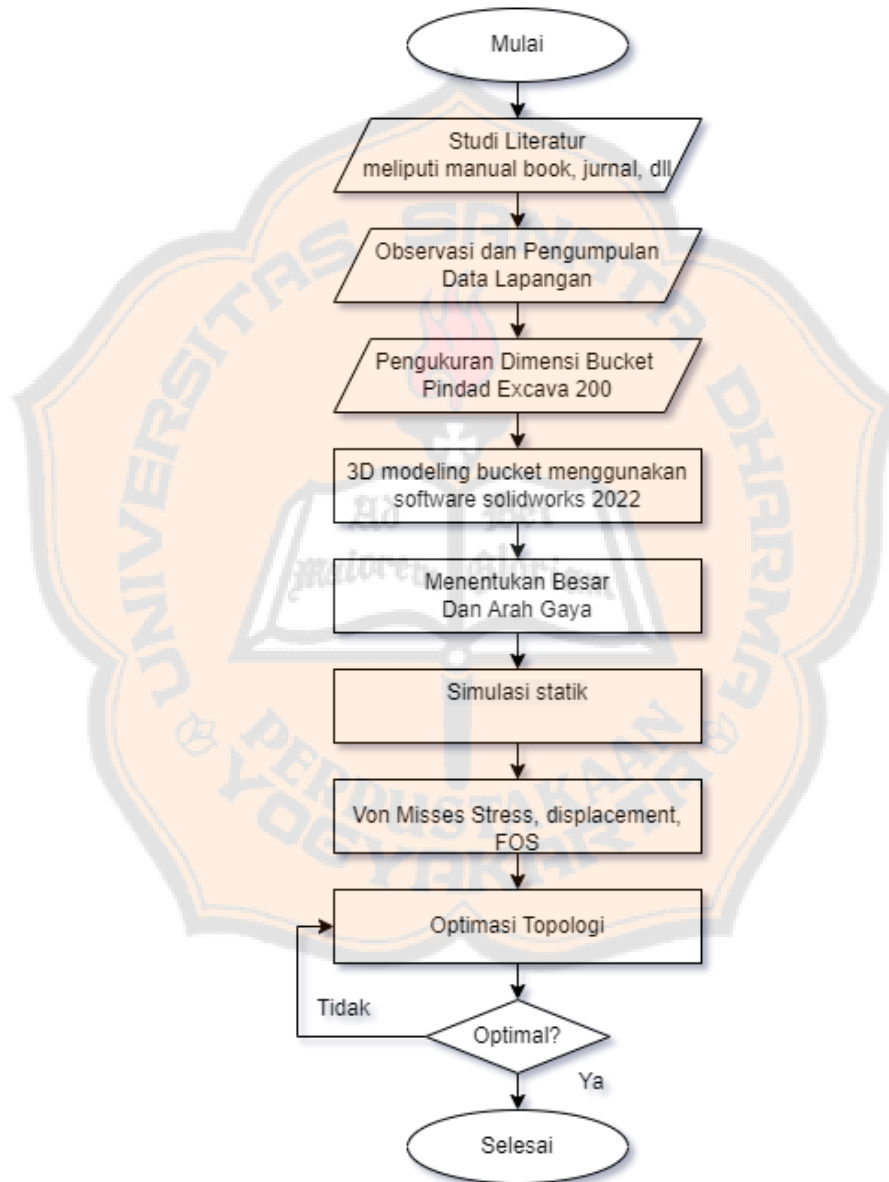


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada *bucket Excavator* tipe Pindad Excava 200 ketika diberikan pembebanan statik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. *Bucket Excavator* harus cukup kuat untuk bekerja dengan andal dalam kondisi kerja yang berat. Biasanya *Bucket Excavator* bekerja di bawah gerakan siklik selama proses penggalian. Karena sifat pekerjaan yang berulang ini, tegangan siklik dapat terjadi pada beberapa bagian Excavator. Tingkat tegangan yang tinggi, mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada *Bucket* itu sendiri, sehingga hal ini dapat mengurangi produktifitas dari Excavator (Rahman et al., 2022).

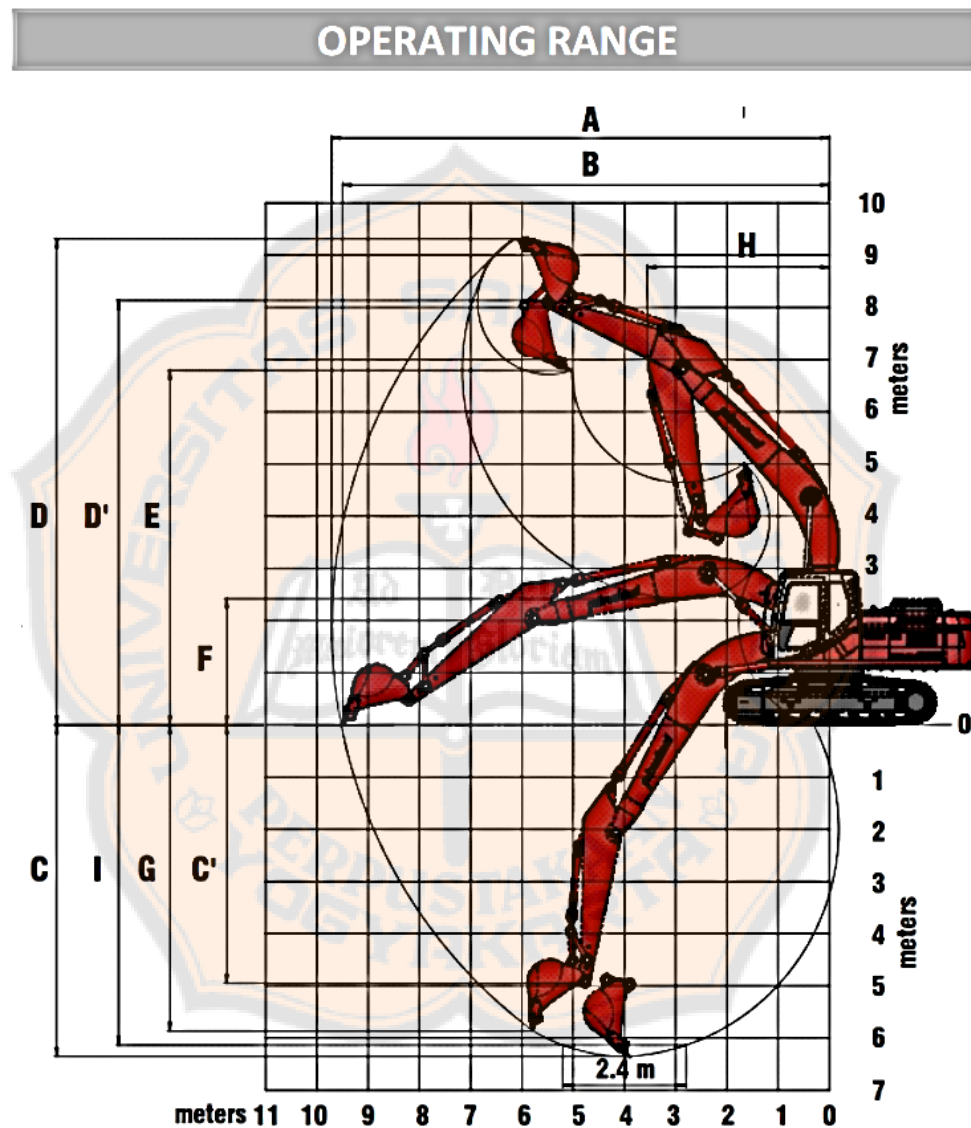
Pada penelitian ini pembebanan dipengaruhi dari *max digging force* yang diambil dari katalog Pindad Excava 200. Optimisasi dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan mencari desain yang lebih optimal, sehingga dapat mengurangi biaya pembuatan suatu komponen dan juga meningkatkan performansi dari mesin.



Gambar 3. 2 Pindad Excava 200

3.3 Variasi Penelitian

Gambar 3.3 menampilkan jangkauan penggalian yang dilakukan oleh Excavator. Ketiga posisi mengambil acuan dari katalog Pindad Excava 200. Pada penelitian ini terdapat variasi yaitu pada penggalian dengan sudut kemiringan *bucket* saat penggalian sebesar 34.14° .



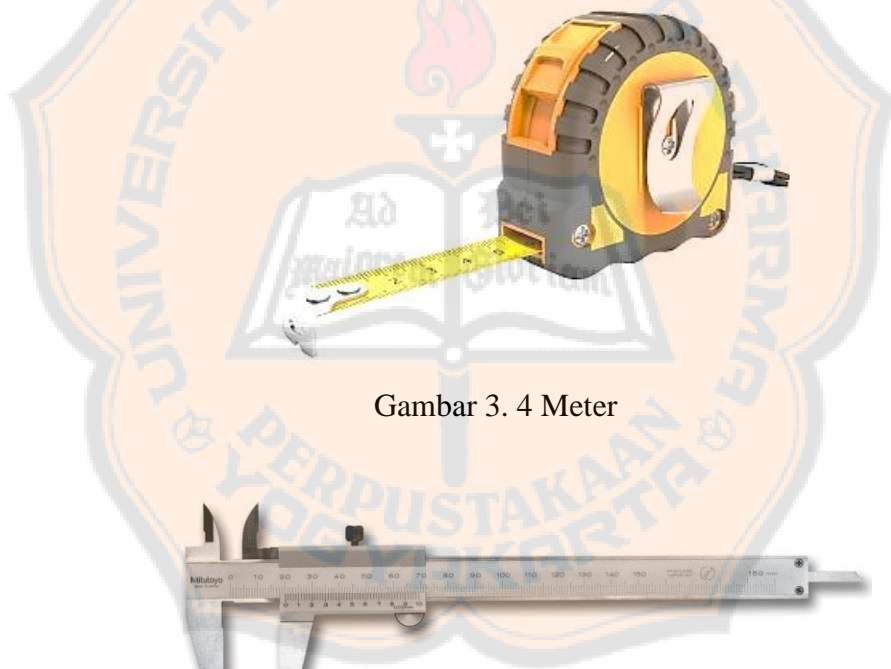
Gambar 3.3 Operation Range Pindad Excava 200

3.4 Langkah Penelitian

Penelitian dimulai dengan mengambil data berupa ukuran dimensi *bucket* Pindad Excava 200 di *workshop* Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWS) kementerian PUPR. Hasil pengukuran dimensi *bucket* lalu dimodelkan dengan *software Solidworks 2022*. Berikut Langkah-langkah penelitian secara rinci

1. Persiapan alat pengukuran dimensi *bucket*

Gambar 3.4 menunjukkan alat meteran, alat ini digunakan untuk pengukuran dimensi yang panjang misalnya tinggi dan lebar *bucket*. Gambar 3.5 menunjukkan alat *Vernier Caliper*, alat ini digunakan pada saat pengukuran area yang sempit misalnya pengukuran diameter, *bucket teeth* dan lain sebagainya.



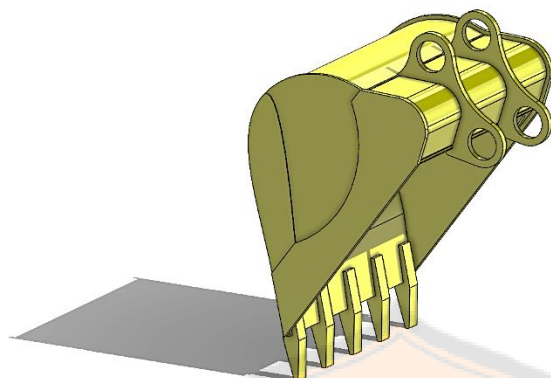
Gambar 3. 4 Meter



Gambar 3. 5 Vernier Caliper

2. Pembuatan model 3D

Gambar 3.6 menunjukkan hasil permodalan *bucket* Pindad Excava 200 menggunakan *software Solidworks*.



Gambar 3. 6 Model 3D Pindad Excava 200

3. Material

Mengidentifikasi jenis dan spesifikasi material yang dilakukan dengan mengambil acuan dari jurnal penelitian mengenai karakteristik material *bucket*.

Tabel 3. 1 Data Properti Material HARDOX 400

MATERIAL PROPERTY	HARDOX 400
ELASTICITY MODULUS, N/mm^2	190000
Poisson ratio, -	0.29
Shear modulus, N/mm^2	75000
Density, kg/m^3	8000
Tensile strength, N/mm^2	1250
Yield point, N/mm^2	1020
Coefficient of thermal expansion, $1/K$	$1.8e-005$
Thermal conductivity, $W/(m \times K)$	16
Specific heat, $J/(kg \times K)$	500

4. Besar dan arah gaya

Menentukan besaran gaya yang diterima oleh *bucket*, nilai besaran gaya yang diberikan pada *bucket* mengacu pada katalog Pindad Excava 200. Arah gaya

yang terjadi pada bucket di hitung menggunakan persamaan 2.1 dan persamaan 2.2.

MACHINE PARAMETERS	
Rated Power	127 kW
	2000 rpm
Engine Max Torque	610 Nm @ 1400 rpm
Main Pump Flow	2 x 200 L/min
Working Pressure	380 bar
Travel Speed	5.3 / 3.4 km/h
Max Bucket Digging Force	153 kN
Max Arm Digging Force	119 kN
Fuel Tank Capacity	440 L
Hydraulic Tank Capacity	230 L
Cooling System Capacity	15.2 L
Engine Oil Capacity	16 L

Gambar 3. 7 Katalog Pindad Excava 200

3.5 Langkah Analisis dan Optimasi

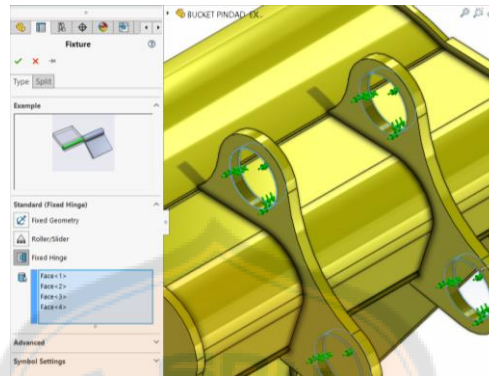
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari komponen *bucket* dengan mensimulasikan gaya statik menggunakan *software Solidworks 2022* yang terjadi pada *bucket Excavator*. Metode yang digunakan pada simulasi statik ini menggunakan metode elemen hingga kemudian dilanjutkan dengan optimasi topologi.

3.5.1 Analisis Statik

Simulasi analisis statik dilakukan untuk mendapatkan hasil pembebanan statik berupa *Von Mises Stress*, *Displacement*, dan *Factor of Safety*, hal ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dari perancangan yang telah dibuat. Proses simulasi ini dilakukan beberapa tahap, berikut tahapan analisis statik:

1. Fixture

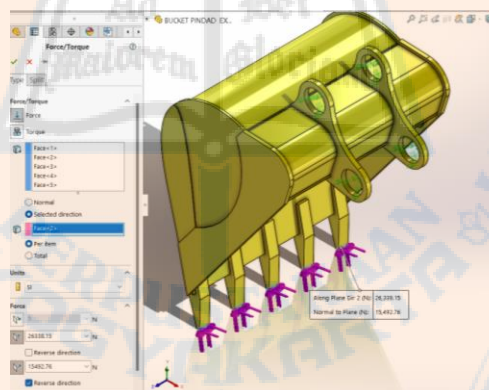
Fixture adalah langkah untuk menentukan tumpuan *bucket*. Dalam pengujian ini jenis *Fixture* yang dipakai adalah *fix hinge* karena *bucket* merupakan sambungan dari *arm Excavator*.



Gambar 3. 8 *Fixture*

2. External loads

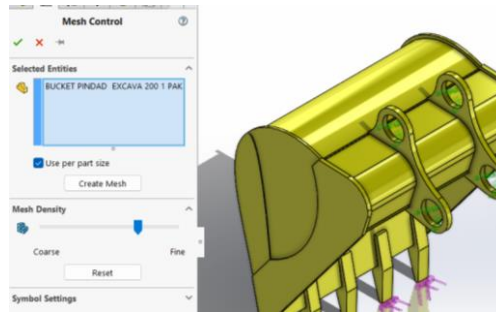
External loads adalah pemberian beban yang diterima oleh *bucket*. Dalam kasus ini beban yang diberikan adalah gaya (*force*).



Gambar 3. 9 *External Loads*

3. Mesh

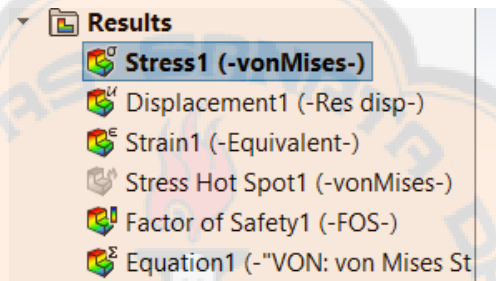
Proses *meshing* adalah langkah memecah menjadi elemen-elemen kecil dan tipe elemen yang dihasilkan berupa elemen solid.



Gambar 3. 10 Meshing

4. *Result*

Result merupakan hasil yang diperoleh setelah simulasi statik dijalankan akan di dapat seperti *von mises stress*, *displacement*, *strain*, dan lain sebagainya.

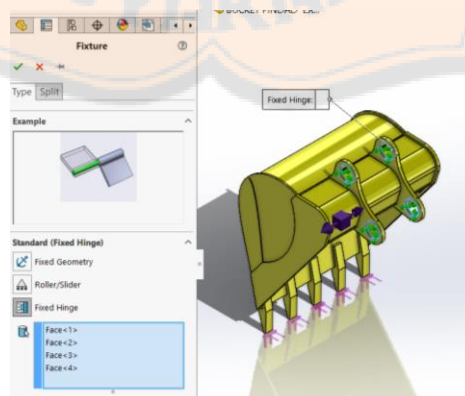


Gambar 3. 11 Result

3.5.2 Optimasi Topologi

1. *Fixture*

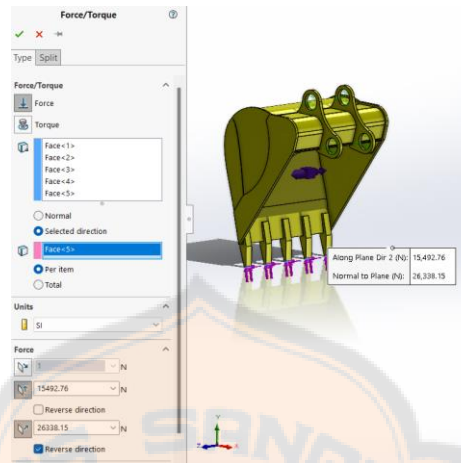
Fixture adalah langkah untuk menentukan tumpuan *bucket*. Dalam kasus ini jenis *Fixture* yang dipakai adalah *fix hinge* karena merupakan sambungan dari *arm Excavator*.



Gambar 3. 12 Fixture

2. *External loads*

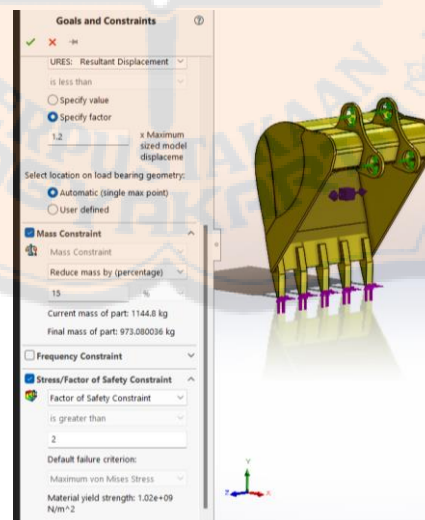
External loads adalah pemberian beban yang diterima oleh *bucket*. Dalam kasus ini beban yang diberikan adalah gaya (*force*).



Gambar 3. 13 *External Loads*

3. *Goals and constrain*

Menu analisa *Topology Optimization* di *SolidWorks Simulation* dilengkapi oleh fitur *Goal* yang dapat mengontrol tujuan optimasi dan fitur *Constrain* yang dapat mengatur batasan geometris yang mengendalikan formulasi matematika dari algoritma optimasi



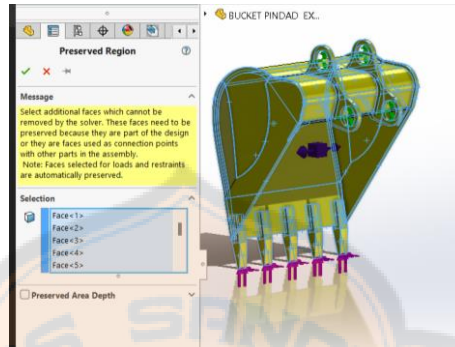
Gambar 3. 14 *Goals and constrain*

4. *Manufacturing controls*

Manufacturing controls adalah langkah untuk menentukan batasan dan arah optimasi yang akan dilakukan.

a. *Preserved Region*

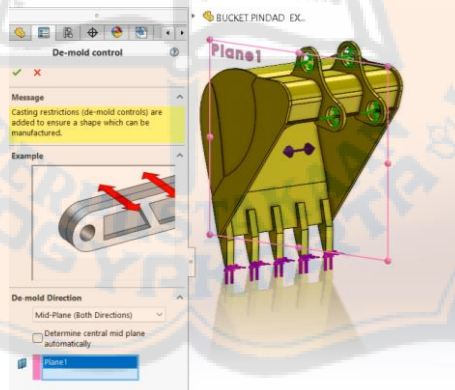
Preserved Region Property Manager, fitur ini dapat mengatur bagian mana saja dari suatu model yang dipertahankan atau tidak mengalami pengurangan.



Gambar 3. 15 *Preserved Region*

b. *De-mold control*

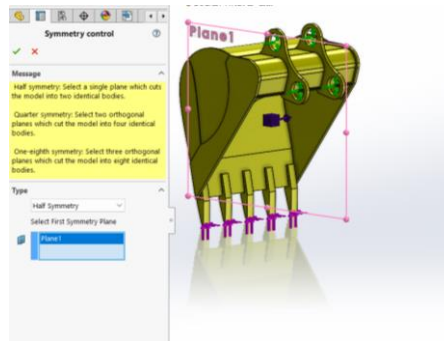
De-mold Control Property Manager, fitur ini dapat mendefinisikan *control de-mold* untuk memastikan bahwa desain yang telah di optimasi dapat diproduksi dan dapat dilepas dari cetakan.



Gambar 3. 16 *De-mold control*

c. *Symmetry control*

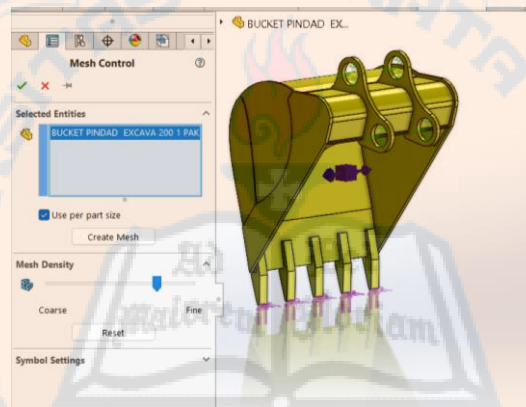
Symmetry Control Property Manager, fitur ini dapat menjaga desain yang di optimasi memiliki geometri yang simetris terhadap bidang tertentu.



Gambar 3. 17 Symmetry control

5. Mesh

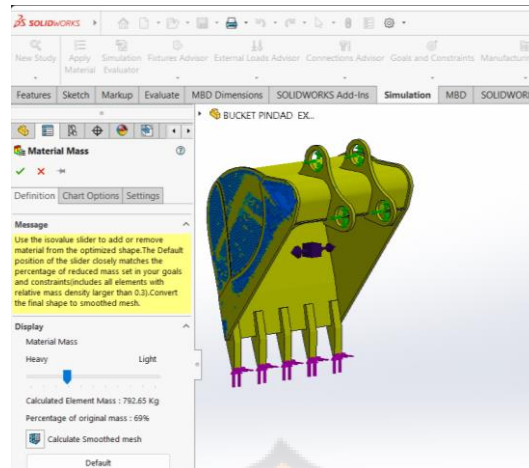
Proses ini memecah menjadi elemen-elemen kecil dan tipe elemen yang dihasilkan berupa elemen solid



Gambar 3. 18 Mesh

6. Result

Result akan menampilkan hasil optimasi topologi dengan gradasi warna biru ke kuning. Warna biru menunjukkan area yang boleh dihilangkan dan warna kuning menunjukkan area yang tidak boleh dihilangkan

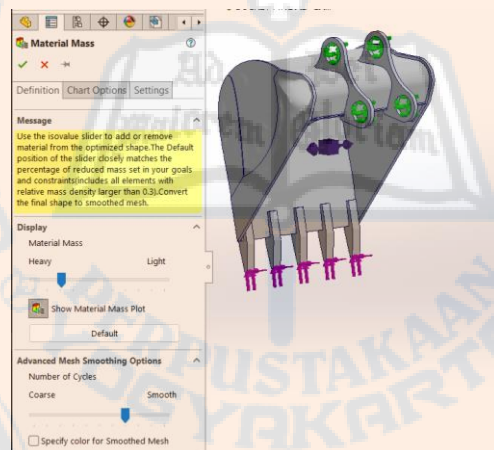


Gambar 3. 19 Result

3.5.3 Merapikan Hasil Optimasi

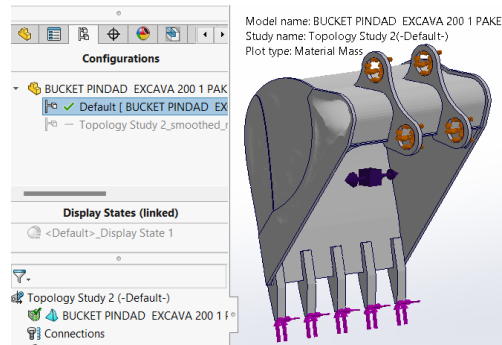
1. *Export smoothed mesh*

Export smoothed mesh adalah tahapan menghaluskan hasil optimasi agar lebih mudah saat menggambar *sketch* untuk *extrude cut*.

Gambar 3. 20 *Export smoothed mesh*

2. *Configuration*

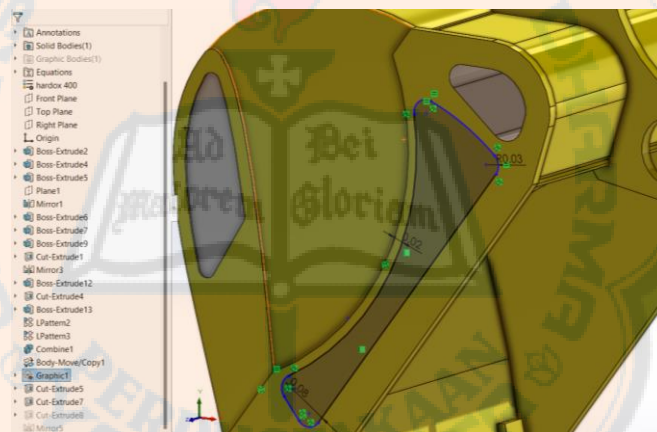
Setelah *smooth mesh* model akan pindah ke konfigurasi baru. Langkah selanjutnya adalah memilih konfigurasi yang telah di *smooth mesh* untuk memulai sketsa.



Gambar 3. 21 Configuration

3. Sketch dan Extrude Cut

Langkah terakhir adalah pembuatan sketsa mengikuti hasil *smoothed mesh* atau area yang aman untuk di hilangkan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17. setelah sketsa jadi dilanjutkan ke pemotongan dengan *extrude cut* dengan kedalaman tertentu.



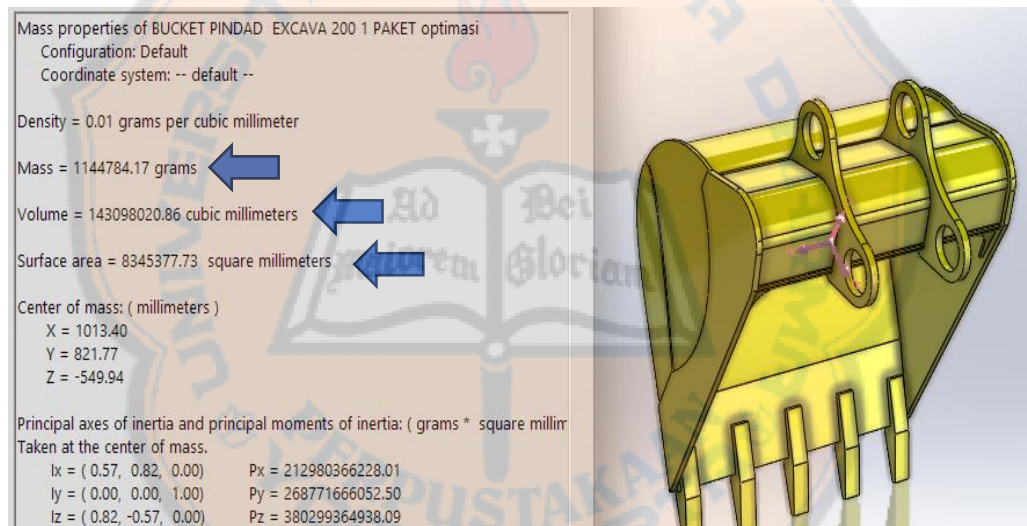
Gambar 3. 22 Sketch

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Desain

Data dalam penelitian ini adalah data analisa yang diperoleh dari *workshop* Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Serayu Opak kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada alat berat *Excavator* Pindad Excava 200. Data desain *bucket* diperoleh dengan menggunakan metode *reverse engineering front physical modeling*, yaitu metode desain dengan pendekatan model yang asli. Dilakukan pengukuran dimensi *bucket* menggunakan alat ukur meter dan *vernier calliper*. Data tersebut kemudian dimodelkan dalam bentuk 3D menggunakan *software* Solidworks 2022.



Gambar 4. 1 Modeling *Bucket* Pindad Excava 200

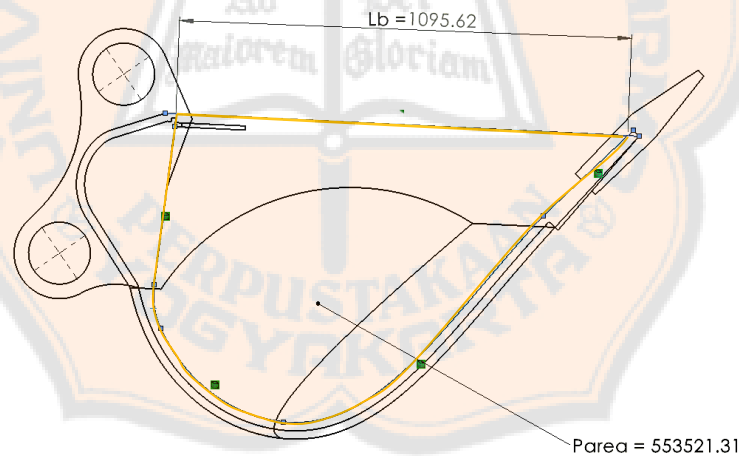
Gambar 4.1 merupakan hasil desain *bucket* Pindad Excava 200 pada saat posisi penggalian dengan pendekatan model yang asli dan juga terdapat hasil *evaluate mass property* dari desain *bucket* Pindad Excava 200. Dari hasil permodalan diperoleh massa awal *bucket* sebesar 1144784,15g, volume sebesar 143098020,86 mm³, dan luas permukaan sebesar 8345377,73 mm². Material yang digunakan dalam analisis ini adalah Hardox 400(Tabel 3.1).

4.2 Analisa Beban dan Arah Gaya

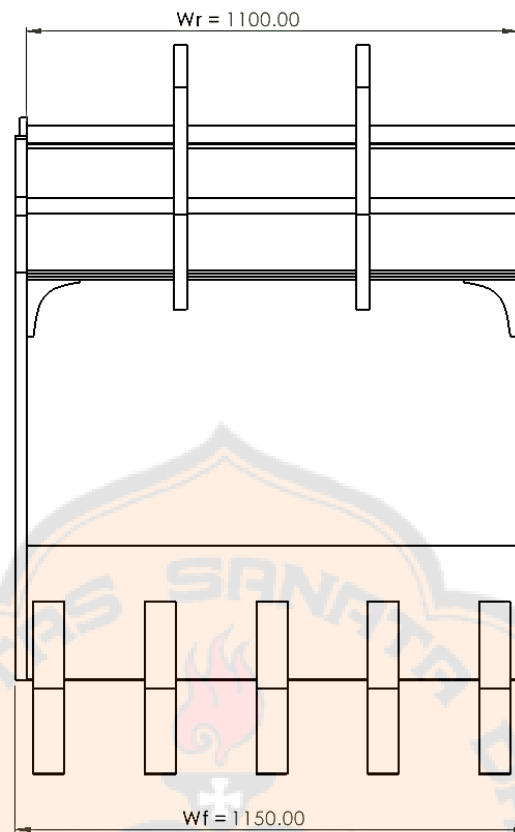
Dalam simulasi statik dibutuhkan perhitungan beban dan arah gaya secara manual. Perhitungan beban bertujuan untuk mengetahui berapa besar beban yang diterima oleh bucket saat melakukan penggalian. Sedangkan arah gaya dihitung menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 untuk mengetahui besar gaya yang diterima pada sumbu x dan sumbu y. Selanjutnya hasil dari perhitungan akan digunakan sebagai *input* gaya di analisa statik.

4.3 Perhitungan Kapasitas *Bucket*

Kapasitas standar dapat dihitung dengan ukuran model 3D yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Garis L_b menunjukkan batas dari *bucket teeth* sampai ke bagian atas *bucket* dekat dengan *bucket joint* dengan panjang 1095,62mm. P_{area} ditunjukkan oleh garis kuning merupakan luas sisi bagian dalam *bucket* dengan luas 553521,31mm². Gambar 4.3 W_f menunjukkan ukuran lebar sisi bagian dalam sepanjang 1100mm sedangkan W_f untuk lebar bagian luarnya sepanjang 1150mm



Gambar 4. 2 *Sketch Bucket Right Plane*



Gambar 4. 3 Sketch Bucket Front Plane

a) *Struck Capacity* (V_s)

Struck Capacity dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6 dengan mengikuti ukuran *bucket* pada gambar 4.2 dan 4.3.

$$V_s = P_{area} \left(\frac{(W_f + W_r)}{2} \right) \quad (2.6)$$

$$V_s = 553521,31mm^2 \left(\frac{(1150mm + 1100mm)}{2} \right)$$

$$V_s = 622711437,75mm^3$$

b) *Excess Material Capacity Heaped* (V_e)

Excess Material Capacity Heaped atau timbunan material lebih dapat dihitung dengan persamaan 2.7 dengan mengikuti ukuran pada gambar 4.2 dan 4.3.

$$V_e = \left(\frac{L_b W_f^2}{4} - \frac{W_f^3}{12} \right) \tag{2.7}$$

$$V_e = \left(\frac{(1095,62mm)(1150mm)^2}{4} - \frac{(1150mm)^3}{12} \right)$$

$$V_e = 235499779,16mm^3$$

c) *Heaped Capacity* (V_h)

Heaped capacity atau kapasitas maksimum *bucket* dapat diperoleh dengan menjumlahkan *struck capacity* dengan *Excess Material Capacity Heaped* maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$V_h = V_s + V_e \tag{2.8}$$

$$V_h = 622711437,75mm^3 + 235499779,16mm^3$$

$$V_h = 858211216,91mm^3$$

$$V_h = 0,8m^3$$

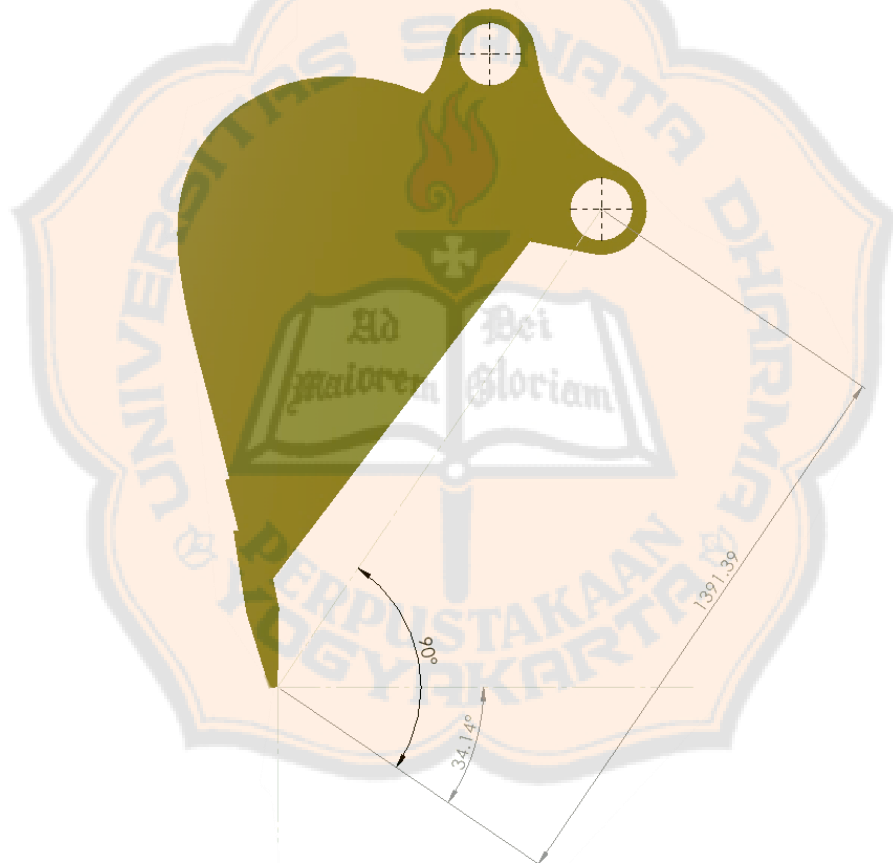
Dari perhitungan *heaped capacity* menghasilkan nilai *bucket capacity* sesuai dengan katalog Pindad Excava 200 (Gambar 4.4), maka *max bucket digging force* yang digunakan untuk analisis sebesar 153kN

MACHINE PARAMETERS		RANGE STANDARD (mm)	
Rated Power	127 kW	A Max. Digging Reach	9709
	2000 rpm	B Max. Digging Reach at Ground Level	9499
Engine Max Torque	610 Nm @ 1400 rpm	C Max. Digging Depth	6352
Main Pump Flow	2 x 200 L/min	D Max. Digging Height	9313
Working Pressure	380 bar	E Max. Dumping Clearance	6793
Travel Speed	5.3 / 3.4 km/h	F Min. Dumping Clearance	2414
Max Bucket Digging Force	153 kN	G Max. Vertical Wall Digging Depth	5863
Max Arm Digging Force	119 kN	H Min. Swing Radius	3540
Fuel Tank Capacity	440 L	I Horizontal Digging Stroke at Ground Level	5863
Hydraulic Tank Capacity	230 L	J Bucket Capacity	0.8 m ³
Cooling System Capacity	15.2 L		
Engine Oil Capacity	16 L		

Gambar 4. 4 Katalog Pindad Excava 200(“Katalog Pindad Excava 200,” n.d.)

4.3.1 *Bucket Digging Force*

Digging force adalah gaya yang terjadi pada saat ujung *Bucket* kontak dengan permukaan tanah. Gaya tersebut terjadi oleh pergerakan *cylinder bucket* atau *cylinder arm* ("Surface Vehicle Standard," 1990). Mengikuti referensi perhitungan kapasitas *bucket* yang dilakukan sebelumnya menggunakan spesifikasi katalog Pindad Excava 200 seperti ditampilkan pada Gambar 4.4 dengan *max digging force bucket* (FB) sebesar 153kN, dan pada kemiringan sudut penggalian (θ) $34,14^\circ$ seperti pada Gambar 4.5, maka dapat dilakukan perhitungan besar arah gaya yang diterima dari arah x dan arah y



Gambar 4. 5 Sudut Kemiringan *Bucket*

Jumlah *teeth* pada *bucket* adalah sebanyak 5, dengan demikian beban F_b yang diterima setiap *bucket teeth* dibagi 5:

$$F_b = \frac{153kN}{5} = 30,6kN$$

- a. Mencari resultan gaya sumbu x (F_x)

Perhitungan ini bertujuan untuk mencari resultan gaya yang diterima oleh *bucket* dari arah sumbu x. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$F_x = \cos(\theta) \times F_b \quad (2.1)$$

$$F_x = \cos(34,14^\circ) \times 30,6$$

$$F_x = 25,3266kN$$

$$F_x = 25326,6N$$

- b. Mencari resultan gaya sumbu y (F_y)

Perhitungan ini bertujuan untuk mencari resultan gaya yang diterima oleh *bucket* dari arah sumbu y. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$F_y = \sin(\theta) \times F_b \quad (2.2)$$

$$F_y = \sin(34,14^\circ) \times 30,6$$

$$F_y = 15,3647kN$$

$$F_y = 15364,7N$$

Dari hasil perhitungan maka setiap *bucket teeth* akan memperoleh resultan gaya untuk proses simulasi sebesar 25326,66N dari sumbu x dan 15364,7N dari sumbu y.

4.4 Hasil Simulasi Statik

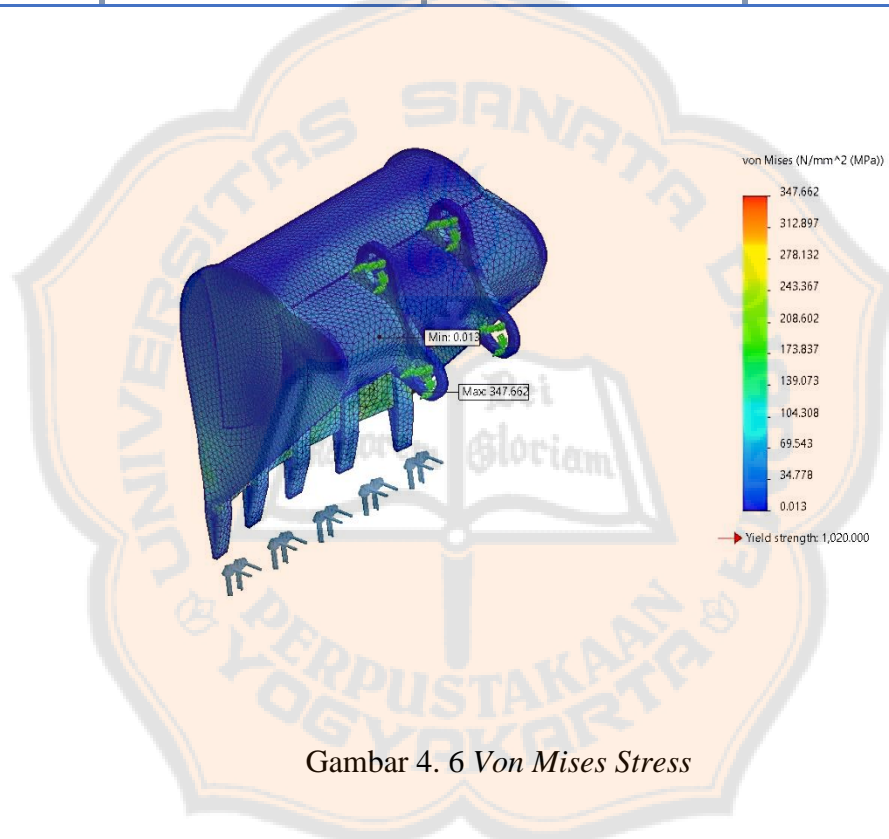
Simulasi statik bertujuan untuk mengetahui apakah material yang digunakan tidak mengalami kegagalan. Setelah proses *running static simulation* pada *software Solidworks 2022*, maka akan didapat data *Von Misses Stress*, *Displacement*, dan *Factor of Safety*. Analisis dapat dirangkum berupa laporan

desain analisis dengan cara menggunakan fitur *report* pada *software Solidworks* 2022, sehingga dalam pembacaan hasil analisa akan mudah dan lebih ringkas.

4.4.1 Von Mises Stress

Tabel 4. 1 *Von Mises Stress*

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0.013N/mm ² (MPa) Node: 19946	347.662N/mm ² (MPa) Node: 80410



Gambar 4. 6 *Von Mises Stress*

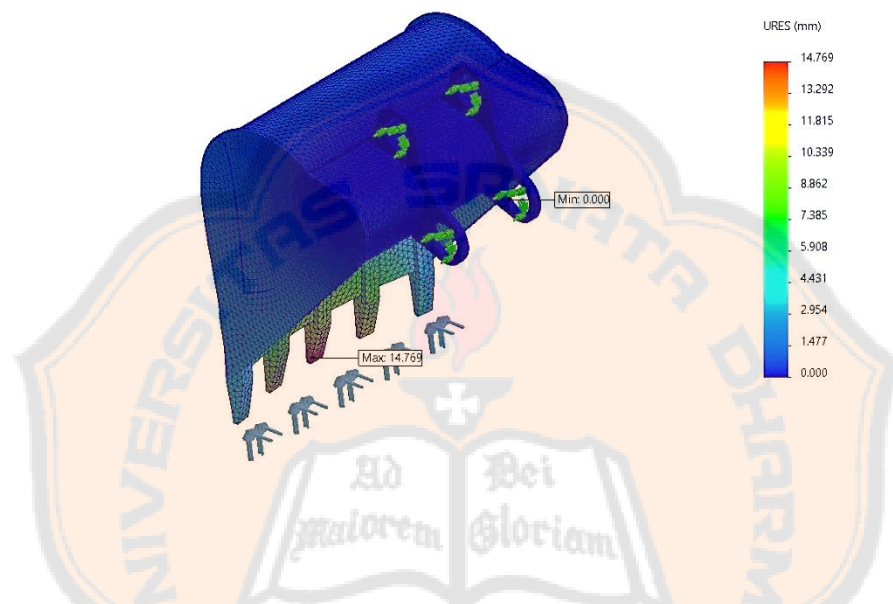
Tabel 4.1 dan Gambar 4.6 menunjukkan hasil simulasi statik *bucket* Pindad Excava 200 pada posisi penggalian yang ditampilkan berupa data visual disertai gradasi warna, dengan warna merah menunjukkan tegangan maksimum hingga yang warna biru menunjukkan tegangan minimal.

Area yang mengalami tegangan maksimum terdapat pada bagian sisi *bucket* yang berdekatan dengan *bucket teeth node* 80410 dengan tegangan sebesar 347,662MPa.

4.4.2 Displacement

Tabel 4. 2 *Resultant Displacement*

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0.000mm	14.769mm
		Node: 17144	Node: 11028



Gambar 4. 7 *Resultant Displacement*

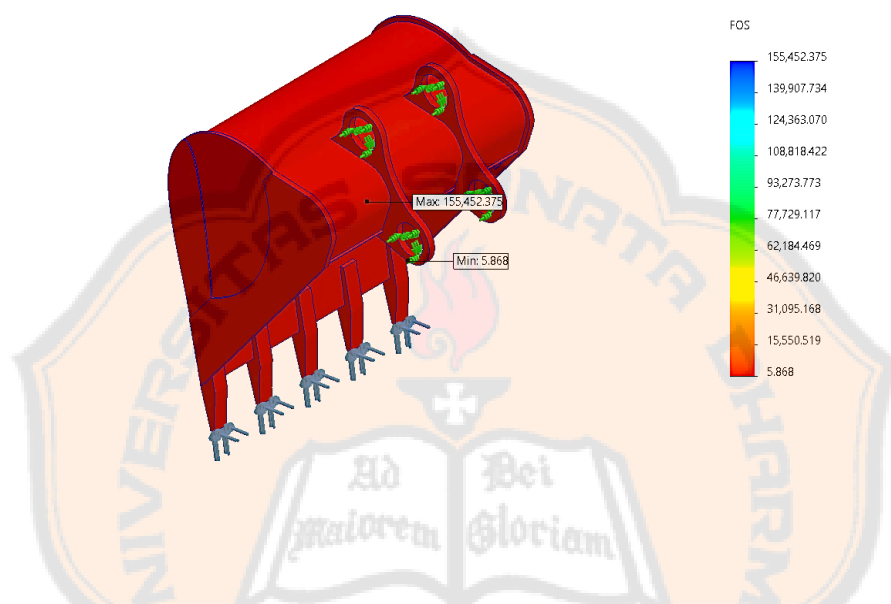
Tabel 4.2 dan Gambar 4.7 menunjukkan hasil simulasi statik *displacement* pada *bucket* Pindad Excava 200 pada posisi penggalian. Gradasi warna menunjukkan area yang mengalami *displacement* minimum sampai area yang mengalami *displacement* maksimum 14,769mm.

Area yang mengalami *displacement* terbesar ditandai dengan warna merah yang terdapat pada *bucket teeth* bagian tengah *node* 11028 sebesar, sedangkan area yang mengalami *displacement* terkecil ditandai dengan warna biru yang terdapat pada bagian atas *bucket* yang berdekatan dengan *bucket joint node* 17144 sebesar 0mm. *Displacement* maksimum terjadi pada ujung moncong *bucket* karena pemuatan yang terus menerus akibat beban yang besar serta ujung *bucket* termasuk komponen rawan terjadinya *stress*.

4.4.3 Factor Of Safety

Tabel 4. 3 *Factor of Safety*

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Max von Mises Stress	5.868	155,452.375
		Node: 80410	Node: 19946



Gambar 4. 8 *Factor of Safety*

Tabel 4.3 dan Gambar 4.8 merupakan hasil faktor keamanan dari pengujian statik *bucket* Pindad Excava 200 pada posisi penggalian ditampilkan berupa data visual yang disertai gradasi warna, dengan warna merah menunjukkan minimum faktor keamanan hingga yang warna biru menunjukkan faktor keamanan maksimum. *Factor Of Safety* dalam *bucket* ini mengacu pada kekuatan material *bucket* yang menerima tegangan setelah diberikan gaya atau beban.

Area dengan minimum FOS terdapat pada bagian sisi *bucket* dekat *bucket teeth node 80410* dengan nilai 5,868. Minimum FOS dengan nilai 5,868 disebabkan tingginya stress yang terjadi pada area tersebut. Dalam faktor keamanan terdapat besaran yang digunakan berdasarkan jenis bebannya. Minimum FOS yang diperoleh dari pengujian menunjukkan kekuatan *bucket* yang

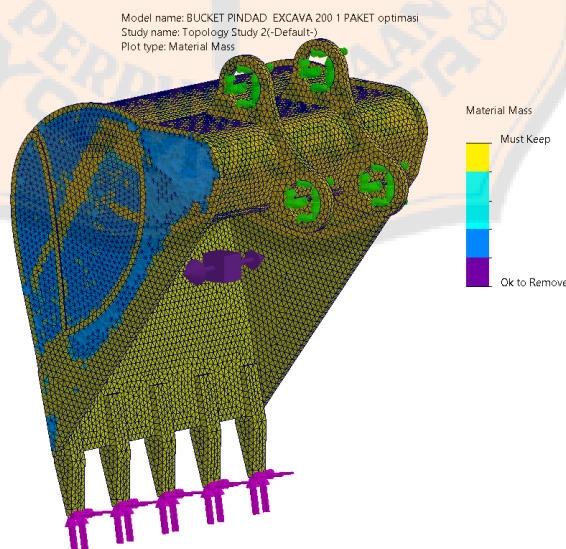
dapat menerima beban kejut karena nilai berada di kisaran 3-5 seperti dituliskan pada Persamaan 2.14.

4.5 Optimasi Topologi

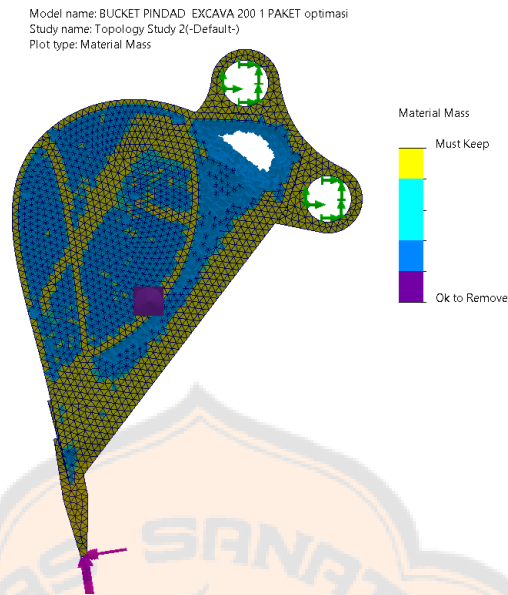
Optimasi topologi merupakan salah satu bentuk optimasi yang sering diterapkan pada suatu struktur. Optimasi topologi pada penelitian ini bertujuan untuk mengubah desain *bucket* menjadi desain yang lebih ringan sebanyak 16%. Metode dalam penelitian kali ini meliputi pembuatan model 3D *bucket* menggunakan *software Solidworks*, Pemodelan *bucket* menggunakan metode elemen hingga, analisa linear statis, dan studi optimasi topologi menggunakan *software Solidworks Simulation*.

4.5.1 Hasil Optimasi Topologi

Setelah proses menjalankan running untuk topology optimization maka hasil yang nampak adalah material mass. Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan hasil dari proses running optimasi topologi struktur pada *bucket* Pindad Excava 200 dengan pengurangan massa *bucket* sebesar 16%. Gradasi warna menunjukkan area dengan warna biru adalah bagian yang aman untuk dihilangkan, sedangkan area dengan warna kuning merupakan bagian yang tidak boleh dihilangkan.



Gambar 4. 9 Hasil Running Optimasi Topologi

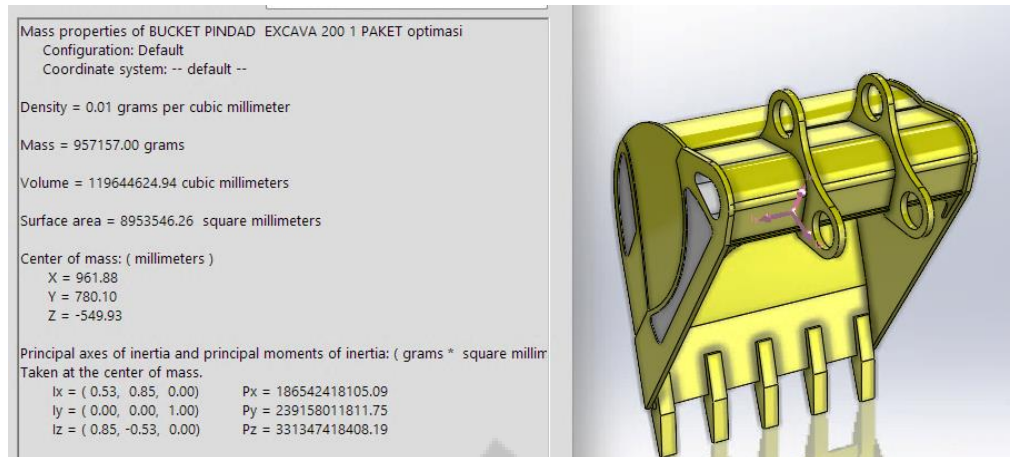


Gambar 4. 10 Hasil Running Optimasi Topologi Right Plane

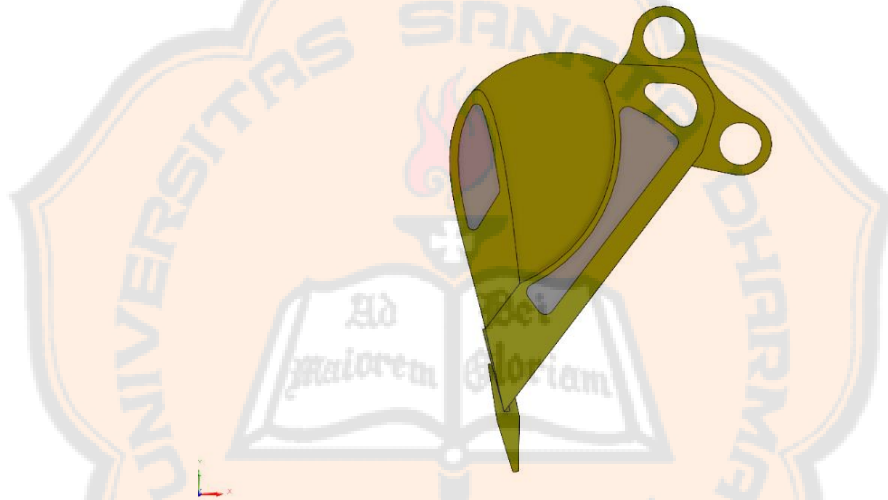
Hasil optimasi ini kemudian akan dilanjutkan dengan proses *smoothed meshing*. Proses ini untuk menghaluskan hasil optimasi sehingga dapat mempermudah saat proses *sketch*. Setelah proses *smoothed mesh* selesai model dapat langsung di *export* ke konfigurasi baru dan dapat dimulai proses *sketch* untuk pengurangan massa *bucket*.

4.5.2 Hasil Optimasi Topologi Setelah di Rapikan

Langkah untuk merapikan hasil optimasi topologi dengan cara melakukan *extrude cut* pada beberapa bagian mengikuti area warna yang diizinkan. Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengurangan massa sebanyak 16,38974%. Hasil dari pengurangan massa dapat dilihat pada Gambar 4.11 menunjukkan *evaluate mass property bucket* Pindad Excava 200 setelah proses optimasi topologi.



Gambar 4. 11 Model Dan *Evaluate* Setelah Optimasi



Gambar 4. 12 Model Dan *Evaluate* Setelah Optimasi Dari Sisi Samping

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 setelah dilakukan optimasi terjadi perubahan pada massa, volume, dan luas permukaan *bucket*. Massa awal *bucket* sebesar 1144784,15g berkurang setelah dilakukan *extrude cut* menjadi sebesar 957156,99g, pengurangan massa yang terjadi sebanyak 187627,16g. Volume *bucket* berkurang sebanyak 23453395,92mm³ dari volume awal 143098020,86mm³ menjadi 119644624,94mm³. Luas permukaan *bucket* bertambah sebanyak 608168,53mm² dari luas awal 8345377,73mm² menjadi 8953546,26mm². Model *bucket* Pindad Excava 200 yang sudah optimasi kemudian di analisis kembali menggunakan simulasi statik untuk mengetahui kekuatan dan keamanan hasil optimasi.

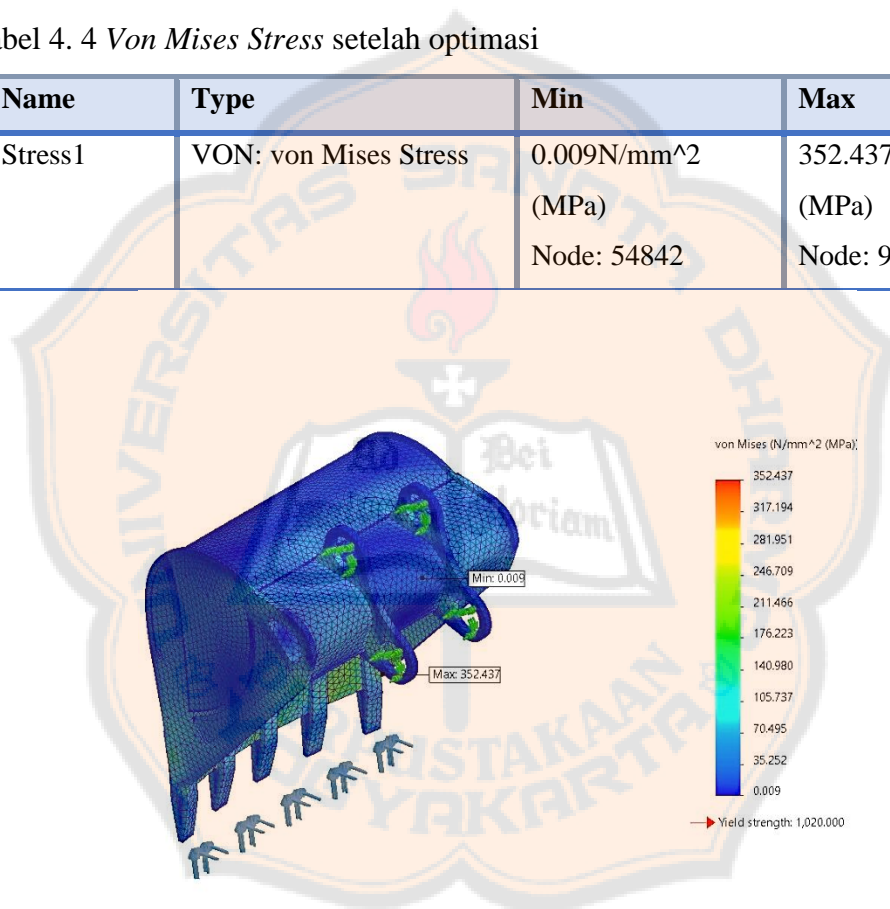
4.6 Hasil Simulasi Statik Setelah Optimasi

Setelah optimasi dilakukan pengujian statik untuk melihat perubahan yang terjadi pada *Von Mises Stress*, *Displacement*, dan *Factor of Safety* untuk melihat kekuatan *bucket* setelah optimasi. Hasil pengujian statik *bucket* kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian *bucket* sebelum optimasi untuk melihat perubahan yang terjadi.

4.6.1 Von Mises Stress

Tabel 4. 4 *Von Mises Stress* setelah optimasi

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0.009N/mm ² (MPa) Node: 54842	352.437N/mm ² (MPa) Node: 90092



Gambar 4. 13 *Von Mises Stress* setelah optimasi

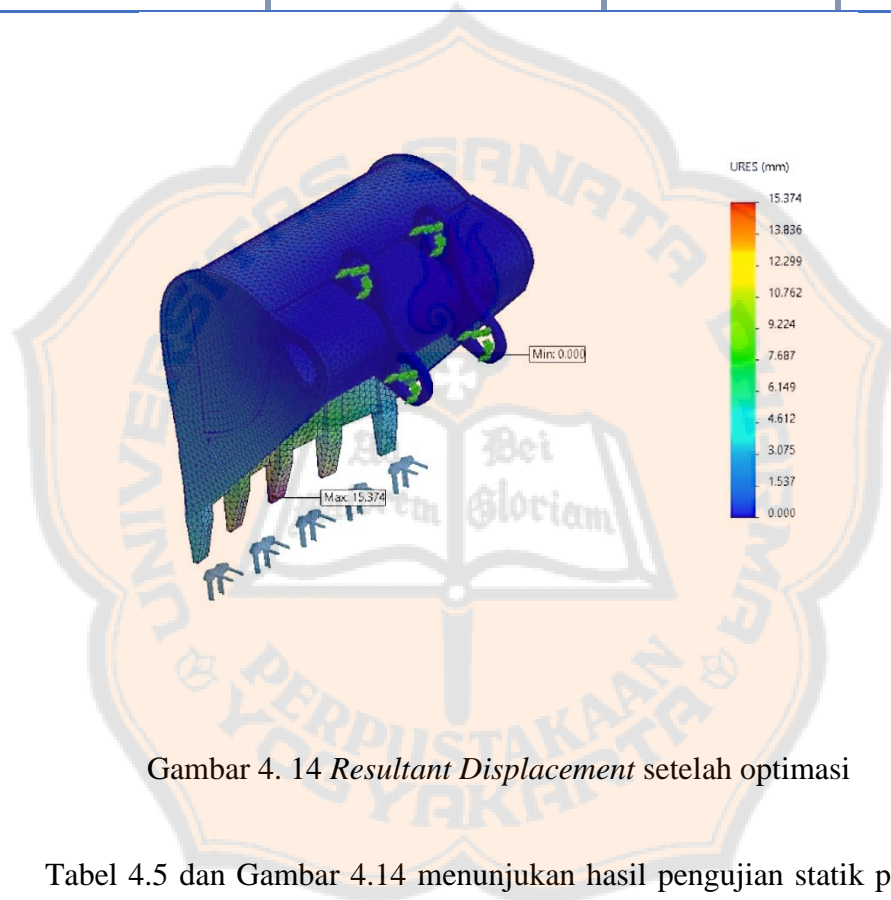
Tabel 4.4 dan Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi statik *bucket* Pindad Excava 200 pada posisi penggalian setelah optimasi. Area sebelumnya mengalami tegangan maksimum terdapat pada bagian sisi *bucket* yang berdekatan dengan

bucket teeth node 80410 dengan tegangan sebesar 347,662MPa berubah ke *node* 90092 dengan perubahan kenaikan tegangan maksimum menjadi 352,437MPa.

4.6.2 Displacement

Tabel 4. 5 *Resultant Displacement* setelah optimasi

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0.000mm	15.374mm
		Node: 21750	Node: 10073



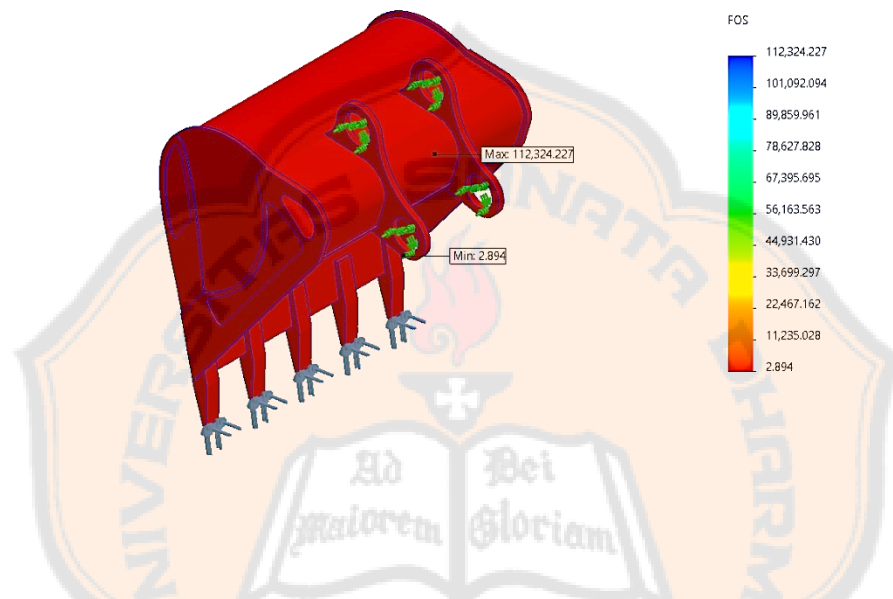
Gambar 4. 14 *Resultant Displacement* setelah optimasi

Tabel 4.5 dan Gambar 4.14 menunjukkan hasil pengujian statik pada desain *bucket* yang telah di optimasi. Area yang mengalami maksimum *displacement* sebelumnya terdapat pada *bucket teeth* bagian tengah *node* 11028 sebesar 14,769mm mengalami kenaikan sebesar 0,605mm menjadi 15,374mm pada *node* 10073. Sedangkan untuk area yang mengalami minimum *displacement* tidak mengalami perubahan dengan nilai 0mm. Terjadi peningkatan *displacement*, hal ini dikarenakan adanya pengurangan massa sebesar 16% sehingga distribusi tegangan pada *bucket* meluas(Wicaksono, 2021).

4.6.3 Factor Of Safety

Tabel 4. 6 *Factor of Safety* setelah optimasi

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Max von Mises Stress	2.894	112,324.227
		Node: 90092	Node: 54842



Gambar 4. 15 *Factor of Safety* setelah optimasi

Tabel 4.6 dan Gambar 4.15 menunjukkan hasil faktor keamanan ditampilkan berupa data visual dari hasil optimasi yang disertai gradasi warna, dengan warna merah menunjukkan minimum faktor keamanan hingga yang warna biru menunjukkan faktor keamanan maksimum.

Setelah optimasi area dengan minimum *Factor of Safety* terdapat pada bagian sisi *bucket* dekat *bucket teeth* pada *node* 80410 bergeser ke *node* 90092, sedangkan area dengan maksimum FOS terdapat pada *bucket joint* dengan *node* 19946 setelah optimasi bergeser ke *node* 54842. Dilihat dari hasil pengujian statik, hasil *Factor of Safety* baik maksimum dan minimum mengalami penurunan. Nilai minimum FOS sebelumnya memiliki nilai 5,868 berkurang menjadi 2,894. Berdasarkan besaran faktor keamanan nilai minimum FOS setelah

dilakukan optimasi topologi menurun di kisaran 2-3 atau maksimal hanya dapat menerima beban dinamis.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menggunakan software Solidworks maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil desain awal memiliki massa 1.144,78kg, volume 0,14m³, dan luas permukaan 8,34m².
2. Pengujian statik desain awal diperoleh nilai *max von mises stress* sebesar 347,662N/mm²(MPa), *max displacement* 14,769mm, *min factor of safety* 5,868.
3. Hasil optimasi desain awal mengalami perubahan penurunan massa sebesar 16,39% menjadi 957,15kg, penurunan volume sebesar 2,41% menjadi 0,11m³, dan luas permukaan bertambah sebesar 7% menjadi 8,95m².
4. Pengujian statik setelah optimasi diperoleh nilai *max von mises stress* sebesar 352,437N/mm²(MPa), *max displacement* 15,374mm, *min factor of safety* 2,894.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan mencoba variasi perbandingan material.
2. Desain, Optimasi topology, dan analisis menggunakan *software* lain contohnya Ansys dll.
3. Melakukan pengukuran lebih detail untuk perhitungan *bucket curling force* dan *arm crowd force*.
4. Melakukan analisis dan optimasi di komponen lain alat berat yang serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadie, A., Angrist, J., & Imbens, G. (1999). *PT. Pindad Persero. April 1983*.
- Beer, F. P., Johntson, E. R., Jr, Mazurek, D. f., Cornwell, P. J., & Eisenberg, E. R. (1987). *Vector Mechanis Statics and Dynamics* (Bill Stenquist Director (Ed.); 9th ed.). McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020. Copyright © 2010 by The McGraw-Hill Companies, Inc. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Hutagalung, H. S. M., Suryo, S. H., & Yuniyanto, B. (2022). Evaluasi Kapasitas Bucket Dan Analisis Gaya Statis Pada Mini Hidrolik Backhoe Excavator Cat 302-Cr. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 10(1), 95–102. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Katalog Pindad Excava 200. (n.d.). *PT. Pindad (Persero)*. www.pindad.com
- Mariana, P. (2015). Rancang Bangun Pengolahan Data Penjualan Sparepart Alat Berat (Hose Hidrolik) Pada PT . Sumatra Unggul Menggunakan Visual Basic 6.0. *Jurnal Teknik Informatika Politeknik Sekayu (TIPS)*, 2(1), 73–80.
- Patel, B. P., & Prajapati, J. M. (2012). Evaluation of bucket capacity, digging force calculation and static force analysis of mini hydraulic backhoe excavator. *Machine Design*, 4(1), 59–66.
- Rahman, A., Suryo, S. H., & Yuniyanto, B. (2022). Optimasi Desain Dan Analisis Tegangan Bucket Excavator CAT 390F L. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 10(2), 207–216. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Sokop, R. M., Arsjad, T. T., & Malingkas, G. (2018). Analisa Perhitungan Produktivitas Alat Berat Gali-Muat (Excavator) Dan Alat Angkut (Dump Truck) Pada Pekerjaan Pematangan Lahan Perumahan Residence Jordan Sea. *Jurnal Tekno*, 16(70), 83–88.
- Suparyanto, & Rosad. (2015). *Alat Berat* (Vol. 5, Issue 3). Politeknik Negeri Bandung.
- Surface Vehinclc Standard. (1990). In *SAE International* (Issues 19977–33).
- Suryo, S. H., & Yuniyanto, B. (2020). *Optimasi Desain Topologi Struktur Arm Excavator Cat 374d L Menggunakan Metode Elemen Hingga* (Vol. 22, Issue 2). Universitas Diponegoro.
- Tafazoli, S., Salcudean, S. E., Hashtrudi-Zaad, K., & Lawrence, P. D. (2002). Impedance control of a teleoperated excavator. In *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (Vol. 10, Issue 3, pp. 355–367). <https://doi.org/10.1109/87.998021>
- Wicaksono, D. S. (2021). *Analisa Tegangan Dan Optimasi Desain Arm Excavator Tipe Cat 320D Menggunakan Solidworks*. Universitas Sanata Dharma.
- Yunus, M. (2020). *Analisis Tegangan, Regangan Dan Perpindahan Bucket Excavator Unit PC.320 PT. Trakindo Utama Menggunakan Program*

ANSYS. Universitas Sriwijaya.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Pindad Excava 200



Lampiran 2 Proses pengukuran dimensi *bucket*



Lampiran 3 Alat ukur yang di gunakan

