
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP : 33212301040
Program Studi : Teknik Mesin Alat Berat
Jurusan : Rekayasa Mesin Dan Industri
Tahun Akademik : 2025/2026

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya dengan judul **Perancangan Struktur Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda *Backhoe Loader* 416F2 Berdasarkan Analisis Ergonomi RULA** adalah original, belum pernah dibuat oleh pihak lain, dan bebas dari plagiarisme.

Bilamana pada kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenarbenarnya.

Sampang, 27 Juli 2026

Yang menyatakan,



Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP. 33212301040

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Perancangan Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda
Backhoe loader 416F2
Penulis : Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP : 33212301040
Program Studi : Teknik Mesin Alat Berat
Jurusan : Rekayasa Mesin dan Industri

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk diseminarkan.
Ditanda tangani di Sampang, 24 Juli 2026

Menyetujui,

Pembimbing I,



Annafiyah, S.Si., M.T.
NIP. 198709072019032011

Pembimbing II,



Mishakhul Fatah, S.T., M.T.
NIP. 197811262021211003

Koordinator Program Studi
D3 Teknik Mesin Alat Berat



Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.
NIPPPK. 197705222021211005

Koordinator TA
D3 Teknik Mesin Alat Berat



Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si.
NIPPPK. 199006062024212053

LEMBAR PENGESAHAN

**Perancangan Struktur Rangka Alat Bantu *Remove Install*
Roda *Backhoe Loader 416f2* Berdasarkan Analisis
Ergonomi RULA**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik (A.Md. T.)

Pada

Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri
Program Studi Teknik Mesin Alat Berat
Politeknik Negeri Madura

Oleh:

Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP: 33212301040

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 28 Juli 2026
dan telah sesuai dengan ketentuan.

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Annafiyah, S.Si., M.T.....(Pembimbing I)
2. Misbakhul Fatah, S.T., M.T.....(Pembimbing II)
3. Laily Ulfiyah, M.T.....(Penguji I)
4. Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.....(Penguji II)
5. Dr. Anton Nugroho, ST. M.T.....(Penguji III)

SAMPANG

28 Juli 2026

PERANCANGAN STRUKTUR RANGKA ALAT BANTU *REMOVE INSTALL* RODA *BACKHOE LOADER* 416F2 BERDASARKAN ANALISIS ERGONOMI RULA

Nama : Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP : 33212301040
Pembimbing 1 : Annafiyah, S.Si., M.T.
Pembimbing 2 : Misbakhul Fatah, S.T., M.T.

ABSTRAK

Backhoe Loader 416F2 merupakan alat berat yang banyak digunakan pada sektor konstruksi dan pertambangan. Proses *remove install* roda masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan tenaga besar dan berisiko menimbulkan postur kerja yang tidak ergonomis. Penelitian ini bertujuan merancang struktur rangka alat bantu yang aman, kuat, dan ergonomis. Perancangan dilakukan menggunakan *SolidWorks* 2025 berdasarkan spesifikasi roda dan data antropometri pengguna, kemudian dianalisis menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) dan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain C dipilih karena memiliki efisiensi material terbaik tanpa mengurangi kekuatan struktur. Hasil simulasi FEA menghasilkan tegangan maksimum 10 MPa, *displacement* 0,49 mm, dan *factor of safety* 5,9 sehingga memenuhi kriteria keamanan material ASTM A36. Analisis ergonomi memperoleh skor RULA 2 yang menunjukkan tingkat risiko rendah. Dengan demikian, struktur rangka yang dirancang dinyatakan aman, ergonomis, dan layak digunakan untuk mendukung proses *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2.

Kata kunci: *Backhoe Loader* 416F2, struktur rangka, FEA, RULA, ergonomi.

***DESIGN OF A FRAME STRUCTURE FOR A WHEEL
REMOVAL AND INSTALLATION TOOL FOR THE 416F2
BACKHOE LOADER BASED ON RULA ERGONOMIC
ANALYSIS***

Name : Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP : 33212201017
Supervisor 1 : Annafiyah, S.Si., M.T.
Supervisor 2 : Misbakhul Fatah, S.T., M.T.

ABSTRACT

The 416F2 backhoe loader is a piece of heavy equipment widely used in the construction and mining sectors. The process of removing and installing the wheels is still done manually, requiring significant physical effort and posing a risk of causing non-ergonomic work postures. This study aims to design a safe, strong, and ergonomic frame structure for an assistive device. The design was created using SolidWorks 2025 based on wheel specifications and user anthropometric data, then analyzed using Finite Element Analysis (FEA) and the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method. The results show that Design C was selected because it offers the best material efficiency without compromising structural strength. The FEA simulation results yielded a maximum stress of 10 MPa, a displacement of 0.49 mm, and a safety factor of 5.9, thereby meeting the ASTM A36 material safety criteria. The ergonomic analysis yielded a RULA score of 2, indicating a low risk level. Thus, the designed frame structure is deemed safe, ergonomic, and suitable for use in supporting the process of removing and installing the wheels of the 416F2 Backhoe Loader.

Keywords: 416F2 Backhoe Loader, frame structure, FEA, RULA, ergonomics.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa yang telah memberi kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tujuan penulisan tugas akhir adalah memenuhi salah satu persyaratan bagi mahasiswa untuk dapat menyelesaikan pendidikan Diploma 3 Program Studi Teknik Mesin Alat Berat Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri di Politeknik Negeri Madura.

Dalam tugas akhir ini, penulis mempunyai ide gagasan untuk menyusun laporan TA yang berjudul **“Perancangan Struktur Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda *Backhoe Loader* 416F2 Berdasarkan Analisis Ergonomi RULA”**.

Terwujudnya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, kedua orang tua penulis dan orang tersayang, baik tenaga, ide-ide, maupun pemikiran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan teima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Yth. Ibu Laily Ulfyah, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Madura.
2. Yth. Bapak Mohammad Anas Fikri, ST.,MT., selaku Ketua Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri.
3. Yth. Bapak Amin Jakfar, S.T., M.T., sebagai Sekretaris Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri.

4. Ibu Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si., sebagai Koordinator Tugas Akhir serta sebagai Dosen Wali 12 B Program Studi Teknik Mesin Alat Berat.
5. Yth. Ibu Annafiyah, S.Si., M.T. Selaku dosen pembimbing 1 yang senantiasa memberikan kritik, saran dan masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Yth. Bapak Misbakhul Fatah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang senantiasa memberikan kritik, saran dan masukan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
7. Para dosen dan tenaga kependidikan Politeknik Negeri Madura yang telah melayani mahasiswa selama penulis menempuh pendidikan di sini.
8. Ayah, ibu dan orang terdekat yang selalu dengan ikhlas mendoakan serta memberi dukungan demi kelancaran pengerjaan tugas akhir ini.
9. Kakek dan nenek saya H.Miski dan Hj.Saudah. Terimakasih dukungan, doa, kasih sayang, serta nasihat yang tidak pernah putus menjadi motivasi bagi penulis dalam menjalani proses pendidikan hingga saat ini.
10. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Ana Anisa. Penulis menyampaikan terima kasih telah mendengarkan keluh kesah, memberikan doa, dukungan, dan semangat, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Sampang, 27 Juli 2026

Rama Wijaya Brilliant Suyanto
NRP. 33212301040

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Spesifikasi Roda <i>Backhoe loader</i>	6
2.2.1 Roda Depan	6
2.2.2 Roda Belakang	7
2.3 Baja ASTM A36	8
2.4 Rangka	8
2.4.1 Konsep kesetimbangan dan gaya momen	9
2.4.2 Tumpuan	9
2.5 Analisis Struktur rangka	11



2.5.1 Tegangan (<i>Von Mises</i>)	11
2.5.2 Defleksi maksimum (<i>displacement</i>).....	12
2.5.3 Faktor keamanan (<i>safety factor</i>)	13
2.6 Antropometri.....	14
2.7 Ergonomi	15
2.8 Penggunaan <i>SolidWorks</i> dalam Perancangan Rangka	16
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Diagram Alir	19
3.2 Proses dan Prosedur Pengerjaan	20
3.3 Bahan	21
3.4 Prosedur Simulasi	21
3.4.1 Pengujian dan Pengambilan data	21
3.4.2 Simulasi Ergonomi.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Perancangan Struktur Rangka Alat Bantu <i>Remove Install</i> Roda <i>Backhoe Loader</i> 416F2	25
4.1.1 Data Antopometri Pengguna.....	25
4.1.2 Hasil Perancangan Rangka	26
4.1.3 Analisis Keseimbangan.....	32
4.1.4 Analisis Kekuatan Struktur	34
4.1.5 Hasil Simulasi Tegangan <i>Von Mises</i>	35
4.1.6 Hasil <i>Displacement</i>	36
4.1.7 Hasil Simulasi <i>Safety Factor</i>	37
4.1.8 Hasil Pengujian Alat	37
4.2 Analisis Ergonomi Alat Bantu Menggunakan Metode RULA	38
4.2.1 Tabel Perhitungan RULA	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47



5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	53
BIODATA PENULIS	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Roda Depan	7
Gambar 2. 2 Roda Belakang	7
Gambar 2. 3 Rangka.....	9
Gambar 2. 4 Sketsa tumpuan <i>roll</i> penghubung	10
Gambar 2. 5 Sketsa tumpuan sendi	10
Gambar 2. 6 Sketsa tumpuan penjepit.....	11
Gambar 2. 7 Simulasi <i>von mises</i>	11
Gambar 2. 8 Simulasi <i>Defleksi</i>	12
Gambar 2. 9 Simulasi <i>Safety Factor</i>	13
Gambar 2. 10 Tabel Ergonomi (RULA)	16
Gambar 3. 1 Diagram alir.....	19
Gambar 4. 1 Pengukuran Tinggi Siku	25
Gambar 4. 2 Referensi Desain Alat Pengangkat Roda.....	27
Gambar 4. 3 Desain A	28
Gambar 4. 4 Desain B	28
Gambar 4. 5 Desain C	29
Gambar 4. 6 Parameter Efisiensi Material Desain A	30
Gambar 4. 7 Parameter Efisiensi Material Desain B.....	31
Gambar 4. 8 Parameter Efisiensi Material Desain C.....	31
Gambar 4. 9 Reaksi Tumpuan.....	32
Gambar 4. 10 Diagram Gaya Geser	34
Gambar 4. 11 Diagram Gaya Momen	34
Gambar 4. 12 Simulasi Tegangan <i>Von Mises</i>	36
Gambar 4. 13 Simulasi <i>Displacement</i>	36
Gambar 4. 14 Simulasi <i>Factor Of Safety</i>	37
Gambar 4. 15 Pengambilan Data Ergonomi.....	40
Gambar 4. 16 Perhitungan Step 1.....	40
Gambar 4. 17 Perhitungan Step 2.....	41
Gambar 4. 18 Perhitungan Step 3.....	41
Gambar 4. 19 Perhitungan Nilai Tabel A.....	42
Gambar 4. 20 Perhitungan Tabel C	43



Gambar 4. 21 Perhitungan Step 9.....	44
Gambar 4. 22 Perhitungan Step 10.....	44
Gambar 4. 23 Hasil Perhitungan Tabel B	45
Gambar 4. 24 Hasil Akhir Skor RULA.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 spesifikasi material ASTM A36.....	8
Tabel 2. 2 <i>Safety Factor</i>	14
Tabel 2. 3 Antropometri orang indonesia.....	15
Tabel 4. 1 Tinggi Badan dan Siku.....	26
Tabel 4. 2 Perbandingan Alternatif Desain	30
Tabel 4. 3 Data Pembebanan.....	35
Tabel 4. 4 Pengujian <i>displacement</i>	38
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan RULA	39
Tabel 4. 6 Skor Ergonomi RULA	46

DAFTAR SINGKATAN

MSDs	: <i>Musculoskeletal Disorders</i>
RULA	: <i>Rapid Upper Limb Assessment</i>
FEA	: <i>Finite Element Analysis</i>
SNI	: Standar Nasional
CAD	: <i>Computer-Aided Design</i>
Kg	: Kilogram
lb	: Pon
mm	: milimeter
cm	: sentimeter

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel RULA.	53
Lampiran 2. 3D Rangka Alat Bantu <i>Remove Install</i> Roda <i>Backhoeloader</i> 416F2.....	54
Lampiran 3. 3D <i>Assembly</i> desain rangka dan pengangkat roda <i>backhoeloader</i> 416F2	54
Lampiran 4. 2D Rangka Alat Bantu <i>Remove Install</i> Roda <i>Backhoeloader</i> 416F2.....	55
Lampiran 5. DED Rangka Alat Bantu <i>Remove install</i> roda <i>backhoeloader</i> 416F2	56
Lampiran 6. Hasil Perancangan Rangka Alat Bantu <i>Remove</i> <i>install roda backhoeloader</i> 416F2.....	57
Lampiran 7. Pengujian alat bantu <i>remove install</i> roda <i>backhoeloader</i> 416F2	57
Lampiran 8. Hasil saat diberi beban alat pengangkat 79 Kg.	58
Lampiran 9. Hasil Pengujian beban alat pengangkat dan roda 253 Kg.	58

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Backhoe loader adalah alat berat serbaguna yang digunakan dalam proyek konstruksi berskala besar, seperti pembangunan jalan, bendungan, dan pengembangan infrastruktur. Selain itu, mesin ini juga dapat digunakan untuk pekerjaan penggalian umum, kegiatan pembongkaran, operasi pertambangan ringan, pemuatan truk, pembersihan dan penggalian, serta berbagai tugas penggalian lainnya [1].

Kinerja *backhoe loader* sangat bergantung pada kondisi semua komponennya, termasuk ban yang merupakan bagian vital dalam sistem pengangkutan tambang. Tuntutan produksi yang tinggi mengharuskan alat berat ini bekerja secara aktif, sehingga meningkatkan beban pada ban sebagai komponen yang bersentuhan langsung dengan berbagai jenis medan dan meningkatkan risiko kerusakan. Hal ini mengharuskan dilakukannya kegiatan inspeksi dan penggantian ban [2].

Industri pertambangan, aktivitas fisik *maintenance* mengganti ban yang memerlukan perawatan seringkali sangat berat dan melelahkan. Kondisi ini tidak hanya mengurangi kinerja kerja, tetapi juga menyebabkan postur kerja yang buruk. Postur kerja yang tidak ergonomis ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan di tempat kerja. Aktivitas manual berulang seperti mengangkat, mendorong, dan menarik, terutama jika dilakukan dalam waktu lama dalam posisi tubuh yang tidak alami, berpotensi menyebabkan kerusakan pada jaringan tubuh atau atau keluhan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) [3].

Salah satu pendekatan utama dalam ergonomi adalah penggunaan data antropometri. Antropometri merupakan ilmu yang mempelajari pengukuran dimensi tubuh manusia dan penerapannya dalam desain peralatan agar sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui keluhan *muskuloskeletal* pada bahu, lengan atas, serta pinggang sehingga didapatkan data antropometri mahasiswa, diperoleh tinggi siku berdiri pada rentang 76,02–96,38 cm yang dijadikan dasar perancangan desain rangka ergonomis[4].

Selain tantangan ergonomis, hambatan teknis yang umum adalah ketidaktersediaannya peralatan bantu yang dirancang khusus untuk peralatan berat seperti *backhoe loader*. Sebagian besar peralatan yang tersedia di pasaran hanya dirancang untuk kendaraan ringan (mobil atau motor), sehingga tidak kompatibel baik dari segi kapasitas beban maupun konfigurasi roda untuk peralatan berat. Beberapa studi terkait pengembangan *wheel tire lifter* dan *trolley-lifter* untuk kendaraan berat telah membuktikan peningkatan signifikan dalam keselamatan dan efisiensi kerja, terutama dalam proses pemasangan dan pembongkaran ban besar. Oleh karena itu, desain peralatan bantu yang secara khusus menyesuaikan dengan karakteristik teknis ban *backhoe loader*, termasuk berat, diameter, dan konfigurasi hub, merupakan kebutuhan mendesak di bidang ini [5].

Pada tahap ini, perancangan rangka merupakan aspek yang sangat kritis karena rangka berfungsi sebagai fondasi yang menopang seluruh komponen. Perangkat lunak seperti *SolidWorks* dapat digunakan untuk memfasilitasi proses desain dan simulasi analisis beban [6]. Saat mendesain rangka, penting

untuk memastikan kekuatan, kelayakan, dan keamanannya dengan mempertimbangkan semua beban yang akan ditanggungnya [7]. Selain itu, pemilihan bahan yang tepat merupakan faktor krusial karena langsung mempengaruhi kekuatan rangka, ketahanan korosi, dan hasil produksi akhir. Bahan yang tidak sesuai dapat menyebabkan tegangan dan beban berlebihan, yang dapat menyebabkan struktur rangka gagal menahan beban. Oleh karena itu, bahan yang dipilih harus memastikan efisiensi operasional mesin dan meningkatkan produktivitas [8].

Sehingga dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat membuat kondisi ini mendorong inovasi untuk menciptakan solusi baru. Salah satu inovasi penting dalam Tugas Akhir ini Adalah mendesain rangka alat bantu pemegang roda *backhoe loader* 416F2 menggunakan software *solidworks*. Fungsi utama alat bantu ini adalah memperingan dan mempermudah pekerjaan teknisi dan mahasiswa di lingkungan kampus Politeknik Negeri Madura, sehingga meningkatkan efisiensi waktu dan menghemat tenaga.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang diberlakukan penulis pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan struktur rangka utama penjepit roda pada alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* 416F2?
2. Bagaimana nilai ergonomi dari rancangan desain rangka pada alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* 416F2 berdasarkan metode RULA?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan ruang lingkup masalah yang ingin dibatasi oleh penulis agar pembahasan dalam penelitian ini tidak meluas, penelitian ini dibatasi pada perancangan, analisis, dan pengujian struktur rangka alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* 416F2. Penelitian ini tidak membahas perancangan maupun analisis mekanisme penjepit roda dan sistem pengangkat roda, sehingga pembahasan difokuskan pada struktur rangka sebagai komponen utama alat bantu.

1.4 Tujuan

Dengan demikian tujuan penelitian tugas akhir yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Dapat merencanakan struktur rangka utama penjepit roda pada alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* 416F2?
2. Mengetahui nilai ergonomi dari rancangan desain rangka pada alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* berdasarkan metode RULA.

1.5 Manfaat

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Politeknik Negeri Madura dengan memperhatikan permasalahan yang ada. Adapun manfaat alat bantu ini adalah dapat digunakan dalam proses belajar mengajar di Politeknik Negeri Madura.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada tahap awal penelitian dilakukan beberapa studi literatur sebagai acuan penulis merancang dan membuat “Desain Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda *Backhoe Loader* 416F2”. Studi literatur yang dilakukan berupa metode penelitian yang sudah pernah dibuat peneliti sebelumnya. Terdapat tiga studi literatur sebagai berikut:

Pada tahun 2022, [9] melakukan penelitian berjudul “Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengolah Limbah Tulang Ikan Menjadi Bahan Dasar Pakan Ternak Berkapasitas 500 kg/jam Menggunakan Penggerak Motor Bensin 5,5 HP”. Penelitian tersebut menggunakan material ASTM A36 sebagai bahan rangka dengan tujuan merancang struktur rangka mesin yang mampu menahan beban kerja sebesar 86 Kg secara aman dan stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material ASTM A36 memiliki kekuatan mekanik Tegangan *von misses* terbesar $< yield\ strength$ material sehingga desain dan konstruksi rangka aman dan *Displacement* terbesar < 1 sehingga desain dan konstruksi tegar dan kokoh sesuai dengan karakteristik konstruksi yang direncanakan.

Pada tahun 2021, [10] melakukan penelitian berjudul “Optimalisasi Desain Mesin Perajang Keripik Pisang dengan Mempertimbangkan Nilai Ergonomi”. Penelitian tersebut bertujuan untuk memperbaiki desain mesin perajang keripik pisang berbasis ergonomi dengan menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) sebagai alat analisis postur kerja operator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan

analisis RULA mampu meningkatkan tingkat keamanan, kenyamanan, serta mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal pada operator dengan adanya pengurangan nilai RULA menjadi 2 yang artinya desain mesin dapat diterima.

Berikutnya tahun 2025, [11] melakukan penelitian berjudul “Desain Rangka Mesin *Vertical Injection Molding* dengan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)”. Dalam penelitian tersebut dilakukan pengujian simulasi desain rangka menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2020 untuk memperoleh nilai tegangan *von mises*, defleksi (*displacement*), serta faktor keamanan (*safety factor*) baik maksimum maupun minimum, sehingga kelayakan dan keamanan desain rangka dapat dievaluasi secara menyeluruh. Hasil simulasi digunakan sebagai dasar penentuan apakah rangka yang dirancang mampu menahan beban kerja dan dinyatakan aman secara struktural.

2.2 Spesifikasi Roda *Backhoe loader*

Spesifikasi roda *backhoe loader* merupakan data teknis. Spesifikasi ini penting karena berkaitan langsung dengan kegiatan remove dan install roda, Salah satu spesifikasi utama yang diperlukan adalah berat roda belakang, Oleh karena itu, berat roda digunakan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas dan kekuatan rangka alat bantu agar proses perawatan lebih aman dan ergonomis. Adapun ukuran roda sebagai berikut:

2.2.1 Roda Depan

Roda depan pada *backhoe loader* CAT 416F2 seperti pada Gambar 2.1 berfungsi sebagai roda kemudi sekaligus menopang beban dari sistem *loader* bagian depan. Roda depan umumnya menggunakan ban berukuran lebih kecil dibandingkan roda

belakang agar alat berat memiliki kemampuan manuver yang baik. Ukuran ban roda depan yang digunakan adalah 12.5/80-18. Dengan spesifikasi diameter 100cm, lebar 50cm, dan berat roda depan berada pada kisaran 115 kg (254 lb) yang merupakan gabungan antara berat ban dan velg baja [12].



Gambar 2. 1 Roda Depan

2.2.2 Roda Belakang

Roda belakang pada *backhoe loader* CAT 416F2 seperti pada gambar 2.2 memiliki peran utama dalam menopang beban sistem *backhoe* dan menjaga keseimbangan alat berat saat melakukan penggalian. Oleh karena itu, roda belakang menggunakan ukuran ban yang lebih besar dan lebih berat dibandingkan roda 5 depan. Ukuran ban roda belakang yang umum digunakan adalah 19.5L-24. Dengan spesifikasi diameter 120cm, lebar 50cm, dan berat roda belakang pada kisaran 175 kg (386 lb) yang merupakan gabungan antara berat ban dan velg baja [13].



Gambar 2. 2 Roda Belakang

2.3 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 adalah jenis baja karbon rendah yang memiliki kekuatan yang baik dan mudah dibentuk serta disambung las. Baja ini termasuk dalam kelompok baja karbon rendah, yang memiliki kelenturan tinggi dan mudah diolah melalui proses pemecinan. [14]. Angka ‘36’ pada penamaan ASTM A36 merupakan nilai minimum dari *yield strength* baja yaitu sebesar 36 Mpa [15]. spesifikasi material ASTM A36 dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Spesifikasi material ASTM A36

Sifat	Nilai
<i>Density</i> (massa jenis)	7850 Kg/m ³
<i>Young modulus</i> (modulus elastisitas)	200 GPa
<i>Shear modulus</i> (modulus geser)	79.3 GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.26
<i>Yield strength</i> (kekuatan luluh)	250 MPa
<i>Tensile strength</i> (kekuatan Tarik)	400 MPa

2.4 Rangka

Rangka merupakan struktur penyangga utama mesin yang tersusun dari elemen batang yang saling terhubung membentuk konstruksi kaku dan stabil seperti pada gambar 2.3. Rangka berfungsi menopang seluruh beban mesin sehingga harus dirancang melalui analisis beban yang akurat. Kekuatan rangka sangat dipengaruhi oleh ketepatan perhitungan beban dan pemilihan material yang sesuai, karena kesalahan pada kedua aspek tersebut dapat menyebabkan kegagalan struktur dalam menahan beban kerja[16]. Maka dari itu diperlukannya

perencanaan pada konstruksi rangka seperti:



Gambar 2. 3 Rangka

2.4.1 Konsep kesetimbangan dan gaya momen

Sebuah benda dikatakan dalam keadaan seimbang jika jumlah gaya yang bekerja pada benda (F_x dan F_y) tersebut membentuk gaya atau sistem gaya yang ekuivalen dengan nol serta jumlah momen yang bekerja juga ekuivalen dengan nol. Syarat dari keseimbangan suatu benda dapat dihitung secara analitis.

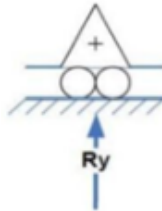
- Untuk gaya yang terjadi pada arah *horizontal* dapat dihitung menggunakan persamaan: Jumlah gaya arah = 0 atau $\sum F_x = 0$
- Untuk gaya yang terjadi pada arah *vertical* dapat dihitung menggunakan persamaan: Jumlah gaya arah = 0 atau $\sum F_y = 0$
- Untuk momen yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan: Jumlah momen = 0 atau $\sum M = 0$

2.4.2 Tumpuan

Tumpuan merupakan tempat bersandarnya konstruksi dan tempat bekerjanya reaksi, jenis tumpuan yang digunakan berpengaruh terhadap jenis konstruksi. Tumpuan dalam ilmu statistika terbagi menjadi 3 macam yaitu:

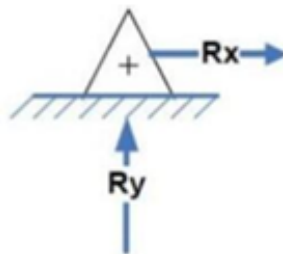


- Tumpuan rol penghubung: tumpuan *roll* penghubung dapat memberikan reaksi berupa gaya *vertical* ($R_y = F_y$). Tumpuan ini tidak dapat menerima *momen* (M) dan gaya *horizontal* (F_x) pada tumpuan ini akan bergerak atau menggelinding ketika diberikan gaya *horizontal* tumpuan *roll* penghubung dapat dilihat pada gambar 2.4



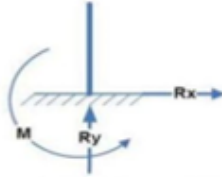
Gambar 2. 4 Sketsa tumpuan *roll* penghubung

- Tumpuan sendi: tumpuan sendi dapat menerima dua reaksi gaya, yaitu gaya *vertical* (F_y) dan gaya *horizontal* (F_x). Pada tumpuan ini tidak dapat menerima *momen* (M), jika diberi *momen* karena sifat sendi, maka tumpuan akan berputar. Tumpuan sendi dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Sketsa tumpuan sendi

- Tumpuan jepit: tumpuan jepit dapat menerima semua reaksi yaitu gaya *vertical* (F_y) gaya *horizontal* (F_x) dan *momen* (M). Tumpuan jepit dapat dilihat pada gambar 2.6

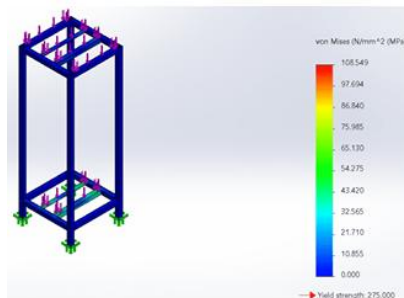


Gambar 2. 6 Sketsa tumpuan penjepit

2.5 Analisis Struktur rangka

Analisis struktur ini menggunakan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) pada *SolidWorks* 2025 untuk menganalisis respons struktur rangka akibat pembebanan. *Output* simulasi dianalisis berupa nilai dan distribusi tegangan (*von Mises*), defleksi maksimum (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) guna menilai batas keamanan desain [11].

2.5.1 Tegangan (*Von Mises*)

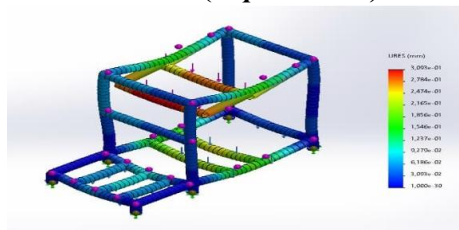


Gambar 2. 7 Simulasi *von mises*

Dalam analisis elemen hingga (FEA), distribusi tegangan *von Mises* digunakan untuk mengevaluasi kekuatan komponen,

mengidentifikasi area kritis yang rentan terhadap kegagalan, dan mengoptimalkan desain dengan mendistribusikan beban atau memperkuat area dengan tegangan tinggi [18]. Analisis distribusi tegangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* seperti pada Gambar 2.7 di mana tegangan maksimum ditunjukkan dengan warna merah dan tegangan minimum ditunjukkan dengan warna biru.[19]

2.5.2 Defleksi maksimum (*displacement*)

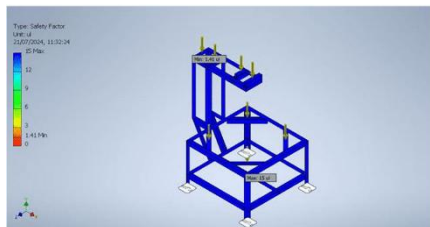


Gambar 2. 8 Simulasi Defleksi

Defleksi maksimum (*displacement*) merupakan parameter kritis yang mengindikasikan besarnya perubahan bentuk (deformasi) struktur pada arah pembebanan. Nilai defleksi yang rendah menunjukkan bahwa struktur memiliki kekakuan (*stiffness*) yang memadai, sehingga hanya mengalami perubahan geometri yang kecil. Sebaliknya, nilai defleksi maksimum yang tinggi mengindikasikan deformasi yang signifikan, yang berpotensi mengganggu fungsi, kenyamanan, atau integritas struktur secara keseluruhan[11]. Dalam analisis defleksi seperti pada Gambar 2.8 diketahui bahwa deformasi maksimum pada desain ditampilkan dengan warna merah, sedangkan deformasi minimum ditampilkan dengan warna biru. [19]

2.5.3 Faktor keamanan (*safety factor*)

Faktor Keamanan (*Safety Factor*) merupakan parameter rasio kritis dalam desain teknik yang menjamin bahwa struktur atau komponen dapat beroperasi dengan aman di bawah kondisi pembebanan kerja, dengan memberikan variasi material, ketidak akuratan analisis, dan beban tak terduga. Dalam evaluasi desain melalui simulasi, nilai *Safety Factor* yang dihasilkan menjadi indikator utama kekuatan struktur. Nilai di atas batas minimum yang ditetapkan menunjukkan desain yang aman dan layak, sedangkan nilai di bawah batas tersebut mengindikasikan potensi kegagalan (*failure*) sehingga desain perlu dimodifikasi [20]. Analisis *safety factor* dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*, di mana *safety factor* minimum ditunjukkan pada warna merah, jika hasil perhitungan diperoleh nilai faktor keamanan lebih besar dari jenis bebannya hal ini menunjukkan bahwa material yang dipergunakan pada stand kuat seperti pada Gambar 2.9 [19].



Gambar 2. 9 Simulasi *Safety Factor*

Secara teoritis, penentuan nilai faktor keamanan dapat didasarkan pada jenis beban yang bekerja pada suatu komponen yang disajikan pada Tabel 2.2 Berikut:

Tabel 2. 2 *Safety Factor*

Jenis Beban	<i>Safety Factor</i>	Keterangan
Beban statis	1,2-2	Beban yang bekerja secara tetap dan tidak berubah terhadap waktu tanpa kejutan
Beban dinamis	2-3	Beban yang berubah akibat adanya gerakan.
Beban kejut	3-5	Beban yang mengalami hentakan akibat gaya mendadak

Nilai faktor keamanan pada tugas akhir ini bisa didapat dengan cara perhitungan manual menggunakan rumus berikut ini:

$$Safety\ Factor = \frac{yield\ strength}{stress}$$

2.6 Antropometri

Antropometri adalah ilmu yang mempelajari dimensi dan ukuran tubuh manusia. Data antropometri disajikan dalam bentuk persentil untuk menunjukkan variasi ukuran tubuh dalam suatu populasi. Data ini digunakan sebagai dasar dalam merancang produk, peralatan, dan fasilitas kerja agar sesuai dengan karakteristik pengguna.

Penerapan antropometri bertujuan untuk menyesuaikan alat dengan kemampuan manusia sehingga tercipta desain yang ergonomis, nyaman, dan aman. Dengan demikian, risiko kesalahan kerja (*design-induced error*), kelelahan, dan cedera akibat desain yang tidak sesuai dapat diminimalkan.

Tabel 2. 3 Antropometri orang Indonesia

No	Dimensi Tubuh	Pria			Wanita		
		Persentil (mm)			Persentil (mm)		
		P ₅	P ₅₀	P ₉₅	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
1	Tinggi Tubuh Posisi Berdiri Tegak	1532	1632	1732	1464	1563	1662
2	Tinggi Mata	1425	1520	1615	1350	1446	1542
3	Tinggi Bahu	1247	1338	1429	1184	1272	1361
4	Tinggi Siku	932	1003	1074	886	957	1028

2.7 Ergonomi

Ergonomi adalah ilmu dan penerapan teknologi yang bertujuan untuk menyesuaikan fasilitas kerja dengan kemampuan dan batasan manusia, baik secara fisik maupun mental [21]. Penerapan ergonomi bertujuan untuk merancang sistem kerja yang lebih efektif, nyaman, aman, sehat, dan efisien bagi pekerja [22]. Istilah ergonomi berasal dari bahasa Yunani dan terdiri dari dua kata, yaitu “*Ergon*” yang berarti pekerjaan, dan “*Nomos*” yang berarti aturan atau hukum. Berdasarkan kedua kata tersebut, ergonomi dapat didefinisikan sebagai kumpulan aturan dan sistem kerja yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, mengurangi atau menghilangkan beban kerja [23]. *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) merupakan metode penilaian ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi postur kerja tubuh bagian atas, meliputi leher, punggung, lengan, dan pergelangan tangan. Metode ini menilai posisi, gaya, dan gerakan kerja untuk mengidentifikasi tingkat risiko gangguan *muskuloskeletal*, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perbaikan desain kerja atau alat kerja [24]. Adapun gambar dan skema penilaian RULA

ditunjukkan pada Gambar 2.10

RULA Employee Assessment Worksheet

Task Name: _____ Date: _____

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:



Step 1a: Adjust...
If shoulder is relaxed: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is abducted or person is leaning: +1

Step 2: Locate Lower Arm Position:



Step 2a: Adjust...
If forearm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 3: Locate Wrist Position:



Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Step 4: Wrist Twist:



Step 4a: Adjust...
If forearm is twisted in mid-range: +1
If wrist is at end of its range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A.

Step 6: Add Muscle Use Score
If posture is easy (no load, neutral posture), OR if action is repeated every 45 sec or more: 0
If load is 4.4 lbs. (200g) or more: +2
If load is 4.4 to 22 lbs. (200g to 1kg): +1
If load is 4.4 to 22 lbs. (200g to 1kg) or repeated: +2
If force from 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Step 7: Add Force/Load Score
If load is 4.4 lbs. (200g) or more: +2
If load is 4.4 to 22 lbs. (200g to 1kg): +1
If load is 4.4 to 22 lbs. (200g to 1kg) or repeated: +2
If force from 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Step 8: First Row in Table C
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. First row in Table C.

Table A: Upper Arm

Upper Arm	Wrist	Twist	Twist	Twist	Twist	Twist
1	1	2	2	2	3	3
2	1	2	2	2	3	3
3	1	2	2	2	3	3
4	1	2	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3
6	1	2	2	2	3	3

Table B: Neck, Trunk, and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:



Step 9a: Adjust...
If neck is bent: +1
If neck is side bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position:



Step 10a: Adjust...
If trunk is bent: +1
If trunk is side bending: +1

Step 11: Legs:
If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Table C: Neck, Trunk, Leg Score

Neck	Trunk	Leg	Score
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

Table D: Final RULA Score

Wrist / Arm Score	Neck / Trunk / Leg Score	Final RULA Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10

Scoring First Score from Table C:
1-2 = immediate posture
3-4 = further investigation, change may be needed
5-6 = further investigation, change may be needed
7-10 = investigate and implement change

Table E: Neck, Trunk, and Leg Score

Neck	Trunk	Leg	Score
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

Table F: Final RULA Score

Wrist / Arm Score	Neck / Trunk / Leg Score	Final RULA Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10

Based on RULA, a survey method for the investigation of awkward postures, Mollergaard & Corlett, Applied Ergonomics 1990, 21(2), 94-99

Gambar 2. 10 Tabel Ergonomi (RULA)

2.8 Penggunaan *SolidWorks* dalam Perancangan Rangka

Dalam proses perancangan, tahap awal adalah menyusun desain alat dalam bentuk gambar kerja. Desain ini didasarkan pada data spesifikasi roda dan jenis bahan yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan alat. Pembuatan gambar desain dimulai dengan mendesain setiap komponen alat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* [19].

SolidWorks merupakan perangkat lunak desain berbasis CAD (*Computer Aided Design*) yang digunakan untuk membuat model tiga dimensi secara digital. Perangkat lunak ini mendukung proses perancangan yang cepat dan presisi melalui sistem pemodelan parametrik, sehingga perubahan dimensi atau bentuk dapat dilakukan dengan mudah tanpa harus mengulang desain dari awal. Selain itu, *SolidWorks* dilengkapi fitur simulasi dan analisis yang memungkinkan evaluasi kekuatan, tegangan, serta kinerja desain secara virtual sebelum tahap



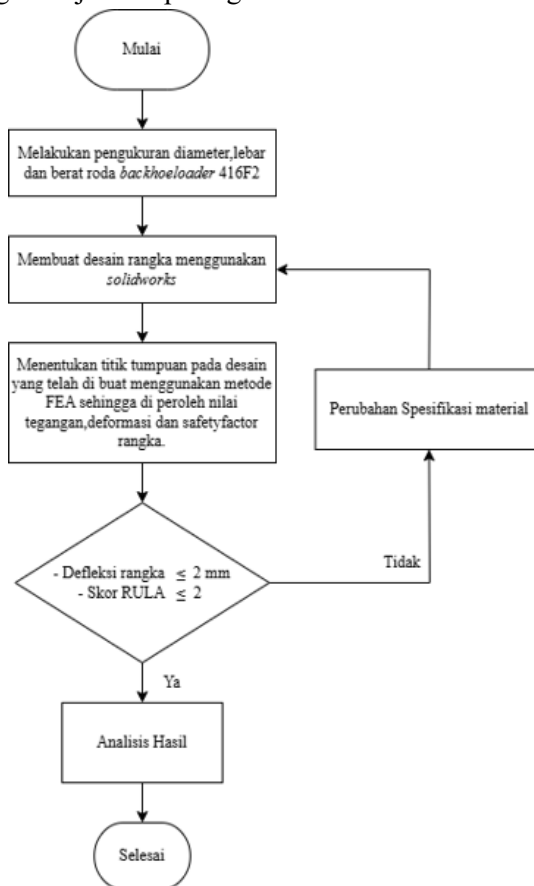
produksi. Dengan kemampuan visualisasi 3D dan analisis, *SolidWorks* membantu meningkatkan efisiensi waktu perancangan, akurasi desain, serta optimalisasi penggunaan material [25].

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Dalam tugas akhir ini, penulis menggunakan diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2 Proses dan Prosedur Pengerjaan

Beberapa tahapan dalam proses dan prosedur pengerjaan rangka alat bantu *remove instal* roda *backhoe loader* 416F2 diantaranya:

- a. Pengukuran Roda *Backhoe loader* 416F2: Pengambilan data roda meliputi diameter roda belakang 130cm (terbesar), lebar roda belakang 50cm (terlebar) menggunakan alat ukur *roll meter* dan berat roda belakang 175Kg (terberat) dari data manual book *Backhoe loader* 416F2 yang digunakan sebagai dasar penentuan dimensi dan kapasitas rangka.
- b. Perancangan Desain: Berdasarkan hasil pengukuran dilakukan perancangan rangka menggunakan *solidworks* 2025 untuk menentukan dimensi rangka yang sesuai dengan diameter dan lebar roda, selain itu juga untuk menentukan material rangka berdasarkan spesifikasi berat roda.
- c. Simulasi Rangka: Setelah perancangan desain rangka dilanjut dengan penentuan titik tumpuan dan pembebanan pada model rangka, kemudian dianalisis menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Analisis ini bertujuan untuk memperoleh nilai tegangan, deformasi, dan *factor of safety* rangka akibat beban roda dan pengangkat roda yang bekerja.
- d. Analisis Hasil:
 1. menganalisa hasil analisis rangka melalui metode FEA dengan parameter keamanan defleksi maksimum $\leq 2\text{mm}$, Tegangan maksimum $\leq 350\text{ Mpa}$ (*Yield strength* ASTM A36), *Safety factor* $1,4 < \text{SOF} < 10$ sehingga desain dan konstruksi aman dan tidak boros material [9].

2. Menganalisis skor ergonomi dengan metode RULA melalui dengan parameter skor ≤ 2 sehingga desain rangka dapat dikatakan ergonomis dan nyaman digunakan.
- e. DED (*Detail Engineering Design*): Tahap akhir dalam perancangan rangka alat bantu *remove instal* roda *backhoe loader* 416F2 setelah desain dinyatakan memenuhi kriteria berdasarkan hasil analisis FEA dan analisis ergonomi RULA. Tahapan ini berisi dimensi detail dilengkapi dengan ukuran dan spesifikasi yang mencakup tampak depan, samping, atas.
- f. Pembuatan Rangka: Proses penyambungan atau perakitan rangka yang sudah sesuai DED (*Detail Engineering Design*) dan telah dianalisis kekuatannya, sekaligus perhitungan nilai ergonomi RULA.

3.3 Bahan

Berdasarkan perencanaan dalam proses pembuatan alat bantu tugas akhir tersebut, diperlukan bahan dan material yang akan digunakan untuk memperlancar proses perancangan alat. Bahan-bahan yang digunakan adalah *C channel* 80x45x6 mm, Plat 5 mm, menggunakan material ASTM A36.

3.4 Prosedur Simulasi

Prosedur simulasi pada proposal ini dilakukan untuk memastikan alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* aman secara struktural dan ergonomis sebelum diaplikasikan di lapangan. Simulasi dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu simulasi kekuatan rangka menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dan simulasi ergonomi menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA).

3.4.1 Pengujian dan Pengambilan data

Simulasi rangka dilakukan dengan metode *Finite Element*

Analysis (FEA) untuk mengetahui kemampuan rangka alat bantu dalam menahan beban roda *backhoe loader* serta memastikan desain memenuhi kriteria keamanan. Tahapan simulasi FEA meliputi:

1. Pembuatan Model 3D

Desain rangka alat bantu dibuat menggunakan *software SolidWorks* berdasarkan konsep dan ukuran yang telah ditentukan.

2. Penentuan Material

Material rangka ditentukan sesuai spesifikasi baja struktural yang umum digunakan, dengan parameter sifat mekanik dimasukkan ke dalam *software*.

3. Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Penentuan tumpuan (*fixtute*) dan pembebanan dilakukan sesuai kondisi kerja aktual saat proses *remove* dan *install* roda.

4. Proses *Meshing*

Model rangka dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) untuk memperoleh hasil simulasi yang akurat.

5. Analisis dan Evaluasi Hasil

Hasil simulasi berupa tegangan *von Mises*, deformasi, dan faktor keamanan dianalisis untuk mengetahui apakah rangka aman digunakan.

3.4.2 Simulasi Ergonomi

Simulasi ergonomi menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) untuk menilai tingkat risiko postur kerja operator saat menggunakan alat bantu *remove install* roda. Tahapan simulasi RULA meliputi

1. Perancangan Desain Alat

Desain awal alat bantu dibuat menggunakan *software*

SolidWorks dengan mempertimbangkan tinggi alat , posisi pegangan, serta jangkauan kerja operator dengan menggunakan standar rata-rata tinggi mahasiswa-mahasiswi Politeknik Negeri Madura

2. Identifikasi Aktivitas Kerja
Menentukan aktivitas utama mekanik pada saat pengoperasian alat bantu.
3. Penentuan Postur Kerja
Analisis sudut lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan, leher, punggung, dan kaki berdasarkan posisi kerja operator.
4. Penilaian Skor RULA
Setiap bagian tubuh diberi skor sesuai standar metode RULA untuk memperoleh nilai akhir risiko ergonomi.
5. Analisis Tingkat Risiko
Skor RULA dianalisis untuk mengetahui tingkat risiko cedera *muskuloskeletal* dan kebutuhan perbaikan desain.
6. Evaluasi Desain Alat
Hasil simulasi ergonomi digunakan sebagai dasar penyempurnaan desain agar lebih aman dan nyaman bagi operator.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

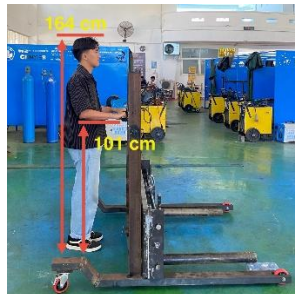
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Struktur Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda *Backhoe Loader* 416F2

Perancangan struktur rangka dilakukan untuk menghasilkan alat bantu *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2 yang kuat, aman, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pada subbab 4.1 ini dibahas proses perancangan, pemilihan desain, serta analisis kekuatan struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA).

4.1.1 Data Antropometri Pengguna

Data antropometri pengguna digunakan sebagai dasar dalam menentukan dimensi alat bantu *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2, khususnya pada tinggi pegangan agar sesuai dengan postur tubuh pengguna. Pengukuran yang dilakukan adalah tinggi siku berdiri karena dimensi tersebut berpengaruh terhadap kenyamanan dan postur kerja operator saat mengoperasikan alat. Pengukuran dilakukan terhadap delapan responden dengan posisi berdiri tegak, lengan menggantung rileks di samping tubuh, dan siku ditekuk sekitar 90°. Dokumentasi proses pengukuran tinggi siku berdiri ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pengukuran Tinggi Siku

Pengukuran tinggi siku berdiri dilakukan terhadap delapan responden yang memiliki tinggi badan berbeda, sehingga didapatkan data :

Tabel 4. 1 Tinggi Badan dan Siku

No.	Nama	Tinggi Badan (cm)	Tinggi Siku Berdiri (cm)
1.	Tutus	153	94
2.	Selvi	156	96
3.	Luqman	160	99
4.	Febrian	164	101
5.	Risky	166	103
6.	Aulia	168	104
7.	Sandy	170	105
8.	Adit	173	107
RATA-RATA			101

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap delapan macam tinggi badan, diperoleh rata-rata tinggi badan sebesar 164 cm dan rata-rata tinggi siku berdiri sebesar 101 cm. Nilai rata-rata tinggi siku tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan tinggi pegangan alat bantu agar sesuai dengan postur tubuh pengguna. Dengan tinggi pegangan yang dirancang, operator dapat bekerja pada posisi siku yang lebih alami sehingga mengurangi gerakan membungkuk maupun mengangkat bahu secara berlebihan. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan, mengurangi kelelahan otot, serta mendukung penerapan prinsip ergonomi pada alat bantu *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2.

4.1.2 Hasil Perancangan Rangka

Perancangan struktur rangka pada penelitian ini merupakan hasil pengembangan dari desain alat bantu yang dikembangkan oleh penelitian "Pembuatan Alat Bantu Melepas

dan Memasang Roda pada Proses *Quick Service* Kendaraan di Bengkel Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta." [26] Desain pada gambar 4.2 dipilih sebagai acuan karena memiliki fungsi yang sama, yaitu membantu proses pelepasan dan pemasangan roda secara lebih aman dan ergonomis.



Gambar 4. 2 Referensi Desain Alat Pengangkat Roda

Pengembangan desain dilakukan dengan menyesuaikan karakteristik roda belakang *Backhoe Loader* CAT 416F2, yang memiliki berat sekitar 175 kg, diameter 120 cm, dan lebar 50 cm. Beberapa modifikasi yang dilakukan meliputi perubahan dimensi rangka, penyesuaian tinggi kerja berdasarkan data antropometri pengguna yang disajikan pada Tabel 4.1, penyesuaian dudukan roda agar sesuai dengan ukuran roda *Backhoe Loader*, serta pemilihan profil material rangka yang lebih efisien namun tetap memenuhi kebutuhan kekuatan struktur. Seluruh proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2025 sehingga menghasilkan desain yang sesuai dengan kebutuhan operasional dan memiliki nilai ergonomi yang lebih baik. Adapun 3 referensi desain sebagai berikut:

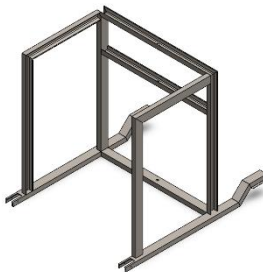
A. Desain A



Gambar 4. 3 Desain A

Desain A pada gambar 4.2 merupakan rangka sederhana dengan kaki penopang bawah sejajar dari depan hingga belakang. Rangka menggunakan material *square tube* 80x80x8. Kekurangan desain ini adalah penggunaan material *square tube* 80x80x8 yang menyebabkan rangka terlalu tinggi jika di berikan roda troli sehingga kurang efisien dalam proses pelepasan dan pemasangan roda.

B. Desain B



Gambar 4. 4 Desain B

Desain B pada gambar 4.3 menggunakan konstruksi rangka portal sederhana yang seluruhnya terbuat dari material *channel U*. Desain ini memiliki struktur yang cukup kuat dan mudah dibuat, namun penggunaan material yang relatif banyak

menyebabkan rangka menjadi berat dan kurang efisien. Selain itu, jika ditambahkan komponen pemegang roda, berat total alat akan semakin meningkat. Adanya balok melintang pada sisi kanan dan kiri rangka juga dapat menghambat akses saat proses pelepasan maupun pemasangan roda *backhoe loader*, sehingga kurang praktis dalam pengoperasiannya.

C. Desain C



Gambar 4. 5 Desain C

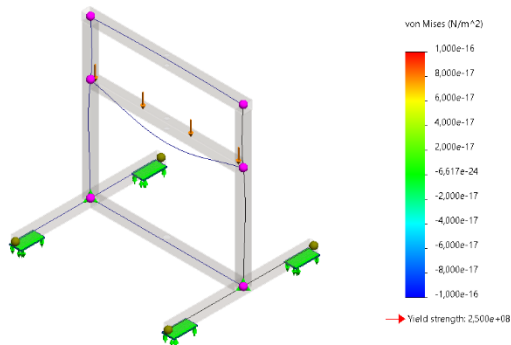
Berdasarkan hasil evaluasi beberapa alternatif desain, Desain C dipilih sebagai desain akhir karena mampu memenuhi kebutuhan fungsional alat dengan penggunaan material yang lebih efisien. Tidak adanya balok melintang pada area kerja memberikan akses yang lebih leluasa saat proses pemasangan dan pelepasan roda *backhoe loader*. Selain itu, konstruksi yang lebih sederhana menghasilkan bobot rangka yang lebih ringan dan biaya manufaktur yang lebih rendah dibandingkan desain lainnya. Oleh karena itu, Desain C dinilai paling efektif dari segi kekuatan struktur, kemudahan operasional, ergonomis serta efisiensi material sehingga layak dijadikan desain pilihan.

D. Perbandingan Desain Rangka

Tabel 4. 2 Perbandingan Alternatif Desain

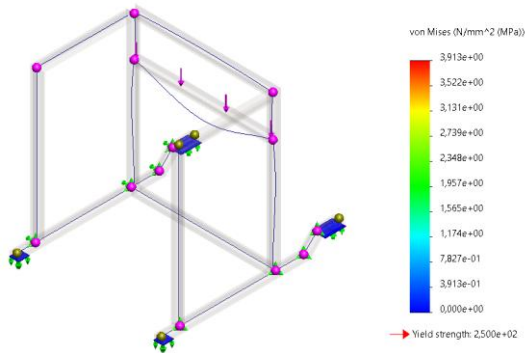
No.	Parameter	Desain A	Desain B	Desain C
1.	Kekuatan Struktur	Baik	Baik	Baik
2.	Efisiensi Material	Kurang	Kurang	Baik
3.	Ergonomi	Baik	Baik	Baik

Berdasarkan hasil analisis awal menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA), desain A yang menggunakan material *square tube* $80 \times 80 \times 5$ mm menghasilkan nilai tegangan (*von Mises*) kurang dari 0,1 MPa, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.6 Nilai tegangan yang sangat rendah menunjukkan bahwa dimensi material yang digunakan terlalu besar (*overdesign*), sehingga penggunaan material menjadi kurang efisien.



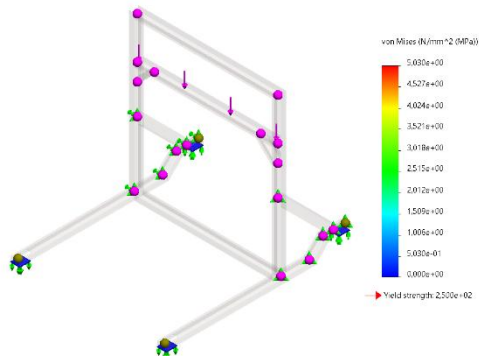
Gambar 4. 6 Parameter Efisiensi Material Desain A

Desain B menggunakan material *C channel* dengan nilai *stress* sebesar 3,9 Mpa, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.7 Meskipun desain ini mampu menahan beban kerja dengan aman, penggunaan material masih dinilai kurang efisien karena dimensi dan jumlah material yang digunakan relatif besar.



Gambar 4. 7 Parameter Efisiensi Material Desain B

Sementara itu, desain C menghasilkan nilai *stress* sebesar 5 Mpa, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8, Nilai tegangan tersebut masih berada jauh di bawah batas luluh material ASTM A36, sehingga struktur dinyatakan aman terhadap pembebanan. Oleh karena itu, desain C dipilih sebagai alternatif desain yang paling sesuai untuk proses *remove* dan *install* roda *Backhoe Loader* 416F2.



Gambar 4. 8 Parameter Efisiensi Material Desain C

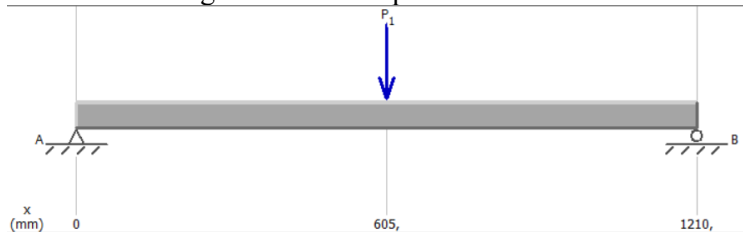
4.1.3 Analisis Kestimbangan

Pada pembuatan desain rangka ini dilakukan analisis gaya *vertical* pada rangka menggunakan konsep kestimbangan statis, dimana kondisi struktur diasumsikan dalam keadaan diam (tidak bergerak) sehingga berlaku persamaan dasar:

$$\sum Fy = 0 \text{ dan } \sum M = 0$$

Analisis ini digunakan untuk menentukan reaksi tumpuan, distribusi gaya pada kaki rangka, serta momen lentur pada balok utama.

A. Perhitungan Reaksi Tumpuan



Gambar 4. 9 Reaksi Tumpuan

Untuk menentukan reaksi pada tumpuan digunakan persamaan momen terhadap titik A.

A. Diketahui:

- Panjang bentang(L) = 1,21m = 1.210mm
- Panjang tumpuan kiri (L_a) = 605mm
- Panjang tumpuan kanan (L_b) = 605mm
- Beban (P) = 3492 N

B. Persamaan Kestimbangan

Karena struktur diam maka berlaku:

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A + R_B - 3492 = 0$$

$$R_A + R_B = 3492 \text{ N}$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa jumlah reaksi pada kedua tumpuan sama dengan total beban yang diterima rangka.

C. Reaksi Tumpuan

Untuk memperoleh besar reaksi pada masing-masing tumpuan digunakan persamaan keseimbangan momen terhadap titik A.

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ RB \times L - P \times L_a &= 0 \\ RB \times 1210\text{mm} - 3492\text{N} \times 605\text{mm} &= 0 \\ RB &= \frac{3492\text{N} \times 605\text{mm}}{1.210\text{mm}} \\ RB &= 1746\text{ N}\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan pengecekan menggunakan momen terhadap titik B (Reaksi tumpuan kanan):

$$\begin{aligned}\Sigma M_B &= 0 \\ RA \times L - P \times L_b &= 0 \\ RA \times 1210\text{ mm} - 3492\text{N} \times 605\text{mm} &= 0 \\ RA &= \frac{3492\text{N} \times 605\text{mm}}{1.210\text{mm}} \\ RA &= 1746\text{ N}\end{aligned}$$

Hasil reaksi tumpuan:

- Reaksi tumpuan kiri (RA) = 1746 N
- Reaksi tumpuan kanan (RB) = 1746 N

Karena beban tepat berada di tengah, maka kedua reaksi sama besar. Hal ini disebabkan posisi pembebanan berada tepat di tengah bentang sehingga distribusi beban bersifat merata terhadap kedua sisi rangka.

D. Perhitungan Momen Lentur

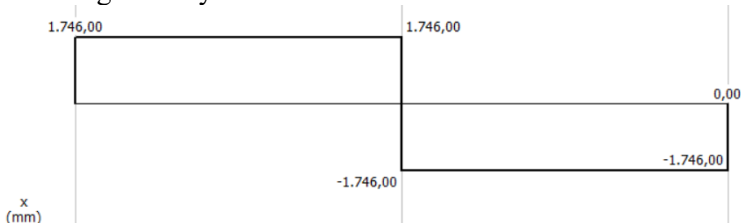
Setelah diketahui besar reaksi tumpuan, langkah berikutnya adalah menentukan momen lentur maksimum pada balok.

$$\begin{aligned}M_{\max} &= RA \times 605 \\ M_{\max} &= 1912,5 \times 605 \\ M_{\max} &= 1.156.330\text{ Nmm} \\ M_{\max} &= 1056,33\text{ Nm}\end{aligned}$$

Nilai momen lentur maksimum (1056,33 Nm) menunjukkan besarnya balok mengalami pembengkokan

akibat pembebanan. Semakin besar nilai momen, semakin besar pula tegangan yang diterima oleh material rangka.

E. Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 10 Diagram Gaya Geser

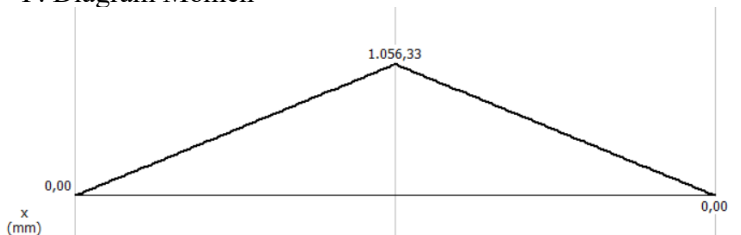
Dari A sampai tengah = +1746 N

Tepat di titik beban turun sebesar 3825 N

Dari tengah sampai B = -1746 N

Di tumpuan B kembali menjadi 0

F. Diagram Momen



Gambar 4. 11 Diagram Gaya Momen

Pada gambar 4.3 momen naik secara linier dari 0,00 di A hingga maksimum di tengah (1.056,33 Nm), kemudian turun linier menjadi 0,00 di B.

4.1.4 Analisis Kekuatan Struktur

Analisis kekuatan struktur dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) pada *software SolidWorks 2025* untuk mengetahui kemampuan rangka dalam menerima beban kerja.

A. Data Pembebanan

Data pembebanan digunakan sebagai dasar dalam melakukan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) pada rangka

alat bantu. Beban yang diberikan berasal dari berat roda belakang *Backhoe Loader* 416F2.

Tabel 4. 3 Data Pembebanan

No.	Komponen	Massa (Kg)
1.	Roda belakang <i>backhoe loader</i> 416F2	175 Kg
2.	Pemegang Roda	79 Kg
TOTAL		254 Kg

Berdasarkan Tabel 4.3, massa roda belakang sebesar 175 kg dan massa pemegang roda sebesar 79 kg, sehingga total massa yang diterima rangka adalah 254 Kg.

Agar simulasi lebih aman dan dapat mengakomodasi kemungkinan adanya beban tambahan saat proses *remove* dan *install* roda, digunakan faktor keamanan statis sesuai Tabel 2.2, yaitu berada pada rentang 1,2–2, dengan nilai yang dipilih sebesar 1,4. Berdasarkan perhitungan:

$$254 \text{ kg} \times 1,4 = 356 \text{ Kg}$$

diperoleh massa pembebanan sebesar 356 kg. Selanjutnya, massa tersebut dikonversi menjadi gaya menggunakan percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$, sehingga diperoleh beban maksimum sebagai berikut:

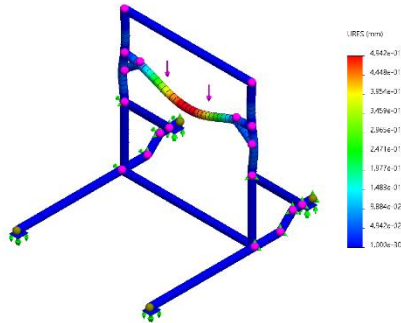
$$356 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 3492 \text{ N}$$

Dengan demikian, beban yang digunakan pada simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) adalah sebesar 3492 N.

4.1.5 Hasil Simulasi Tegangan *Von Mises*

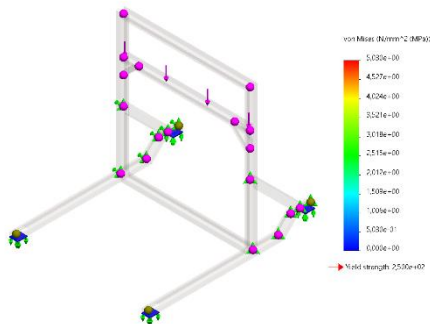
Berdasarkan pembebanan statis 3492 N, hasil simulasi tegangan *von mises* pada gambar 4.12 diperoleh tegangan maksimum sebesar 5 Mpa yang ditunjukkan dengan warna merah sesuai penjelasan pada Subbab 2.5.1. Nilai tersebut masih berada di bawah batas luluh material ASTM A36 yaitu 350 MPa sehingga struktur rangka dinyatakan aman terhadap

keagalan akibat tegangan.



Gambar 4. 12 Simulasi Tegangan *Von Mises*

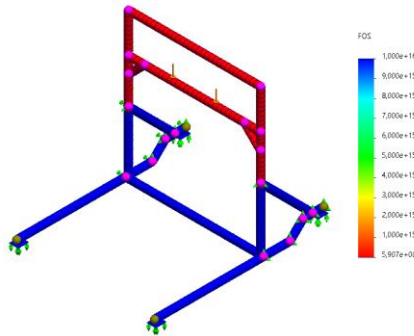
4.1.6 Hasil *Displacement*



Gambar 4. 13 Simulasi *Displacement*

Hasil simulasi pada gambar 4.13 menunjukkan *displacement* maksimum sebesar 0,49 mm ditunjukkan pada warna merah, sedangkan deformasi minimum ditunjukkan pada warna biru sesuai penjelasan pada Subbab 2.5.2. Nilai ini masih memenuhi kriteria desain yaitu kurang dari 2 mm sehingga struktur memiliki kekakuan yang baik.

4.1.7 Hasil Simulasi *Safety Factor*



Gambar 4. 14 Simulasi *Factor Of Safety*

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4.14, diperoleh nilai *factor of safety* (FoS) sebesar 5,9. Nilai tersebut berada pada rentang 1,4 (*Safety Factor*) < FoS < 10, sehingga struktur rangka dinyatakan aman terhadap pembebanan statis. Rentang nilai tersebut juga menunjukkan bahwa desain rangka memiliki tingkat keamanan yang memadai tanpa penggunaan material yang berlebihan, sehingga konstruksi menjadi lebih efisien.

4.1.8 Hasil Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan setelah proses perakitan selesai untuk mengetahui kinerja alat bantu *remove install* roda *backhoeloder* 416F2 pada kondisi aktual. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rangka mampu menahan beban kerja tanpa mengalami perubahan bentuk yang mengganggu fungsi alat. Parameter yang diamati dan di ukur pada pengujian ini adalah kondisi displacement rangka sebelum dan sesudah diberikan beban.

Tabel 4. 4 Pengujian *displacement*

No.	Kondisi Pengujian	Ukuran Sebelum Beban (mm)	Ukuran Sesudah Beban (mm)	Selisih (mm)
1	Beban alat pengangkat (79 kg)	320 mm	320 mm	0 mm
2	Beban alat pengangkat + roda (254 kg)	320 mm	321 mm	1 mm

Berdasarkan Tabel 4.4, hasil pengukuran seperti pada lampiran 10 menunjukkan bahwa dimensi rangka tidak mengalami perubahan yang signifikan setelah diberikan beban. Pada pengujian pertama dengan beban 79 kg, ukuran rangka sebelum dan sesudah pembebanan tetap 320 mm, sehingga tidak terjadi perubahan dimensi.

Pada pengujian kedua seperti pada lampiran 11 dengan beban 254 kg, ukuran rangka berubah dari 320 mm menjadi 321 mm, dengan selisih 1 mm. Perubahan tersebut masih tergolong sangat kecil dan menunjukkan bahwa rangka tetap mampu menopang beban tanpa mengalami deformasi permanen. Hasil ini membuktikan bahwa rangka memiliki kekakuan dan kekuatan yang memadai untuk digunakan pada proses *remove* dan *install* roda *backhoe loader* 416F2.

4.2 Analisis Ergonomi Alat Bantu Menggunakan Metode RULA

Analisis ergonomi dilakukan untuk mengevaluasi postur kerja operator saat menggunakan alat bantu *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2 dengan menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Penilaian dilakukan berdasarkan postur tubuh operator selama proses pengoperasian alat untuk mengetahui tingkat risiko gangguan *musculoskeletal* (MSDs). Hasil penilaian RULA disajikan pada Tabel 4.5.

4.2.1 Tabel Perhitungan RULA

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan RULA

Nama	Tinggi badan	STEP															RULA Score	Risk Level
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Tutus	150	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Selvi	153	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Luqman	160	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Febrian	164	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Risky	166	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Aulia	168	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Sandy	170	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima
Adit	173	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2	Dapat diterima

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel 4.1 didapatkan dari perhitungan seperti contoh berikut ini:

1. Febrian



Gambar 4. 15 Pengambilan Data Ergonomi

Pengambilan data ergonomi dilakukan pada responden Febrian saat menggunakan rangka alat bantu *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2. Postur kerja responden didokumentasikan sebagai dasar penilaian metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) dengan mengamati posisi lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan, leher, batang tubuh, dan kaki. Dokumentasi postur kerja ditunjukkan pada Gambar 4.15.

- Step 1 (*Upper arm position*) = +1 Dikarenakan lengan atas membentuk sudut kurang dari 20°



Gambar 4. 16 Perhitungan Step 1

Pada Step 1 diperoleh skor **1** karena posisi lengan atas berada pada sudut kurang dari 20° terhadap tubuh. Posisi ini menunjukkan bahwa operator bekerja dengan lengan atas yang rileks tanpa mengangkat bahu secara berlebihan. Kondisi tersebut merupakan postur yang ergonomis sehingga tidak memberikan beban berlebih pada otot bahu maupun lengan atas.

- Step 2 (*Lower arm position*) = + 1 Dikarenakan lengan bawah membentuk sudut 90°



Gambar 4. 17 Perhitungan Step 2

Pada step 2 menunjukkan lengan bawah membentuk sudut sekitar 90° , sehingga memperoleh skor **1**. Sudut tersebut merupakan rentang gerak yang direkomendasikan dalam metode RULA karena memungkinkan operator bekerja dengan nyaman serta meminimalkan ketegangan pada sendi siku.

- Step 3 (*Wrist position*) = + 1 Dikarenakan pergelangan tangan membentuk sudut 0°



Gambar 4. 18 Perhitungan Step 3

Pada step 3 Posisi pergelangan tangan berada pada kondisi netral dengan sudut mendekati 0° , sehingga memperoleh skor **1**. Pergelangan tangan yang lurus mengurangi tekanan pada

saraf sehingga risiko gangguan muskuloskeletal pada pergelangan tangan menjadi lebih kecil.

- Step 4 (*Wrist twist*) = + 1 Dikarenakan pergelangan tangan membentuk pada posisi mid range

Pada step 4 menunjukkan pergelangan tangan berada pada posisi *mid-range* (tidak mengalami puntiran berlebihan), sehingga memperoleh skor **1**. Posisi ini menunjukkan bahwa operator dapat menggenggam pegangan alat secara alami tanpa melakukan rotasi pergelangan tangan yang ekstrem.

- Step 5 (*Look up posture score in table A*) = Tabel A menunjukkan skor akhir sebesar 1, jadi pada step 5 nilainya adalah 1

Table A		Wrist Score			
Upper Arm	Lower Arm	1	2	3	4
		Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist
1	1	1	2	1	2
	2	2	2	2	3
	3	2	2	2	3
	3	2	3	3	3
2	1	2	3	3	3
	2	2	3	3	3
	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4
3	1	3	4	4	4
	2	3	4	4	4
	3	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
4	1	4	4	4	4
	2	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5
	2	5	6	6	6
	3	6	6	6	6
	3	6	6	6	6
6	1	7	7	7	7
	2	8	8	8	8
	3	9	9	9	9
	3	9	9	9	9

Gambar 4. 19 Perhitungan Nilai Tabel A

Nilai dari Step 1 sampai Step 4 dimasukkan ke dalam Tabel A sehingga diperoleh skor postur lengan sebesar **1**. Nilai ini menunjukkan bahwa kombinasi posisi lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan masih berada pada kategori

postur yang baik

- Step 6 (*Add muscle use Score*), apakah pekerjaan ini statis dilakukan pada posisi yang sama selama lebih dari 10 menit? Jika YA = + 1 dan jika TIDAK = +0) = + 0
Pada tahap ini diperoleh skor tambahan **0** karena aktivitas penggunaan alat tidak dilakukan secara statis lebih dari 10 menit dan tidak melibatkan gerakan berulang secara terus-menerus. Dengan demikian, beban akibat penggunaan otot tidak mengalami peningkatan.
- Step 7 (*Add force*). = + 1
if load ≤ 4,4 lbs = + 0
if load 4,4 to 22 lbs = + 1
if load 4,4 to 22 lbs static or repeated = + 2
if more than 22 lbs = +3
Berdasarkan metode RULA, aktivitas mendorong atau mengarahkan alat masih memerlukan gaya dari operator sehingga diberikan skor tambahan **1**. Meskipun alat digunakan untuk memindahkan roda yang berat, sebagian besar beban telah ditopang oleh konstruksi alat bantu sehingga gaya yang diterima operator relatif ringan.
- Step 8 (Tambahkan nilai dari step 5 – 7 cari nilai akhir pada tabel C) = 2

Table C		Neck, Trunk, Leg Score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist / Arm Score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Gambar 4. 20 Perhitungan Tabel C

Skor dari Step 5, Step 6, dan Step 7 dijumlah sehingga diperoleh Score A sebesar **2** kemudian di sesuaikan pada Tabel C. Nilai

tersebut menunjukkan bahwa risiko gangguan pada kelompok lengan dan pergelangan tangan masih tergolong rendah.

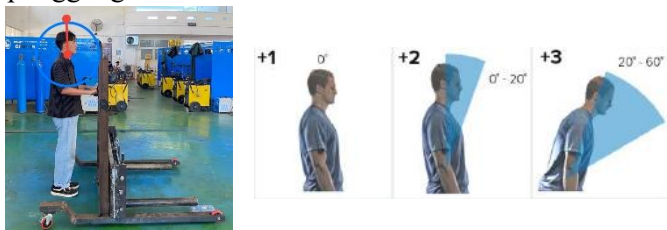
- Step 9 *Neck position* = + 1 Dikarenakan leher membentuk sudut 0°



Gambar 4. 21 Perhitungan Step 9

Leher operator berada pada posisi tegak dengan sudut mendekati 0° , sehingga memperoleh skor **1**. Posisi ini menunjukkan operator tidak perlu menundukkan ataupun mendongakkan kepala secara berlebihan selama menggunakan alat.

- Step 10 (*Trunk position*) = + 1 Dikarenakan batang punggung membentuk sudut 0°



Gambar 4. 22 Perhitungan Step 10

Batang tubuh berada pada posisi tegak tanpa membungkuk sehingga memperoleh skor **1**. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi pegangan alat telah sesuai dengan data antropometri

tinggi siku berdiri sehingga operator dapat bekerja dengan posisi tubuh yang alami.

- Step 11 (*Legs*, apakah posisi kaki tegak = + 1 atau tidak = + 2) = + 1

Posisi kedua kaki menopang tubuh secara stabil dan seimbang sehingga memperoleh skor **1**. Posisi kaki yang stabil membantu menjaga keseimbangan operator selama proses pengoperasian alat.

- Step 12 (*Look up posture score in* tabel B, masukan nilai dari step 9 – 11 dan cari nilai akhir dari tabel B) = 1

Neck Posture Score		Table B: Trunk Posture Score											
		1		2		3		4		5		6	
		Legs		Legs		Legs		Legs		Legs		Legs	
1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
	3	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
	4	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	8	8	8
	6	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
		8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Gambar 4. 23 Hasil Perhitungan Tabel B

Nilai Step 9 sampai Step 11 dimasukkan ke dalam Tabel B, sehingga diperoleh skor **1**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa postur leher, batang tubuh, dan kaki berada pada kondisi ergonomis.

- Step 13 (*Add muscle use score*), apakah pekerjaan ini statis dilakukan pada posisi yang sama selama lebih dari 10 menit ? Jika YA = + 1 dan jika TIDAK = +0) = + 0

Pada tahap ini diperoleh skor tambahan **0** karena aktivitas tidak dilakukan secara statis dalam waktu yang lama dan tidak menyebabkan penggunaan otot secara terus-menerus.

- Step 14 (*Add force*) = + 1

Penilaian gaya pada kelompok leher dan batang tubuh memperoleh skor **1** karena operator tetap memberikan gaya saat mengoperasikan alat, namun beban utama telah

ditopang oleh rangka alat bantu sehingga tekanan pada tubuh menjadi lebih kecil.

- Step 15 (Tambahkan nilai dari step 12 – 14 cari nilai akhir pada tabel C) = + 2

Table C		Neck, Trunk, Leg Score						
Wrist / Arm Score		1	2	3	4	5	6	7+
	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Gambar 4. 24 Hasil Akhir Skor RULA

Nilai dari Step 12, Step 13, dan Step 14 kemudian disesuaikan menggunakan Tabel C sehingga diperoleh skor akhir RULA sebesar 2.

Berdasarkan tabel 4.6, skor 1–2 termasuk kategori postur dapat diterima, sehingga tidak diperlukan tindakan perbaikan terhadap desain alat.

Tabel 4. 6 Skor Ergonomi RULA

Skor	Keterangan
1-2	Postur diterima
3-4	Perlu pemantauan atau perubahan jika dibutuhkan
5-6	Perlu pemantauan lebih lanjut segera melakukan perubahan
7	Perlu pemantauan dan menerapkan perubahan

Hasil ini menunjukkan bahwa dimensi alat yang dirancang berdasarkan data antropometri mampu menghasilkan postur kerja yang ergonomis, mengurangi kecenderungan operator untuk membungkuk atau mengangkat bahu secara berlebihan, serta berpotensi menurunkan risiko terjadinya gangguan *muskuloskeletal* (MSDs).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian terhadap rangka alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* 416F2 maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Rangka alat bantu *remove install* roda *Backhoe Loader* 416F2 berhasil dirancang menggunakan material ASTM A36 dengan memilih Desain yang efisien dan ergonomis. Hasil analisis FEA menunjukkan tegangan *von mises* sebesar 5 MPa, *displacement* maksimum kurang dari 2 mm, dan *factor of safety* sebesar 3,9, sehingga rangka dinyatakan aman dan layak digunakan. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa pada pembebanan 79 kg tidak terjadi perubahan dimensi (0 mm), sedangkan pada pembebanan 254 kg hanya terjadi perubahan sebesar 1 mm, sehingga rangka memiliki kekakuan yang baik dan mampu menahan beban kerja sesuai perancangan.
2. Hasil analisis ergonomi menggunakan metode RULA memperoleh skor 2, yang menunjukkan postur kerja berada pada kategori risiko rendah. Dengan demikian, desain alat bantu telah memenuhi aspek ergonomi, nyaman digunakan, serta dapat mengurangi risiko gangguan *muskuloskeletal* (MSDs).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian terhadap rangka alat bantu *remove install* roda *backhoelaoder* 416F2 maka terdapat beberapa saran:

1. Perlu memperhatikan manual penggunaan dan SOP untuk memastikan pengguna dapat menggunakan alat bantu *remove install* roda *backhoelaoder* 416F2 dengan aman dan benar, terutama dalam konteks pembelajaran

- di lingkungan pendidikan vokasi.
2. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan sistem pengunci roda agar roda tetap stabil selama proses *remove install* sehingga meningkatkan keamanan operator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. H. Peradana *et al.*, “Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 11, No. 4, Tahun 2023 Online: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>,” vol. 11, no. 4, pp. 255–264, 2023.
- [2] I. Hakim, S. Prasetya, and A. Hendratmoko, “Rancang Bangun Sistem Manajemen Ban Berbasis Web Pada Heavy Equipment Maintenance Departemen Quarry,” *J. Mek. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 97–107, 2021, doi: 10.32722/jmt.v2i2.4425.
- [3] S. A. Akbar, L. D. Fathimahhayati, and S. Gunawan, “Analisis Postur Kerja Pada Section Maintenance Tire Dengan Menggunakan Metode Workplace Ergonomic Risk Assessment (Wera) (Studi Kasus: Pt. Riung Mitra Lestari Site Embalut),” *J. PASTI (Penelitian dan Apl. Sist. dan Tek. Ind.)*, vol. 16, no. 2, p. 236, 2022, doi: 10.22441/pasti.2022.v16i2.010.
- [4] K. W. Wirakusuma, N. Aifah, and R. L. Padang, “Integrasi Pendekatan Antropometri dan Metode RULA dalam Perancangan Meja Ragum Ergonomis untuk Praktikum Kerja Bangku,” vol. 6, no. 2, pp. 48–58, 2025.
- [5] S. Patidar, “Mechanism of Inbuilt Automatic Hydraulic Jack used for Light and Heavy Vehicles,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 12, pp. 1919–1925, 2021, doi: 10.22214/ijraset.2021.39654.
- [6] B. Setiawan, I. Triyanti, A. Walid, R. Prasetyo, V. Umro, and D. Cahya, “Aplikasi solidwork untuk rancangan CAD 3D pada mesin 3D printer 2x2x2

- meter,” *J. Eltek*, vol. 19, no. 2, pp. 9–16, 2021, doi: 10.33795/eltek.v19i2.283.
- [7] S. H. Pranoto, S. Yatnikasari, M. N. Asnan, and R. I. Yaqin, “Desain dan Analisis Mata Pisau Pencacah Untuk Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis,” *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 147–152, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.260.
- [8] Y. Alfian Wildiy, Hesti Istiqlaliyah, Nuryo Suwito, Arif Sugianto, and Wibowo Harso Nugroho, “Rancang Bangun Rangka Mesin Chopper Dengan Aplikasi Pisau Bergerigi Kapasitas 60 Kg/Jam,” *J. Mesin Nusantara*, vol. 8, no. 1, pp. 87–96, 2025, doi: 10.29407/jmn.V8i1.24627.
- [9] A. Sai’in, B. Sumiyarso, R. T. Indrawati, and E. Saputra, “Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengolah Limbah Tulang Ikan Menjadi Bahan Dasar Pakan Ternak Berkapasitas 500 kg/jam Menggunakan Penggerak Motor Bensin 5,5 HP,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 3, p. 435, 2022, doi: 10.32497/jrm.V17i3.3857.
- [10] N. Nurlina, A. D. M. B, and M. Wahyu, “Optimalisasi Desain Mesin Perajang Keripik Pisang Mempertimbangkan Nilai Ergonomi UMKM merupakan salah satu kekuatan pembangunan Indonesia, hal tersebut dan desain peralatan yang digunakan (Setiawan , 2017). Obyek amatan pada penelitian ini adalah UMKM,” vol. 19, no. 2, pp. 140–148, 2021.
- [11] F. Ammar and M. Mas’ud, “Desain Rangka Mesin Vertical Injection Molding Dengan Metode Fea,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 25, no. 2, pp. 59–65, 2025.

- [12] R. Tools, P. Number, and P. Description, “PC P-0 Cat erp illa r In,” no. 1, pp. 5–7, 2015.
- [13] R. Procedure, “PC P-0 Cat erp illa r In,” no. 1, pp. 5–7, 2015.
- [14] A. B. Ardiansyah and H. Istiqlaliyah, “Rancang Bangun Rangka Pada Mesin Chopper TwoIn One Menggunakan Solidworks 2020,” *Agustus*, vol. 8, pp. 2549–7952, 2024.
- [15] M. A. Ficki, K. Kardiman, and N. Fauji, “Simulasi Beban Rangka Pada Mesin Penggiling Sekam Padi Menggunakan Perangkat Lunak,” *Rotor*, vol. 15, no. 2, p. 44, 2022, doi: 10.19184/rotor. v15i2.32447.
- [16] R. Ramdani, K. Prayoga, A. Saleh, E. Ginting, and R. Damayanti Apnena, “Rancang Bangun Rangka Mesin Pengaduk Dodol Kapasitas 10 KG,” *J. Tech. Educ. Dev. Cent.*, vol. 18, no. 3, pp. 238–243, 2024.
- [17] “Design and Development of Wheel Tire Lifter for Heavy Motor Vehicle,” *Interantional J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 08, no. 06, pp. 1–5, 2024, doi: 10.55041/ijssrem35828.
- [18] A. P. Mahendra *et al.*, “E -ISSN : 2746-0835 Volume 3 No 4 (2022) JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri) IMPLEMENTASI METODE LEAN SIX SIGMA GUNA MEMINIMALISIR WASTE E -ISSN : 2746-0835 Volume 3 No 4 (2022) JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri),” vol. 3, no. 4, pp. 471–485, 2022.
- [19] R. Baharuddin, “Perancangan Dan Simulasi Struktur Rangka Overhaul Stand Untuk Penggunaan Assembly Dan Diassembly Hydraulic Cylinder Menggunakan Software Solidwork,” *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 38,

- 2021, doi: 10.22441/jtm. V 10i1.10778.
- [20] S. Jurnal and S. Dan, “527-Article Text-3328-1-10-20230325,” vol. 5, no. 199, 2023.
 - [21] M. I. Hamdy and S. Zalisman, “Analisa Postur Kerja dan Perancangan Fasilitas Penjemuran Kerupuk yang Ergonomis Menggunakan Metode Analisis Rapid Entire Body Assessmet (Reba) dan Antropometri,” *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 16, no. 1, p. 57, 2018, doi: 10.24014/sitekin. V 16i1.5388.
 - [22] A. J. Purnomo *et al.*, “Desain Troli Ergonomis sebagai Alat Angkut Gas LPG,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 16, no. 1, pp. 131–140, 2010, [Online]. Available: <https://repository.upnvj.ac.id/6268/2/AWAL.pdf.pdf>
 - [23] P. Eka, D. Karunia, H. Murnawan, M. Pisau, and P. Kentang, “Perancangan alat pembuat mata pisau mesin pemotong singkong dengan mempertimbangkan aspek ergonomi,” vol. 9, no. 1, 2022.
 - [24] A. R. Sya’bana and D. Herwanto, “Analisis Postur Tubuh Menggunakan Metode RULA, REBA Pada Pekerja di Divisi Packaging,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 5909–5915, 2023, doi: 10.32672/jse. V 8i2.5992.
 - [25] A. Prasetyo, A. T. P. Sihole, M. D. Khairunisa, M. Najibbulloh, and Ra. Atmayati, “Implementasi Software Solidworks dalam Perancangan Produksi Lemari untuk Efisiensi Waktu Produksi,” *Sci. J. Reflect. Econ. Accounting, Manag. Bus.*, vol. 8, no. 1, pp. 164–169, 2025, doi: 10.37481/sjr .v 8i1.1030.
 - [26] N. B. Anggoro, “Program studi teknik otomotif fakultas teknik universitas negeri yogyakarta 2019,” 2019.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel RULA.

Date: _____

Task Name: _____

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:



0°



90°



180°

Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position:



0°



90°



180°

Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 3: Locate Wrist Position:



0°



15°



30°

Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1
If wrist is at or near end of range: +1

Step 4: Wrist Twist:



0°



15°



30°

Step 4a: Adjust...
If wrist is at or near end of range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:

Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6

Table A

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. hold 1 minute),
If posture repeated occurs 4x per minute: +1
If posture repeated occurs 6x per minute: +2
If posture repeated occurs 8x per minute: +3

Step 7: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2
If more than 22 lbs, or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C

Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Wrist / Arm	Score
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8

Table C

Step 9: Locate Neck Position:



0°



20°



40°

Step 9a: Adjust...
If neck is side bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position:



0°



30°



60°

Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Step 11: Legs:

If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:

Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

Neck	Trunk	Posture Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30

Table B

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. hold 1 minute),
If posture repeated occurs 4x per minute: +1
If posture repeated occurs 6x per minute: +2
If posture repeated occurs 8x per minute: +3

Step 14: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2
If more than 22 lbs, or repeated or shocks: +3

Step 15: Find Column in Table C

Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk, and Leg Score. Find Column in Table C.

Neck	Trunk	Leg Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30

Table C

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:



0°



20°



40°

Step 9a: Adjust...
If neck is side bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position:



0°



30°



60°

Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Step 11: Legs:

If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:

Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

Neck	Trunk	Posture Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30

Table B

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. hold 1 minute),
If posture repeated occurs 4x per minute: +1
If posture repeated occurs 6x per minute: +2
If posture repeated occurs 8x per minute: +3

Step 14: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2
If more than 22 lbs, or repeated or shocks: +3

Step 15: Find Column in Table C

Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk, and Leg Score. Find Column in Table C.

Neck	Trunk	Leg Score
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30

Table C

RULA Score

Based on RULA, a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Craig, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99



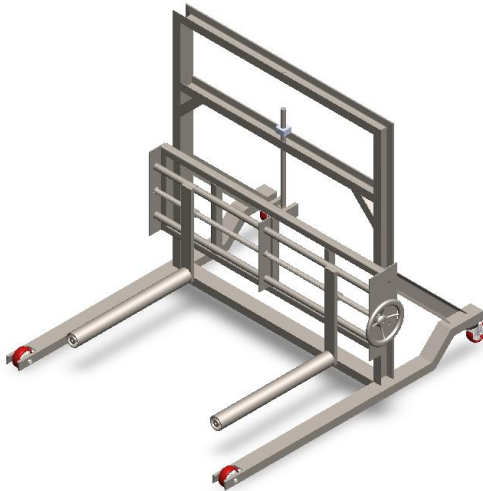
POLTERA

Tugas Akhir TMAB

Lampiran 2. 3D Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda
Backhoe loader 416F2.

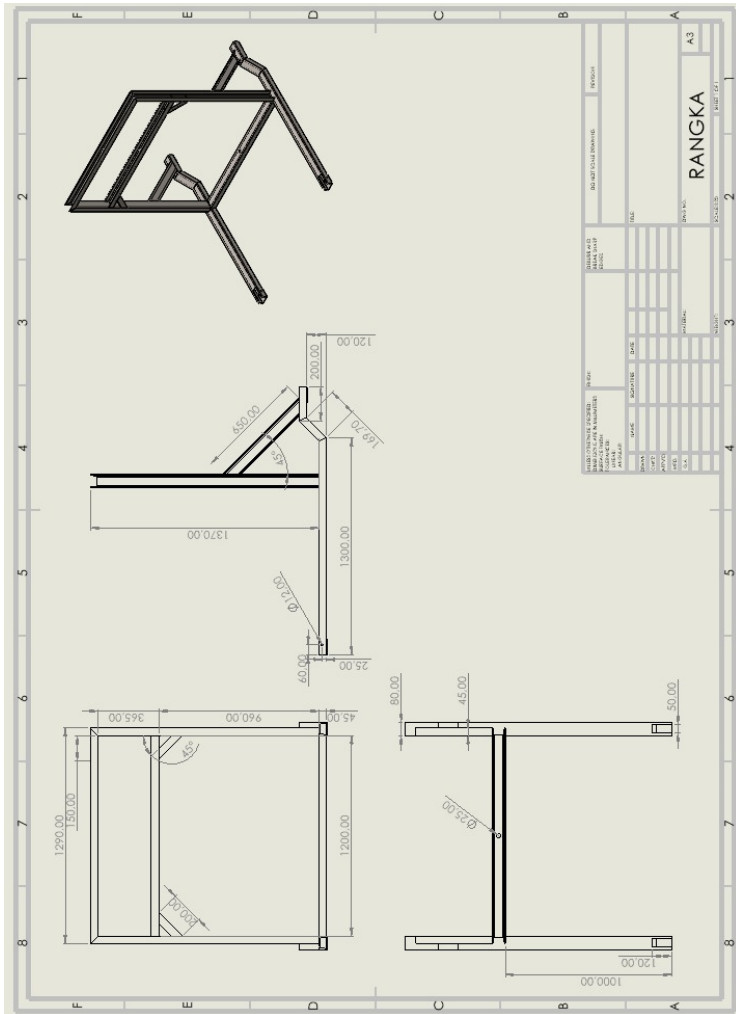


Lampiran 3. 3D Assembly desain rangka dan pengangkat roda
backhoe loader 416F2





Lampiran 4. 2D Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda Backhoe loader 416F2.

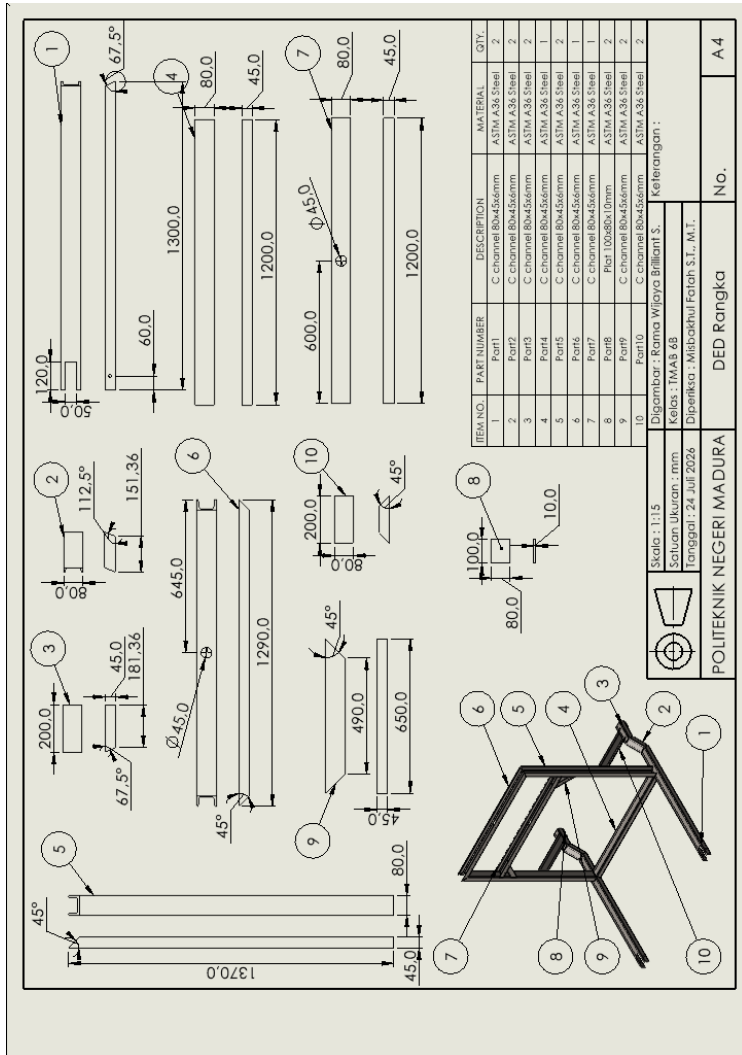




POLTERA

Tugas Akhir TMAB

Lampiran 5. DED Rangka Alat Bantu *Remove install* roda backhoe loader 416F2





Lampiran 6. Hasil Perancangan Rangka Alat Bantu *Remove install* roda *backhoe loader* 416F2



Lampiran 7. Pengujian alat bantu *remove install* roda *backhoe loader* 416F2



Lampiran 8. Hasil saat diberi beban alat pengangkat 79 Kg.



Lampiran 9. Hasil Pengujian beban alat pengangkat dan roda 253 Kg.



BIODATA PENULIS



Rama Wijaya Brilliant Suyanto

dilahirkan di Pasuruan, 21 Oktober 2004.

Anak dari Bapak Suyanto Adi Mulyono dan Ibu Chusnul Chotimah. Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Penulis mulai menuntut ilmu di SDN Petung Asri III pada tahun (2011-2017), melanjutkan ke SMPN 1 Pandaan

pada tahun (2017-2020), dan melanjutkan ke SMAN 1 Purwosari pada tahun (2020) kemudian berpindah ke SMAN 1 Pandaan pada tahun (2021-2023). Pada tahun 2023 penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Politeknik Negeri Madura Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri, Program Studi D3 Teknik Mesin Alat Berat selama 3 tahun (2023-2026). Selama menempuh ilmu di Politeknik Negeri Madura, penulis bergabung sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Alat Berat pada periode (2024-2026). Serta penulis aktif mengikuti Program Ormawa Membangun Negeri 2024. Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T.), penulis menyusun Tugas Akhir berjudul "Perancangan Rangka Alat Bantu *Remove Install* Roda *Backhoe Loader* 416F2. Penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta menjadi referensi dalam pengembangan alat bantu perawatan alat berat di lingkungan pendidikan.