

**DESAIN PENGUAT STRUKTUR BERDASAR ANALISIS CAE  
PADA *BOOM* DAN *ARM EXCAVATOR* KOMATSU PC1250SP-  
11R DI PT KALIMANTAN PRIMA PERSADA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama** : Deriza Qurrotun A'yuni

**No. Mahasiswa** : 21525113

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**DESAIN PENGUAT STRUKTUR BERDASAR ANALISIS CAE  
PADA *BOOM* DAN *ARM EXCAVATOR* KOMATSU PC1250SP-  
11R DI PT KALIMANTAN PRIMA PERSADA**

**TUGAS AKHIR**

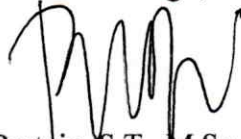
**Disusun Oleh :**

**Nama** : Deriza Qurrotun A'yuni

**No. Mahasiswa** : 21525113

Yogyakarta, 5 Agustus 2025

Pembimbing I,



Purtojo, S.T., M.Sc.

Pembimbing II,



Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

### DESAIN PENGUAT STRUKTUR BERDASAR ANALISIS CAE PADA *BOOM* DAN *ARM EXCAVATOR* KOMATSU PC1250SP- 11R DI PT KALIMANTAN PRIMA PERSADA

#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

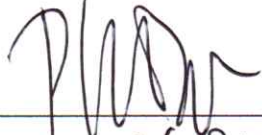
Nama : Deriza Qurrotun A'yuni

No. Mahasiswa : 21525113

Tim Penguji

Purtojo, Ir., S.T., M.Sc.

Ketua

  
Tanggal : 26/08/2025

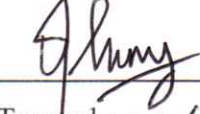
Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

Anggota I

  
Tanggal : 25/08/2025

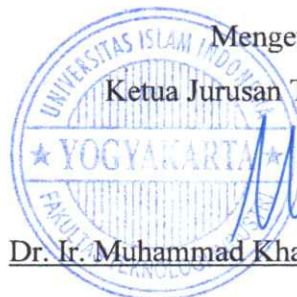
Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.

Anggota II

  
Tanggal : 25/08/2025

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

## PERNYATAAN

Skripsi ini merupakan karya asli penulis sendiri dan tidak berisi materi yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi mana pun. Semua kutipan, teori, maupun pendapat yang berasal dari karya orang lain telah dicantumkan sumbernya sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat pelanggaran keaslian, maka konsekuensi dan sanksi akan berlaku sesuai ketentuan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 26 Agustus 2025

Penulis,



Deriza Qurrotun A'yuni

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, atas setiap kemudahan yang datang di waktu yang tepat, atas kekuatan yang hadir di tengah lelah, dan atas harapan yang tidak pernah hilang, bahkan di titik terendah sekalipun. Perjalanan ini bukan sekadar tentang menyelesaikan tugas, tapi tentang menuntaskan janji kepada diri sendiri.

Karya ini ku persembahkan untuk:

1. Alm. Ayah dan Mama, sumber cinta tanpa syarat, petunjuk dalam setiap langkah, dan alasan terbesar dalam meraih mimpi.
2. Keluarga tercinta, sumber semangat dan kehangatan yang selalu menjadi penguat dalam setiap perjalanan.
3. PT Kalimantan Prima Persada – *Site* RANT – Departemen Plant – Divisi Fabrikasi, tempat belajar yang penuh tantangan, mengasah diri dalam kedisiplinan dan tanggung jawab.
4. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, perjalanan panjang yang menempa pemahaman, membangun ketangguhan, dan menanamkan arti dari setiap usaha yang dijalani.
5. Teman-teman Teknik Mesin UII 2021, teman seperjuangan yang penuh semangat, saling mendukung, dan tumbuh bersama menuju tujuan yang sama.

## **HALAMAN MOTTO**

Seperti kereta yang melaju tenang di antara hamparan sawah. Pesawat yang terbang menembus langit meski hanya awan yang terlihat. Begitulah manusia – terus bergerak meski kegagalan kerap menyapa. Sebab, selama tujuan masih ada, harapan akan selalu menemukan ruang untuk tumbuh.

Kalau sudah berani nyemplung, ya siap basah. Hidup itu soal tuntas, bukan setengah-setengah. Kalau ujungnya mau menyerah, buat apa buang waktu untuk mulai. Jangan kasih alasan buat mimpi kamu berhenti. Perjuangan memang melelahkan, namun menyerah akan meninggalkan penyesalan yang mendalam.

Mending naik Sindoro atau Sumbing? “Mending selesaikan dulu skripsinya”

## UCAPAN TERIMA KASIH

*Alhamdulillahirobbil 'alamin.* Perjalanan ini bukanlah perjalanan yang mudah, tetapi setiap langkahnya selalu penuh makna. Di balik capaian ini, ada begitu banyak doa, dukungan, dan cinta yang membersamai. Dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, sebaik-baiknya tempat bergantung dan penolong dalam setiap langkah. Dalam segala keterbatasan, pertolongan-Nya selalu datang di waktu yang tepat.
2. Untuk diri sendiri, yang memilih bertahan meski ragu dan terus melangkah walau letih. Perjalanan ini tidak akan sampai sejauh ini tanpa adanya keyakinan.
3. Alm. Ayah dan Mama, yang telah memberikan kesempatan berharga untuk berkuliah dan senantiasa menjadi sumber kekuatan dalam setiap langkah. Segala bentuk kasih dan perjuangan kalian menjadi landasan utama hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
4. Keluarga tercinta, yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan semangat menjadikan penguat dalam setiap proses hingga titik ini.
5. Bapak Dian Eka Hendralesmana Eryanto, yang telah membuka kesempatan besar dan memberi kepercayaan untuk melaksanakan magang dan tugas akhir di PT Kalimantan Prima Persada.
6. Bapak Yohanes Dwi Nuryanto sebagai mentor di *Head Office* Departemen Plant, Bapak Lilik Tri Hartadi, Bapak Ahmad Gapuri, dan Bapak Teguh Tri Raharjo sebagai mentor di *Site RANT* Departemen Plant, Bapak Erwin Irawan sebagai *co-mentor*, dan Tim Fabrikasi & Minimex; setiap diskusi, tantangan, dan pengalaman menjadi bagian dari pembelajaran yang tidak tergantikan. Bukan hanya soal pekerjaan, tetapi juga soal menjadi pribadi tangguh.
7. Bapak Purtojo, S.T., M.Sc. dan Bapak Agung Nugroho Adi, S.T., M.T., dosen pembimbing yang penuh kesabaran dan kejelasan arah. Tidak

hanya membimbing, tetapi juga membentuk cara pandang terhadap proses berpikir dan bertindak.

8. Seluruh Dosen dan Laboran Teknik Mesin UII, yang telah berbagi ilmu dan pengalaman, sehingga penulis dapat menerapkannya dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Fierel Arga Perdana, Reyhan Hilmi Arsyad, Deza Alfarend, Zaqiul Fikri, dan Tegar Rizqi Maulana – teman seperjuangan yang hadir di setiap fase perkuliahan. Menjadi tempat berbagi lelah dan tawa, penenang dalam hiruk pikuk perkuliahan, dan menyelesaikan satu per satu persoalan tanpa saling melepaskan.
10. Nadaa Dewi Cahyaningtyas dan Nur Baity Amalia Putri; dalam lingkaran kecil kebersamaan, kalian menjadi tempat balik di kala riuhnya perkuliahan. Bersama belajar bertahan, saling menguatkan, dan tetap bertumbuh walaupun jalan tidak selalu mudah.
11. KKN Unit 131 Girirejourney, bagian penting di penghujung masa perkuliahan yang penuh cerita. Beta Sukma Ayu, Sarah Siti Nurhaliza, dan Nurul Anida menjadi teman seperjuangan yang saling memberikan semangat, menghibur di masa sulit, dan hadir dengan solusi ketika semuanya terasa berat.
12. *Mess* Kadangkala menjadi tempat tinggal selama magang yang penuh dengan kehangatan dan kebersamaan. Penulis bertemu dengan orang-orang hebat yang saling mendukung dan membantu, berbagi cerita dan pengalaman, serta menciptakan tawa di tengah penatnya hari.
13. Raden Bagus Raihan Rato Naufal, abang yang selalu memberikan bantuan dan arahan selama masa perkuliahan. Dukungan dan keyakinan yang beliau berikan turut mendorong penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
14. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah hadir, mendukung, dan menjadi bagian dalam perjalanan ini. Setiap dukungan, sekecil apa pun, begitu berarti dan menguatkan langkah ini dapat sampai di titik ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir masih terdapat kekurangan yang perlu disempurnakan. Dengan keterbatasan yang ada, saran dan kritik yang membangun akan sangat berarti dalam penyempurnaan karya ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 30 Juli 2025

Penulis

## ABSTRAK

PT Kalimantan Prima Persada *Site* RANT mengoperasikan *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R dalam kegiatan pemindahan *overburden* (lapisan tanah yang menutupi batu bara). Untuk meningkatkan produktivitas, kapasitas *bucket* dimodifikasi dari  $6,7\text{ m}^3$  menjadi  $7,5\text{ m}^3$  yang berdampak pada bertambahnya beban kerja komponen *boom* dan *arm*. Observasi lapangan menunjukkan adanya retakan dan deformasi pada komponen *boom* dan *arm*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi area-area kritis, merancang desain penguat struktur, dan menganalisis efektivitas penggunaan penguat struktur dengan menggunakan metode elemen hingga berbasis perangkat lunak SolidWorks. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan pada beberapa kondisi kerja, seperti *digging* dan *lifting*, melebihi kekuatan luluh material sebesar 450 MPa. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan perancangan penguat menggunakan material ASTM A36, dengan hasil penurunan tegangan sebesar 33% – 96% pada area kritis. Dengan demikian, desain penguat mampu mereduksi tegangan secara signifikan pada area kritis komponen *boom* dan *arm*.

Kata kunci: *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R, *Boom*, *Arm*, Metode Elemen Hingga, Penguat Struktur

## ***ABSTRACT***

Kalimantan Prima Persada company at RANT Site operates the Excavator Komatsu PC1250SP-11R for overburden removal activities. To improve productivity, the bucket capacity was modified from 6,7 m<sup>3</sup> to 7,5 m<sup>3</sup>, which increased the workload on the boom and arm components. Field observations revealed cracks and deformation in the boom and arm. This study aims to identify critical areas, design structures reinforce, and analyze the effectiveness of reinforcement using the finite element method based on SolidWorks software. The simulation results show that the stress in several working conditions, such as digging and lifting, exceeded the yield strength of the material (450 MPa). To address this issue, a reinforcement design using ASTM A36 material was developed, resulting in a stress reduction of 33% – 96% in critical areas. Therefore, the reinforcement design effectively reduces stress in the critical areas of the boom and arm components.

*Keywords: Excavator Komatsu PC1250SP-11R, Boom, Arm, Finite Element Method, Reinforcement*

## DAFTAR ISI

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....         | ii  |
| Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....            | iii |
| Pernyataan .....                                 | iv  |
| Halaman Persembahan .....                        | v   |
| Halaman Motto .....                              | vi  |
| Ucapan Terima Kasih .....                        | vii |
| Abstrak .....                                    | x   |
| Daftar Isi .....                                 | xii |
| daftar tabel .....                               | xiv |
| Daftar Gambar .....                              | xv  |
| Daftar Notasi.....                               | xxi |
| Bab 1 Pendahuluan .....                          | 1   |
| 1.1    Latar Belakang.....                       | 1   |
| 1.2    Rumusan Masalah .....                     | 4   |
| 1.3    Batasan Masalah .....                     | 5   |
| 1.4    Tujuan Penelitian.....                    | 5   |
| 1.5    Manfaat Penelitian.....                   | 6   |
| 1.6    Sistematika Penulisan.....                | 6   |
| Bab 2 Tinjauan Pustaka .....                     | 7   |
| 2.1    Kajian Pustaka .....                      | 7   |
| 2.2    Dasar Teori .....                         | 8   |
| 2.2.1 <i>Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R..... | 8   |
| 2.2.2    Kesetimbangan Benda Tegar.....          | 10  |
| 2.2.3    Pembebanan.....                         | 12  |
| 2.2.4    Tumpuan.....                            | 13  |
| 2.2.5    Tegangan dan Regangan.....              | 15  |
| 2.2.6    Hukum Hooke .....                       | 18  |
| 2.2.7    Faktor Keamanan.....                    | 19  |
| 2.2.8    Kegagalan Material.....                 | 20  |

|        |                                                      |     |
|--------|------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.9  | Metode Elemen Hingga .....                           | 21  |
| 2.2.10 | <i>Mesh</i> .....                                    | 22  |
| Bab 3  | Metode Penelitian .....                              | 23  |
| 3.1    | Alur Penelitian .....                                | 23  |
| 3.2    | Perancangan .....                                    | 24  |
| 3.2.1  | Pengumpulan Data dan Spesifikasi .....               | 24  |
| 3.2.2  | Pengukuran Komponen <i>Boom</i> dan <i>Arm</i> ..... | 25  |
| 3.2.3  | Pembuatan Desain <i>Boom</i> dan <i>Arm</i> .....    | 29  |
| 3.2.4  | Penentuan Material <i>Boom</i> dan <i>Arm</i> .....  | 30  |
| 3.2.5  | Analisis Kondisi Kerja .....                         | 30  |
| 3.2.6  | Proses Simulasi .....                                | 31  |
| Bab 4  | Hasil dan Pembahasan .....                           | 38  |
| 4.1    | Desain Komponen .....                                | 38  |
| 4.2    | Material Komponen .....                              | 40  |
| 4.3    | Perhitungan Pembebanan .....                         | 79  |
| 4.3.1  | Perhitungan Gaya Silinder Hidrolik .....             | 79  |
| 4.3.2  | Perhitungan Pembebanan Kondisi <i>Digging</i> .....  | 80  |
| 4.3.3  | Perhitungan Pembebanan Kondisi <i>Lifting</i> .....  | 84  |
| 4.4    | Simulasi CAE .....                                   | 92  |
| 4.5    | Pembahasan .....                                     | 102 |
| 4.5.1  | Identifikasi Area Kritis .....                       | 103 |
| 4.5.2  | Perancangan Penguat Struktur .....                   | 104 |
| Bab 5  | Penutup .....                                        | 129 |
| 5.1    | Kesimpulan .....                                     | 129 |
| 5.2    | Saran .....                                          | 130 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 3-1 Data operasional dan spesifikasi <i>Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R .....                                                              | 24  |
| Tabel 3-2 Nilai pembebanan pada titik-titik komponen <i>boom</i> dan <i>arm</i> .....                                                               | 34  |
| Tabel 4-1 Parameter perhitungan gaya tanah .....                                                                                                    | 42  |
| Tabel 4-2 Hasil perhitungan tegangan geser dan aksial pada <i>boom</i> dan <i>arm</i> .....                                                         | 75  |
| Tabel 4-3 <i>Mechanical properties</i> SM570.....                                                                                                   | 76  |
| Tabel 4-4 <i>Mechanical properties</i> ASTM A36 .....                                                                                               | 77  |
| Tabel 4-5 <i>Mechanical properties</i> Gray Cast Iron.....                                                                                          | 77  |
| Tabel 4-6 Perbandingan nilai tegangan perhitungan manual vs simulasi .....                                                                          | 78  |
| Tabel 4-7 Perbandingan sebelum dan sesudah penguat pada komponen <i>boom</i> dan <i>arm</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsized</i> ..... | 125 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1-1 <i>Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R.....                                                                                                                                                      | 1  |
| Gambar 1-2 Komponen <i>attachment</i> <i>Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R .....                                                                                                                          | 2  |
| Gambar 1-3 Permasalahan pada komponen <i>boom</i> .....                                                                                                                                                    | 3  |
| Gambar 1-4 Permasalahan pada komponen <i>arm</i> .....                                                                                                                                                     | 3  |
| Gambar 2-1 Dimensi <i>Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R .....                                                                                                                                             | 9  |
| Gambar 2-2 Bagian-bagian <i>Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R .....                                                                                                                                       | 9  |
| Gambar 2-3 Rangkaian kerja <i>excavator</i> . (a) Persiapan <i>digging</i> ; (b) <i>Digging</i> ; (c) <i>Lifting</i> ; (d) <i>Dumping</i> ; (e) <i>Swinging</i> .....                                      | 10 |
| Gambar 2-4 DBB batang dengan beban terpusat .....                                                                                                                                                          | 11 |
| Gambar 2-5 Distribusi pembebanan. (a) Beban terpusat; (b) Beban merata.....                                                                                                                                | 13 |
| Gambar 2-6 Tumpuan rol. (a) Tumpuan rol; (b) DBB tumpuan rol.....                                                                                                                                          | 13 |
| Gambar 2-7 Tumpuan sendi .....                                                                                                                                                                             | 14 |
| Gambar 2-8 DBB tumpuan sendi bebas berputar.....                                                                                                                                                           | 14 |
| Gambar 2-9 DBB tumpuan sendi tidak bebas berputar.....                                                                                                                                                     | 14 |
| Gambar 2-10 DBB tumpuan jepit.....                                                                                                                                                                         | 15 |
| Gambar 2-11 Tegangan tarik. (a) Ketika material terkena gaya tarik; (b) Sehingga terjadi tegangan tarik pada material.....                                                                                 | 16 |
| Gambar 2-12 Tegangan tekan. (a) Ketika material terkena gaya tekan; (b) Sehingga terjadi tegangan tekan pada material .....                                                                                | 16 |
| Gambar 2-13 Tegangan geser ganda pada sambungan baut. (b) Tampak samping sambungan; (c) Diagram benda bebas baut; (d) Gaya geser pada bidang geser; (e) Distribusi tegangan geser pada penampang baut..... | 17 |
| Gambar 2-14 Tegangan aksial dan tegangan geser .....                                                                                                                                                       | 17 |
| Gambar 2-15 Regangan .....                                                                                                                                                                                 | 18 |
| Gambar 2-16 Diagram tegangan utama ( <i>principal stress space</i> ) .....                                                                                                                                 | 21 |
| Gambar 3-1 Diagram alir penelitian.....                                                                                                                                                                    | 23 |
| Gambar 3-2 Model 2D pengukuran <i>boom</i> .....                                                                                                                                                           | 26 |
| Gambar 3-3 Model 2D pengukuran <i>arm</i> .....                                                                                                                                                            | 27 |
| Gambar 3-4 Hasil pengukuran ketebalan <i>boom</i> .....                                                                                                                                                    | 27 |
| Gambar 3-5 Hasil pengukuran ketebalan <i>arm</i> .....                                                                                                                                                     | 28 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3-6 Dimensi <i>boom Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R .....                                                    | 29 |
| Gambar 3-7 Dimensi <i>arm Excavator</i> Komatsu PC1250SP-11R.....                                                      | 29 |
| Gambar 3-8 Proses <i>digging</i> .....                                                                                 | 30 |
| Gambar 3-9 Proses <i>lifting</i> .....                                                                                 | 31 |
| Gambar 3-10 Diagram benda bebas <i>boom</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsized</i> ( <i>digging</i> ) ..... | 32 |
| Gambar 3-11 Diagram benda bebas <i>arm</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsized</i> ( <i>digging</i> ) .....  | 32 |
| Gambar 3-12 Diagram benda bebas <i>boom</i> terhadap <i>bucket</i> standar ( <i>lifting</i> ) .....                    | 32 |
| Gambar 3-13 Diagram benda bebas <i>arm</i> terhadap <i>bucket</i> standar ( <i>lifting</i> ) .....                     | 33 |
| Gambar 3-14 Diagram benda bebas <i>boom</i> terhadap <i>bucket upsized</i> ( <i>lifting</i> ) .....                    | 33 |
| Gambar 3-15 Diagram benda bebas <i>arm</i> terhadap <i>bucket upsized</i> ( <i>lifting</i> ) .....                     | 33 |
| Gambar 3-16 Grafik hasil tegangan kondisi <i>digging</i> terhadap variasi ukuran <i>mesh</i> ( <i>boom</i> ).....      | 35 |
| Gambar 3-17 Grafik hasil tegangan kondisi <i>lifting</i> terhadap variasi ukuran <i>mesh</i> ( <i>boom</i> ).....      | 35 |
| Gambar 3-18 Grafik hasil tegangan kondisi <i>digging</i> terhadap variasi ukuran <i>mesh</i> ( <i>arm</i> ) .....      | 36 |
| Gambar 3-19 Grafik hasil tegangan kondisi <i>lifting</i> terhadap variasi ukuran <i>mesh</i> ( <i>arm</i> ) .....      | 36 |
| Gambar 4-1 Desain <i>boom</i> .....                                                                                    | 38 |
| Gambar 4-2 <i>Section view</i> desain <i>boom</i> .....                                                                | 39 |
| Gambar 4-3 Desain <i>arm</i> .....                                                                                     | 39 |
| Gambar 4-4 <i>Section view</i> desain <i>arm</i> .....                                                                 | 39 |
| Gambar 4-5 Diagram benda bebas <i>bucket</i> ( <i>digging</i> ) .....                                                  | 41 |
| Gambar 4-6 Arah resultan di titik B ( <i>digging</i> ) .....                                                           | 44 |
| Gambar 4-7 Diagram benda bebas <i>arm</i> ( <i>digging</i> ) .....                                                     | 45 |
| Gambar 4-8 Perubahan diagram benda bebas <i>arm</i> ( <i>digging</i> ) .....                                           | 46 |
| Gambar 4-9 Arah resultan titik F ( <i>digging</i> ) .....                                                              | 47 |
| Gambar 4-10 Diagram benda bebas <i>boom</i> ( <i>digging</i> ) .....                                                   | 48 |
| Gambar 4-11 Diagram benda bebas <i>bucket</i> ( <i>lifting</i> ) .....                                                 | 48 |
| Gambar 4-12 Arah resultan di titik B ( <i>lifting</i> ) .....                                                          | 50 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4-13 Diagram benda bebas <i>arm (lifting)</i> .....                      | 51 |
| Gambar 4-14 Arah resultan di titik F ( <i>lifting</i> ) .....                   | 53 |
| Gambar 4-15 Diagram benda bebas <i>boom (lifting)</i> .....                     | 53 |
| Gambar 4-16 <i>Part boom</i> .....                                              | 54 |
| Gambar 4-17 <i>Part arm</i> .....                                               | 54 |
| Gambar 4-18 <i>Section drawing</i> titik K ( <i>digging</i> ).....              | 55 |
| Gambar 4-19 <i>Section drawing</i> titik K ( <i>lifting</i> ) .....             | 56 |
| Gambar 4-20 Area tegangan aksial di titik K ( <i>digging</i> ) .....            | 56 |
| Gambar 4-21 Area tegangan geser di titik K ( <i>digging</i> ).....              | 57 |
| Gambar 4-22 Area tegangan aksial di titik K ( <i>lifting</i> ).....             | 58 |
| Gambar 4-23 Area tegangan geser di titik K ( <i>lifting</i> ).....              | 59 |
| Gambar 4-24 <i>Section drawing</i> titik I ( <i>digging</i> ) .....             | 61 |
| Gambar 4-25 <i>Section drawing</i> titik I ( <i>lifting</i> ).....              | 61 |
| Gambar 4-26 Area tegangan aksial di titik I ( <i>digging</i> ).....             | 62 |
| Gambar 4-27 Area tegangan geser di titik I ( <i>digging</i> ).....              | 63 |
| Gambar 4-28 Area tegangan aksial di titik I ( <i>lifting</i> ) .....            | 64 |
| Gambar 4-29 Area tegangan geser di titik I ( <i>lifting</i> ) .....             | 65 |
| Gambar 4-30 <i>Section drawing</i> titik H ( <i>digging</i> ).....              | 67 |
| Gambar 4-31 <i>Section drawing</i> titik H ( <i>lifting</i> ) .....             | 67 |
| Gambar 4-32 Area tegangan aksial di titik H ( <i>digging</i> ) .....            | 68 |
| Gambar 4-33 Area tegangan geser di titik H ( <i>digging</i> ).....              | 69 |
| Gambar 4-34 Area tegangan aksial di titik H ( <i>lifting</i> ).....             | 70 |
| Gambar 4-35 Area tegangan geser di titik H ( <i>lifting</i> ).....              | 71 |
| Gambar 4-36 <i>Section drawing</i> titik G ( <i>digging dan lifting</i> ) ..... | 72 |
| Gambar 4-37 Area tegangan aksial di titik G ( <i>digging dan lifting</i> )..... | 73 |
| Gambar 4-38 Area tegangan geser di titik G ( <i>digging dan lifting</i> ).....  | 74 |
| Gambar 4-39 <i>End boom</i> (titik I) .....                                     | 75 |
| Gambar 4-40 Material komponen <i>boom dan arm Excavator PC 1250SP-11R</i> ....  | 76 |
| Gambar 4-41 Arah resultan di titik B ( <i>digging – bucket upsize</i> ).....    | 81 |
| Gambar 4-42 Arah resultan di titik F ( <i>digging – bucket upsize</i> ) .....   | 83 |
| Gambar 4-43 Arah resultan di titik B ( <i>lifting – bucket standar</i> ).....   | 85 |
| Gambar 4-44 Arah resultan di titik F ( <i>lifting – bucket standar</i> ) .....  | 87 |

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4-45 Arah resultan di titik B ( <i>lifting – bucket upsize</i> ) .....                                                                                 | 89  |
| Gambar 4-46 Arah resultan di titik F ( <i>lifting – bucket upsize</i> ).....                                                                                  | 91  |
| Gambar 4-47 Proses simulasi pada <i>boom</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ) .....                                                  | 92  |
| Gambar 4-48 Proses simulasi pada <i>boom</i> terhadap <i>bucket</i> standar ( <i>lifting</i> ).....                                                           | 93  |
| Gambar 4-49 Proses simulasi pada <i>boom</i> terhadap <i>bucket upsize (lifting)</i> .....                                                                    | 93  |
| Gambar 4-50 Proses simulasi pada <i>arm</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ) .....                                                   | 93  |
| Gambar 4-51 Proses simulasi pada <i>arm</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ).....                                                    | 94  |
| Gambar 4-52 Hasil tegangan komponen <i>boom</i> pada kondisi <i>digging</i> dan <i>lifting</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> )..... | 95  |
| Gambar 4-53 Hasil tegangan komponen <i>arm</i> pada kondisi <i>digging</i> dan <i>lifting</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ).....  | 95  |
| Gambar 4-54 Titik tegangan tertinggi pada <i>boom</i> saat <i>digging (bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ).....                                     | 96  |
| Gambar 4-55 Titik tegangan tertinggi pada <i>boom</i> saat <i>lifting (bucket</i> standar) ...                                                                | 96  |
| Gambar 4-56 Titik tegangan tertinggi pada <i>boom</i> saat <i>lifting (bucket upsize)</i> .....                                                               | 97  |
| Gambar 4-57 Titik tegangan tertinggi pada <i>arm</i> saat <i>digging (bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ).....                                      | 98  |
| Gambar 4-58 Titik tegangan tertinggi pada <i>arm</i> saat <i>lifting (bucket</i> standar).....                                                                | 99  |
| Gambar 4-59 Titik tegangan tertinggi pada <i>arm</i> saat <i>lifting (bucket upsize)</i> .....                                                                | 100 |
| Gambar 4-60 Perbandingan hasil simulasi dengan kondisi aktual ( <i>boom</i> ) .....                                                                           | 101 |
| Gambar 4-61 Perbandingan hasil simulasi dengan kondisi aktual ( <i>arm</i> ).....                                                                             | 102 |
| Gambar 4-62 Area kritis <i>boom</i> pada kondisi <i>digging</i> dan <i>lifting</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ) .....            | 103 |
| Gambar 4-63 Area kritis <i>arm</i> kondisi <i>digging</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ) .....                                     | 104 |
| Gambar 4-64 Area kritis <i>arm</i> pada kondisi <i>lifting</i> terhadap <i>bucket</i> standar dan <i>upsizedigging</i> ) .....                                | 104 |
| Gambar 4-65 Konfigurasi penguat 1 di area B.....                                                                                                              | 105 |
| Gambar 4-66 Hasil simulasi penguat 1 di area B .....                                                                                                          | 106 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4-67 Konfigurasi penguat 2 di area B.....                                                        | 106 |
| Gambar 4-68 Hasil simulasi penguat 2 di area B .....                                                    | 107 |
| Gambar 4-69 Konfigurasi penguat 3 di area B.....                                                        | 107 |
| Gambar 4-70 Hasil simulasi penguat 3 di area B .....                                                    | 108 |
| Gambar 4-71 Konfigurasi penguat 1 di area A.....                                                        | 108 |
| Gambar 4-72 Hasil simulasi penguat 1 di area A.....                                                     | 109 |
| Gambar 4-73 Konfigurasi penguat 2 di area A.....                                                        | 109 |
| Gambar 4-74 Hasil simulasi penguat 2 di area A.....                                                     | 110 |
| Gambar 4-75 Konfigurasi penguat 3 di area A.....                                                        | 110 |
| Gambar 4-76 Hasil simulasi penguat 3 di area A. (a) Tebal 10 mm; (b) Tebal 12 mm; (c) Tebal 15 mm ..... | 111 |
| Gambar 4-77 Konfigurasi penguat 4 di area A.....                                                        | 111 |
| Gambar 4-78 Hasil simulasi penguat 4 di area A. (a) Tebal 10 mm; (b) Tebal 12 mm; (c) Tebal 15 mm ..... | 112 |
| Gambar 4-79 Hasil simulasi penguat 1 di area O .....                                                    | 113 |
| Gambar 4-80 Hasil simulasi penguat 2 di area O.....                                                     | 113 |
| Gambar 4-81 Hasil simulasi penguat 3 di area O .....                                                    | 114 |
| Gambar 4-82 Hasil simulasi penguat 4 di area O.....                                                     | 115 |
| Gambar 4-83 Hasil simulasi penguat 5 di area O.....                                                     | 115 |
| Gambar 4-84 Konfigurasi penguat 6 di area O.....                                                        | 116 |
| Gambar 4-85 Hasil simulasi penguat 5 dan 6 di area O .....                                              | 116 |
| Gambar 4-86 Konfigurasi penguat 1 di area K.....                                                        | 117 |
| Gambar 4-87 Hasil simulasi penguat 1 di area K.....                                                     | 118 |
| Gambar 4-88 Konfigurasi penguat 2 di area K.....                                                        | 118 |
| Gambar 4-89 Hasil simulasi penguat 2 di area K.....                                                     | 119 |
| Gambar 4-90 Retakan di sambungan las pada <i>arm</i> .....                                              | 120 |
| Gambar 4-91 Konfigurasi penguat 1 di area N.....                                                        | 120 |
| Gambar 4-92 Hasil simulasi penguat 1 di area N.....                                                     | 121 |
| Gambar 4-93 Konfigurasi penguat di area M.....                                                          | 121 |
| Gambar 4-94 Hasil simulasi penguat di area M .....                                                      | 122 |
| Gambar 4-95 Penguat struktur <i>boom</i> .....                                                          | 122 |
| Gambar 4-96 Penguat struktur <i>arm</i> .....                                                           | 123 |

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4-97 Letak pelat penguat pada <i>boom</i> .....                                                                                                   | 124 |
| Gambar 4-98 Letak pelat penguat pada <i>arm</i> .....                                                                                                    | 124 |
| Gambar 4-99 Hasil simulasi <i>boom</i> sesudah penguatan ( <i>digging</i> dan <i>lifting</i> ) .....                                                     | 126 |
| Gambar 4-100 Hasil simulasi <i>arm</i> sesudah penguatan ( <i>digging</i> ) .....                                                                        | 126 |
| Gambar 4-101 Hasil simulasi <i>arm</i> sesudah penguatan ( <i>lifting</i> ) .....                                                                        | 127 |
| Gambar 4-102 Area <i>non reinforcement</i> pada <i>boom</i> . (a) <i>Hydraulic cylinder bracket</i><br><i>arm</i> ; (f) <i>End boom</i> .....            | 127 |
| Gambar 4-103 Area <i>non reinforcement</i> pada <i>arm</i> . (b) <i>Boshing</i> ; (c) Sambungan<br>pelat; (d) <i>End arm</i> ; (e) <i>Seat arm</i> ..... | 128 |

## DAFTAR NOTASI

|              |                                           |
|--------------|-------------------------------------------|
| $m_{OB}$     | = Massa <i>overburden</i> ( $kg$ )        |
| $m_{OBAkt}$  | = Massa <i>overburden</i> aktual ( $kg$ ) |
| $V_{Bucket}$ | = Volume <i>bucket</i> ( $m^3$ )          |
| $\rho_{OB}$  | = Densitas <i>overburden</i> ( $kg/m^3$ ) |
| $W_C$        | = Berat <i>bucket</i> ( $N$ )             |
| $W_A$        | = Berat <i>arm</i> ( $N$ )                |
| $F_T$        | = Gaya tanah ( $N$ )                      |
| $\gamma$     | = Soil density ( $kg/m^3$ )               |
| $g$          | = Gravitasi ( $m/s^2$ )                   |
| $d$          | = Operating tool depth ( $m$ )            |
| $c$          | = Soil cohesion ( $N/m^2$ )               |
| $q$          | = Soil surcharge pressure ( $N/m^2$ )     |
| $c_a$        | = Soil to metal adhesion ( $N/m^2$ )      |
| $w$          | = Lebar <i>bucket</i> ( $m$ )             |
| $N_\gamma$   | = Faktor berat tanah                      |
| $N_c$        | = Faktor kohesi                           |
| $N_q$        | = Faktor tekanan vertikal                 |
| $N_a$        | = Faktor adhesi                           |
| $A$          | = Luas area ( $mm^2$ )                    |
| $\sigma$     | = Tegangan aksial ( $MPa$ )               |
| $\sigma_s$   | = Tegangan luluh ( $MPa$ )                |
| $\tau$       | = Tegangan geser ( $MPa$ )                |
| $F$          | = Gaya ( $N$ )                            |
| $SF$         | = Safety factor                           |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

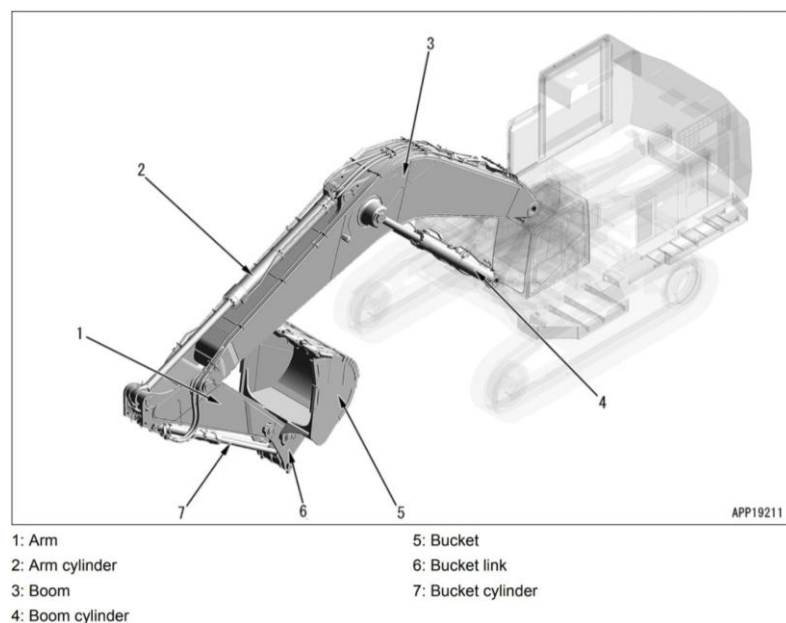
PT Kalimantan Prima Persada merupakan salah satu perusahaan Grup Astra yang bergerak di bidang jasa kontraktor pertambangan. Perusahaan ini beroperasi di berbagai wilayah Indonesia, salah satunya di Kalimantan Selatan tepatnya di Kota Rantau, yaitu *Site RANT*. *Site RANT* merupakan area tambang batu bara yang menggunakan alat berat, khususnya *excavator* sebagai peralatan utama dalam kegiatan operasionalnya. Untuk mendukung proses pemindahan *overburden* (lapisan tanah yang menutupi batu bara), *Site RANT* mengoperasikan dua unit *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R yang tergolong dalam kategori PC besar (Komatsu, 2022) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-1. Keandalan unit menjadi hal yang penting supaya proses pemindahan *overburden* berjalan optimal (Petrović et al., 2023), sehingga proses produksi tambang dapat terlaksana sesuai rencana target.



Gambar 1-1 *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R

Dengan berkembangnya zaman, meningkatnya permintaan hasil tambang mendorong perusahaan untuk meningkatkan mekanisasi guna menjaga kelancaran proses eksploitasi dan pemindahan *overburden* (Putra et al., 2024). Saat ini, *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R di *Site* RANT menggunakan *bucket* standar dengan kapasitas  $6,7\text{ m}^3$ . Namun, untuk meningkatkan produktivitas, dilakukan modifikasi kapasitas *bucket* menjadi  $7,5\text{ m}^3$ . Peningkatan kapasitas ini tentu berdampak langsung pada beban kerja yang diterima oleh komponen *attachment*, khususnya *boom* dan *arm* yang ditunjukkan pada Gambar 1-2. Kedua komponen ini merupakan struktur utama yang berfungsi dalam proses pemindahan *overburden*.

Komponen *boom* merupakan struktur utama yang berperan penting dalam mendukung proses pemindahan *overburden* (Fathurrahman et al., 2022), sedangkan *arm* juga memiliki peran serupa sebagai struktur utama dalam proses tersebut. Karena berfungsi sebagai penghubung antara *bucket* dan *boom*, serta menahan gaya tekan dan momen lentur selama pengangkatan material (Margaretha & Ariatedja, 2020). Sehingga apabila terjadi kerusakan seperti retak (*crack*) dan deformasi, maka unit tidak dapat beroperasi dan akan berdampak pada terganggunya proses produksi.

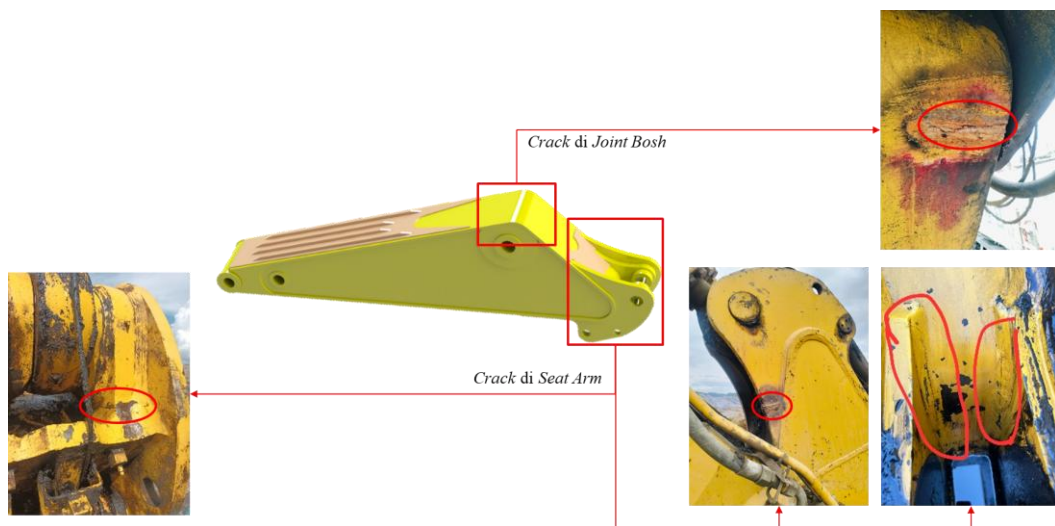


Gambar 1-2 Komponen *attachment* *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R  
(Sumber: *Shop Manual* Komatsu SEN06824-00)

Berdasarkan hasil observasi di lapangan yang dilaksanakan pada tanggal 26 Oktober – 15 Desember 2024 ditemukan adanya keretakan dan deformasi pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-3 permasalahan pada *boom* dan Gambar 1-4 permasalahan pada *arm*.



Gambar 1-3 Permasalahan pada komponen *boom*  
(Sumber: Dokumentasi Tim Fabrikasi KPP *Site* RANT)



Gambar 1-4 Permasalahan pada komponen *arm*  
(Sumber : Dokumentasi Tim Fabrikasi KPP *Site* RANT)

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kekuatan pada komponen *boom* dan *arm* untuk mengidentifikasi area-area kritis pada *boom* dan *arm* akibat beban yang diterima saat operasional. Hasil dari analisis ini nantinya digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan upaya perbaikan untuk peningkatan kekuatan struktur dengan cara penambahan penguat pada area-area kritis.

Dalam penelitian ini, terdapat penelitian sebelumnya telah membandingkan desain penguat untuk menentukan desain yang paling optimal pada komponen *boom* dan *arm excavator* kelas 20 ton (Chandra, 2017; Wijaya, 2017). Sehingga dapat dijadikan sebagai referensi desain penguat pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Di mana letak area kritis yang terjadi berdasarkan distribusi tegangan pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R akibat pembebanan *bucket* standar dan *upsized*?
2. Bagaimana perancangan desain penguat berdasarkan distribusi tegangan pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R akibat pembebanan *bucket* standar dan *upsized*?
3. Bagaimana efektivitas penambahan penguat pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R terhadap pembebanan *bucket* standar dan *upsized*?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan:

1. Penelitian ini difokuskan pada dua komponen *attachment Excavator* Komatsu PC1250SP-11R, yaitu *boom* dan *arm*.
2. Analisis struktur komponen dilakukan secara statis sesuai dengan kondisi kerja dan kapasitas tiap *bucket* (standar dan *upsized*).
3. Kondisi kerja yang dianalisis pada saat *digging* dan *lifting* dalam kondisi pembebanan maksimum.
4. Simulasi hanya dilakukan dalam konteks analisis distribusi tegangan, tanpa pengujian fisik atau pembuatan prototipe.
5. Penentuan material komponen *boom* dan *arm* diasumsikan melalui perhitungan manual.
6. Model komponen *boom*, *arm*, dan penguat dibuat secara digital menggunakan perangkat lunak berbasis CAE untuk melakukan simulasi terhadap struktur komponen.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi area-area kritis pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R akibat pembebanan *bucket* standar dan *upsized*.
2. Merancang desain penguat pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R untuk memperkuat area-area kritis yang telah teridentifikasi.
3. Menganalisis efektivitas desain penguat pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R dengan membandingkan nilai tegangan sebelum dan sesudah dilakukan penguat.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi di PT Kalimantan Prima Persada terkait kekuatan komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R terhadap pembebanan *bucket* standar dan *upsized*, serta menjadi dasar pertimbangan modifikasi untuk meningkatkan kekuatan struktur dan menjaga keandalan komponen dalam beroperasi.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir disusun sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan dari laporan tugas akhir.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka menyajikan kajian pustaka dari penelitian terdahulu yang relevan dan dasar teori yang mendasari penelitian.
3. Bab 3 Metode Penelitian menjelaskan langkah-langkah penelitian yang dilakukan.
4. Bab 4 Hasil dan Pembahasan menyajikan hasil yang telah dilakukan, seperti pemodelan komponen, perhitungan manual, simulasi tegangan, dan perancangan penguat, serta pembahasan berdasarkan hasil analisis dan kondisi aktual.
5. Bab 5 Penutup berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian atau pengembangan lebih lanjut.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Struktur pada alat berat *excavator* seperti *boom* dan *arm* umumnya mengalami beban kerja tinggi secara berulang. Dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan retakan atau deformasi pada komponen. Permasalahan ini memerlukan penanganan yang tepat, guna mempertahankan kinerja dan keselamatan dalam beroperasi. Berbagai pendekatan telah digunakan dalam menangani kerusakan struktural, baik melalui perbaikan lokal maupun dengan penambahan penguat.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk menangani retakan pada struktur adalah *repair welding*. *Repair welding* merupakan proses pengelasan ulang pada area retakan setelah pembersihan lokal dilakukan. Teknik ini sering diterapkan karena dianggap lebih ekonomis dibandingkan penggantian komponen secara keseluruhan. Namun, umur kelelahan (*fatigue life*) dari sambungan yang telah diperbaiki dengan *repair welding* tetap lebih rendah dibanding sambungan asli. Hal ini disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan dan tegangan residual yang masih tertinggal pada bagian *weld toe* dan *weld root* yang berpotensi memicu retakan ulang pada lokasi yang sama (Zhao et al., 2023).

Selain itu, penguat sering digunakan ketika terjadi retakan pada struktur. Penguat merupakan penambahan elemen struktural untuk meningkatkan kekuatan struktur. Penguatan struktur dapat dimodelkan secara numerik menggunakan metode elemen hingga, yaitu dengan menambahkan pelat atau batang penguat pada area tertentu. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan daya tahan struktur tanpa perlu mengganti komponen secara keseluruhan (Burman et al., 2017).

Penelitian yang dilakukan sebelumnya telah membahas analisis kekuatan struktur pada komponen *boom* dan *arm excavator* kelas 20 ton. Keduanya menggunakan pendekatan serupa, yaitu membandingkan desain tanpa penguat dan dua desain penguat dari perusahaan yang berbeda, yakni PT PQR dan PT

XYZ. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga untuk mengidentifikasi distribusi tegangan dan performa penguat struktur pada masing-masing komponen. Hasil dari kedua penelitian menunjukkan bahwa penggunaan penguat mampu menurunkan tegangan yang terjadi pada komponen. Desain penguat dari PT XYZ menghasilkan tegangan yang lebih rendah dibandingkan desain dari PT PQR (Chandra, 2017; Wijaya, 2017). Kedua penelitian tersebut, menjadi acuan dalam pendekatan analisis perbandingan tegangan sebelum dan sesudah penguat dalam penelitian ini.

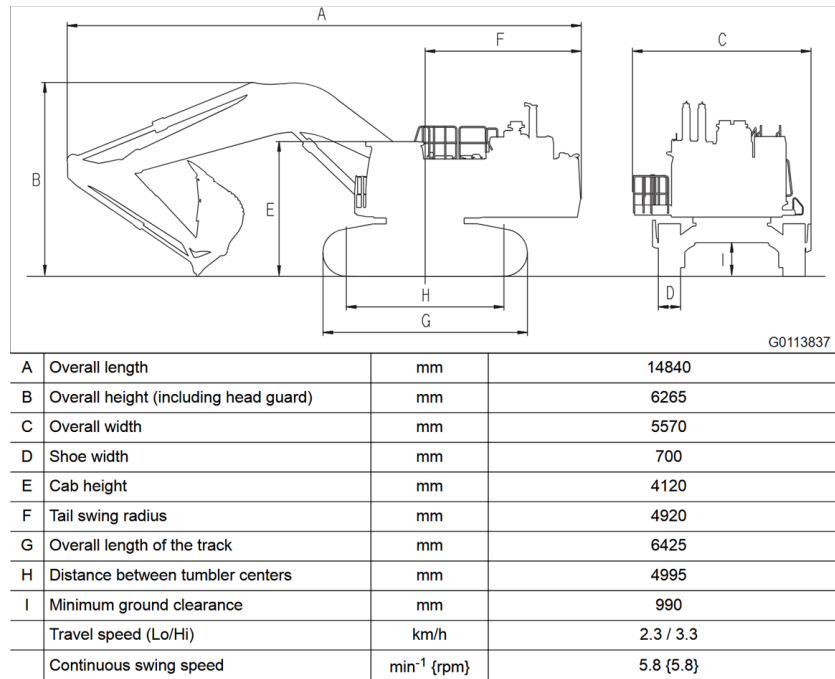
Dalam perancangan desain penguat, perlu diperhatikan aspek geometris sambungan, terutama pada bagian *fillet*. Radius *fillet* yang lebih halus pada sambungan las diperlukan untuk menghindari konsentrasi tegangan di sudut tajam (Molski et al., 2020). Radius *fillet* yang lebih halus dapat menurunkan konsentrasi tegangan pada sambungan las, sehingga mampu mengurangi risiko kerusakan akibat beban berulang (Molski & Tarasiuk, 2021).

## **2.2 Dasar Teori**

Dasar teori dalam penelitian ini digunakan sebagai landasan utama. Teori tersebut digunakan dalam proses analisis dan simulasi perancangan pada struktur komponen *boom* dan *arm*.

### **2.2.1 Excavator Komatsu PC1250SP-11R**

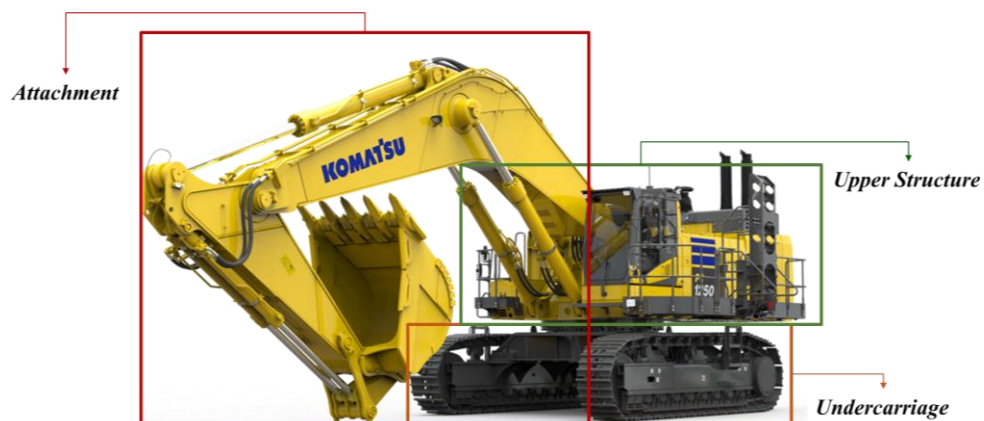
*Excavator* merupakan salah satu alat berat yang umum digunakan dalam proyek konstruksi, pertambangan, maupun pekerjaan pemindahan material lainnya. Alat ini dirancang untuk melakukan berbagai fungsi seperti penggalian, pengangkutan material, dan pekerjaan pemrosesan tanah. *Excavator* bekerja dengan sistem hidrolik untuk menggerakkan komponen-komponen utama berupa *boom*, *arm*, dan *bucket* saat beroperasi, serta dilengkapi teknologi efisiensi bahan bakar dan kontrol getaran. Pada Gambar 2-1 menyajikan gambaran umum terkait dimensi *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R.



Gambar 2-1 Dimensi *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R

(Sumber: *Shop Manual* Komatsu SEN06824-00)

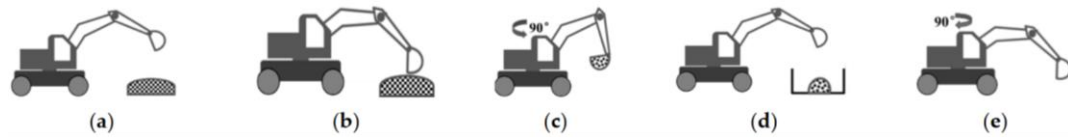
*Excavator* Komatsu PC1250SP-11R memiliki bobot sekitar 118 ton dan menggunakan mesin diesel berdaya 565 kW (758 hp) yang memungkinkan kinerja optimal dalam kondisi medan yang berat dan beroperasi berkelanjutan. Secara umum, struktur utama dari *excavator* terdiri atas tiga bagian, yaitu *upper structure*, *undercarriage*, dan *attachment* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Bagian-bagian *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R

(Sumber: United Tractors (*online*))

Saat beroperasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-3, *excavator* melakukan serangkaian proses kerja yang meliputi *digging* (penggalian material), *lifting* (pengangkatan material), *dumping* (pemindahan material ke *dump truck*), dan *swinging* (pergerakan rotasi unit). Keempat proses ini berlangsung secara berulang dan dinamis, sehingga komponen seperti *boom* dan *arm* mengalami beban dinamis, kejutan, dan tegangan berulang.



Gambar 2-3 Rangkaian kerja *excavator*. (a) Persiapan *digging*; (b) *Digging*; (c) *Lifting*; (d) *Dumping*; (e) *Swinging*

(Sumber: (Su et al., 2022))

### 2.2.2 Kestimbangan Benda Tegar

Kestimbangan benda tegar merupakan konsep dasar dalam mekanika teknik yang digunakan untuk menganalisis struktur yang tidak mengalami perubahan akibat gaya luar. Sebuah benda dikatakan berada dalam kondisi setimbang ketika jumlah gaya dan momen yang bekerja bernilai nol. Secara sistematis, syarat kestimbangan benda tegar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum M = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum F_x = 0 \quad (2.2)$$

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

Di mana:

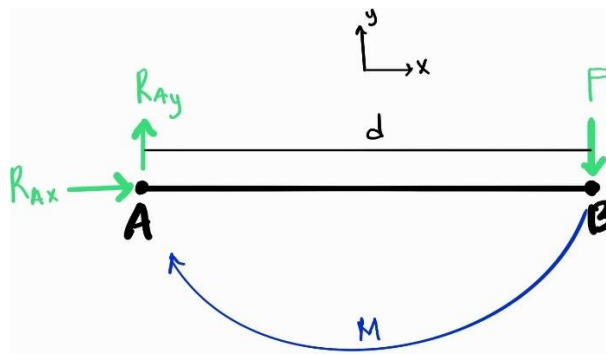
$\sum M$  adalah jumlah momen terhadap titik tertentu.

$\sum F_x$  adalah jumlah gaya dalam arah horizontal (sumbu-x).

$\sum F_y$  adalah jumlah gaya dalam arah vertikal (sumbu-y).

Ilustrasi pada Gambar 2-4 menunjukkan sebuah batang horizontal dengan dua titik A dan B yang ditumpu di titik A. Titik A menerima gaya luar F di titik B sejauh d dari titik A. Titik A merupakan tumpuan pin yang memberikan reaksi

gaya horizontal ( $R_{Ax}$ ) dan vertikal ( $R_{Ay}$ ). Gaya  $F$  yang bekerja di titik B akan menghasilkan momen terhadap titik A. Selain momen, dalam analisis kesetimbangan benda tegar juga dihitung jumlah gaya horizontal ( $\sum F_x$ ) yaitu  $R_{Ax}$  dan jumlah gaya vertikal ( $\sum F_y$ ) yaitu  $R_{Ay}$  dan  $F$ . Arah gaya ditentukan berdasarkan asumsi. Sebagai contoh, jika arah gaya ke kanan dan ke atas dianggap bernilai positif.



Gambar 2-4 DBB batang dengan beban terpusat

Momen adalah gaya yang dapat menyebabkan benda berputar terhadap suatu titik. Momen terjadi ketika gaya yang bekerja tidak tepat di pusat benda, melainkan pada jarak tertentu dari titik acuan yang tegak lurus. Semakin besar gaya dan jauh jarak putarnya, maka momen yang dihasilkan juga semakin besar. Secara sistematis, momen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$M = F \times d \quad (2.4)$$

Di mana:

$M$  = Momen (Nmm)

$F$  = Gaya (N)

$d$  = Jarak tegak lurus dari gaya ke titik acuan (mm)

### 2.2.3 Pembebanan

Dalam analisis struktur, pembebanan merupakan faktor utama yang mempengaruhi respons suatu komponen. Beban adalah gaya atau momen yang bekerja pada suatu struktur. Terdapat empat jenis beban utama yang umum dialami oleh komponen (Khurmi & Gupta, 2005), yaitu:

1. Beban mati (*dead load*) atau beban tetap (*steady load*)

Beban yang tidak mengalami perubahan besar maupun arah selama bekerja.

2. Beban hidup (*live load*) atau beban berubah (*variable load*)

Beban yang mengalami perubahan secara terus-menerus, baik besar maupun arah kerjanya.

3. Beban kejut (*shock load*)

Beban yang dikenakan atau dihilangkan secara tiba-tiba.

4. Beban tumbukan (*impact load*)

Beban yang diberikan dengan kecepatan awal tertentu saat diterapkan.

Selain itu, pembebanan diklasifikasikan berdasarkan perubahan terhadap waktu, yaitu:

1. Beban statis

Beban yang bekerja secara konstan tanpa mengalami perubahan besar terhadap waktu.

2. Beban dinamis

Beban yang berubah-ubah terhadap waktu, baik dari segi besar, arah, maupun titik aplikasinya.

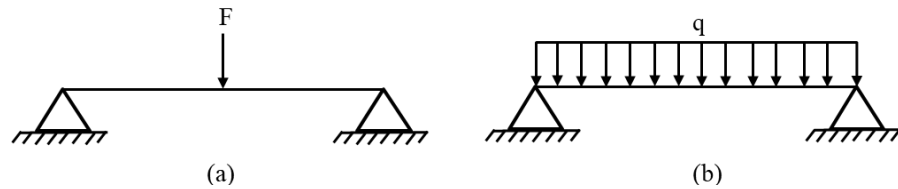
Selanjutnya, pembebanan diklasifikasikan berdasarkan cara gaya didistribusikan pada struktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-5, yaitu:

1. Beban terpusat

Beban yang bekerja pada suatu titik dari struktur dengan satuan gaya (N).

2. Beban merata

Beban yang tersebar secara seragam sepanjang suatu bidang atau permukaan struktur dengan satuan gaya per meter (N/m) .



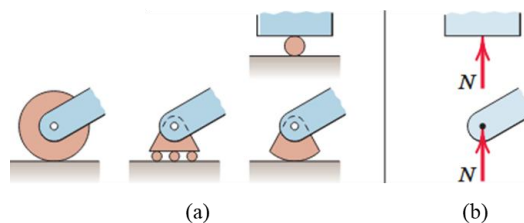
Gambar 2-5 Distribusi pembebanan. (a) Beban terpusat; (b) Beban merata

## 2.2.4 Tumpuan

Tumpuan (*support*) adalah elemen penting dalam sistem struktur yang digunakan untuk menahan beban luar dan menjaga keseimbangan benda tegar. Tumpuan memberikan gaya reaksi dan/atau momen terhadap benda yang ditumpu. Tergantung pada jenis tumpuan yang digunakan. Terdapat tiga jenis tumpuan yang umum digunakan dalam analisis statika struktur (Meriam & Kraige, 2012), yaitu:

### 1. Tumpuan rol (*roller support*)

Tumpuan rol memberikan benda bergerak dalam arah sejajar permukaan dan juga memungkinkan rotasi. Tumpuan ini hanya memberikan satu reaksi gaya tegak lurus terhadap permukaan tumpuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-6.

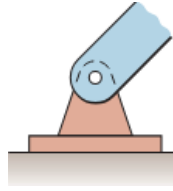


Gambar 2-6 Tumpuan rol. (a) Tumpuan rol; (b) DBB tumpuan rol

(Sumber: (Meriam & Kraige, 2012))

### 2. Tumpuan pin (*pin support*)

Tumpuan pin tidak terjadi gerakan translasi, tetapi gerakan rotasi pada titik tumpuan. Tumpuan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-7.



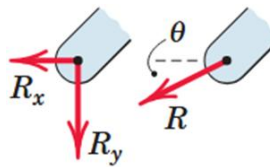
Gambar 2-7 Tumpuan sendi

(Sumber: (Meriam & Kraige, 2012))

Tumpuan pin terdapat dua jenis, yaitu:

- Tumpuan pin bebas berputar (*free to turn*)

Tumpuan pin ini memberikan gaya reaksi horizontal ( $R_x$ ) dan vertikal ( $R_y$ ), atau satu resultan ( $R$ ) dengan arah tertentu sudut ( $\theta$ ) terhadap sumbu x. Tumpuan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-8.

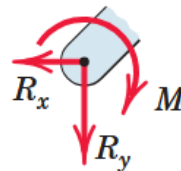


Gambar 2-8 DBB tumpuan sendi bebas berputar

(Sumber: (Meriam & Kraige, 2012))

- Tumpuan pin tidak bebas berputar (*not free to turn*)

Tumpuan pin ini memberikan gaya reaksi horizontal ( $R_x$ ), vertikal ( $R_y$ ), dan momen ( $M$ ) yang menahan rotasi, sehingga dapat mempertahankan kestabilan struktur terhadap gaya dan putaran. Tumpuan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-9.

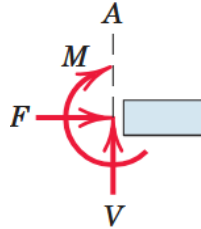


Gambar 2-9 DBB tumpuan sendi tidak bebas berputar

(Sumber: (Meriam & Kraige, 2012))

### 3. Tumpuan *fix* (*fixed support*)

Tumpuan *fix* memberikan tiga reaksi gaya, yaitu gaya horizontal, vertikal, dan momen. Tumpuan ini menahan seluruh gerakan translasi dan rotasi. Tumpuan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-10.



Gambar 2-10 DBB tumpuan jepit

(Sumber: (Meriam & Kraige, 2012))

## 2.2.5 Tegangan dan Regangan

Konsep tegangan dan regangan merupakan dasar dalam analisis struktur teknik untuk memahami respons suatu material terhadap beban luar yang bekerja padanya. Pemahaman terhadap kedua konsep ini penting untuk mengetahui batas kekuatan material dan memastikan bahwa struktur tetap berada dalam kondisi aman selama proses kerja.

### 2.2.5.1 Tegangan

Tegangan adalah gaya per satuan luas yang terjadi pada suatu material akibat adanya gaya luar. Tegangan menunjukkan seberapa besar beban yang diterima oleh suatu penampang dan dinyatakan dalam satuan pascal (Pa) atau megapascal (MPa). Tegangan dapat dibedakan menjadi dua jenis utama:

#### a. Tegangan aksial ( $\sigma$ )

Tegangan aksial terjadi ketika suatu material menerima gaya yang tegak lurus terhadap penampang. Gaya yang terjadi pada material dapat berupa gaya tarik atau tekan. Sehingga menghasilkan tegangan tarik ( $\sigma_t$ ) dan tekan ( $\sigma_c$ ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-11 dan Gambar 2-12. Secara sistematis tegangan aksial dapat dinyatakan sebagai berikut:

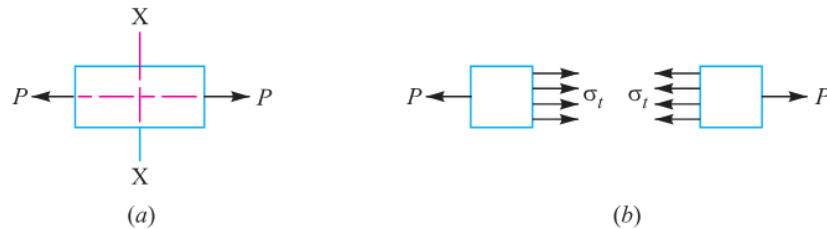
$$\sigma_t = \frac{P}{A} \quad (2.5)$$

Di mana :

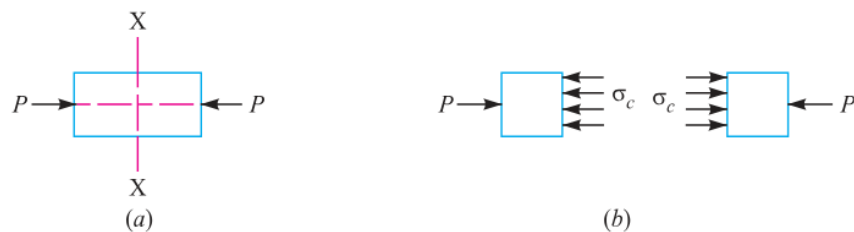
$\sigma$  = Tegangan aksial (MPa)

$P$  = Gaya (N)

$A$  = Luas penampang ( $mm^2$ )



Gambar 2-11 Tegangan tarik. (a) Ketika material terkena gaya tarik; (b) Sehingga terjadi tegangan tarik pada material  
(Sumber: (Khurmi & Gupta, 2005))



Gambar 2-12 Tegangan tekan. (a) Ketika material terkena gaya tekan; (b) Sehingga terjadi tegangan tekan pada material  
(Sumber: (Khurmi & Gupta, 2005))

#### b. Tegangan geser ( $\tau$ )

Tegangan geser terjadi ketika suatu material menerima gaya yang bekerja sejajar terhadap penampang. Gaya ini menyebabkan terjadinya tegangan geser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-13. Secara sistematis tegangan geser dapat dinyatakan sebagai berikut:

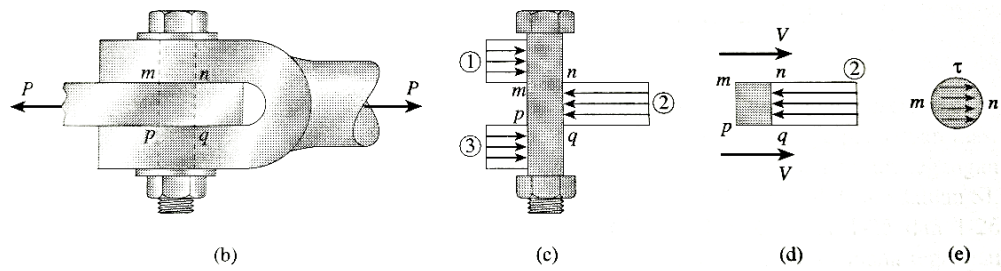
$$\tau_s = \frac{P}{A_s} \quad (2.6)$$

Di mana :

$\tau_s$  = Tegangan geser (MPa)

$P$  = Gaya (N)

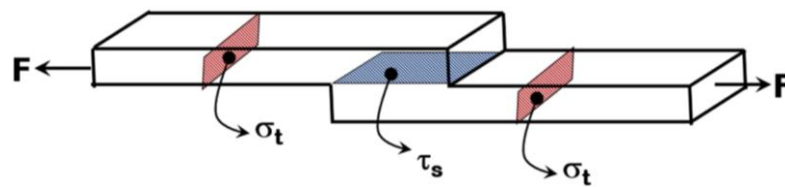
$A_s$  = Luas penampang ( $mm^2$ )



Gambar 2-13 Tegangan geser ganda pada sambungan baut. (b) Tampak samping sambungan; (c) Diagram benda bebas baut; (d) Gaya geser pada bidang geser; (e) Distribusi tegangan geser pada penampang baut

(Sumber: (Gere & Timoshenko, 1996))

Ilustrasi distribusi kombinasi tegangan aksial dan geser ditunjukkan pada Gambar 2-14. Gambar tersebut menunjukkan sebuah balok yang terkena gaya tarik  $F$ , sehingga menghasilkan tegangan aksial ( $\sigma_t$ ) yang bekerja tegak lurus dengan arah gaya dan tegangan geser ( $\tau_s$ ) yang bekerja sejajar dengan arah gaya.



Gambar 2-14 Tegangan aksial dan tegangan geser  
(Sumber: (Khafidh, 2022))

### 2.2.5.2 Regangan

Regangan adalah perubahan bentuk atau ukuran suatu material akibat adanya gaya luar yang bekerja padanya. Ketika suatu benda diberi beban, benda tersebut tidak hanya mengalami tegangan, tetapi juga mengalami regangan. Ilustrasi regangan yang ditunjukkan pada Gambar 2-15. Secara umum, regangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

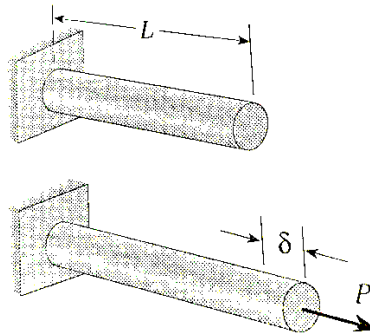
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.7)$$

Di mana:

$\varepsilon$  = Regangan

$\Delta L$  = Penambahan panjang (mm) ( $L - L_0$ )

$L_0$  = Panjang awal (mm)



Gambar 2-15 Regangan

(Sumber: (Gere & Timoshenko, 1996))

### 2.2.6 Hukum Hooke

Hukum Hooke merupakan hukum dasar dalam mekanika material yang menyatakan bahwa dalam batas elastisitasnya, besarnya regangan yang terjadi pada suatu material sebanding dengan tegangan yang bekerja. Ketika suatu material diberi gaya, material tersebut akan mengalami deformasi dan selama deformasi tersebut masih berada dalam batas elastisnya, material akan kembali ke bentuk semula setelah gaya dilepaskan. Secara sistematis, hubungan antara tegangan dan regangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (2.8)$$

Di mana:

$\sigma$  = Tegangan (MPa)

$\varepsilon$  = Regangan

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

Modulus elastisitas menunjukkan kekakuan suatu material. Semakin besar nilai  $E$ , maka semakin kecil regangan yang dihasilkan oleh tegangan tertentu yang berarti material tersebut memiliki kekakuan yang tinggi.

### 2.2.7 Faktor Keamanan

Faktor keamanan (*safety factor* - SF) adalah konsep dasar dalam mekanika teknik yang digunakan untuk memberikan batas aman antara kemampuan maksimum material dan kondisi pembebanan aktual yang diterima struktur. Tujuannya utamanya adalah untuk mengantisipasi berbagai ketidakpastian dalam perancangan, seperti beban mendadak, jenis beban (statis atau dinamis), kemungkinan lelah (*fatigue*), kualitas pengerjaan, dan penurunan sifat material seiring waktu. Secara umum, faktor keamanan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SF = \frac{\text{Kekuatan bahan}}{\text{Beban yang bekerja}} > 1 \quad (2.9)$$

Nilai faktor keamanan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa struktur dirancang lebih aman, namun berdampak pada efisiensi penggunaan material dan biaya. Sebaliknya, nilai yang terlalu rendah dapat meningkatkan risiko kegagalan struktur. Oleh karena itu, pemilihan nilai faktor keamanan harus mempertimbangkan jenis material, kondisi pembebanan, dan potensi akibat dari kegagalan.

Konsep faktor keamanan juga dapat digunakan juga untuk menentukan tegangan izin, yaitu tegangan maksimum yang diizinkan bekerja pada struktur tanpa menimbulkan kegagalan. Nilai tegangan izin diperoleh dengan membagi tegangan luluh terhadap faktor keamanan, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_s}{SF} \quad (2.10)$$

Tegangan izin ini menjadi batas evaluasi terhadap tegangan aktual. Jika tegangan yang terjadi lebih kecil atau sama dengan tegangan izin, maka struktur dinyatakan berada dalam kondisi aman, sebagaimana ditunjukkan berikut:

$$\sigma_{aktual} \leq \sigma_{izin}$$

### 2.2.8 Kegagalan Material

Kegagalan pada struktur tidak selalu langsung terlihat. Bisa berupa retakan kecil, deformasi plastis, hingga akhirnya patah total. Hal ini umumnya terjadi karena beban yang diterima suatu komponen melebihi kekuatan materialnya. Untuk memahami kapan suatu material mulai tidak mampu menahan beban, maka digunakan pendekatan teori kegagalan. Teori ini membantu memperkirakan batas tegangan maksimum yang masih ditahan oleh material sebelum terjadi kerusakan. Gambar 2-16 menunjukkan perbandingan antara kriteria kegagalan Tresca dan Von Mises dalam diagram tegangan utama.

a. Teori Tegangan Geser Maksimum (Tresca)

Teori Tresca menyatakan bahwa kegagalan pada material terjadi ketika tegangan geser maksimum yang dialami suatu titik melebihi tegangan luluh geser material tersebut. Tegangan geser maksimum dapat dihitung dari perbedaan antara dua tegangan utama yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau_{maks} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2} \quad (2.11)$$

Material dianggap mengalami kegagalan apabila:

$$\tau_{maks} \geq \frac{\sigma_s}{2}$$

Di mana:

$\sigma_1$  adalah tegangan utama terbesar.

$\sigma_2$  adalah tegangan utama terkecil.

$\sigma_s$  adalah tegangan luluh material.

Teori ini cenderung konservatif, karena memberi batas aman yang lebih ketat. Kurva batas kegagalan Tresca berbentuk heksagon jika digambarkan pada bidang tegangan utama.

b. Teori Energi Distorsi (Von Mises)

Teori Von Mises menjelaskan bahwa kegagalan terjadi apabila energi distorsi dalam material terjadi perubahan bentuk atau mencapai batas tertentu. Batas ini didasarkan pada energi yang muncul saat material

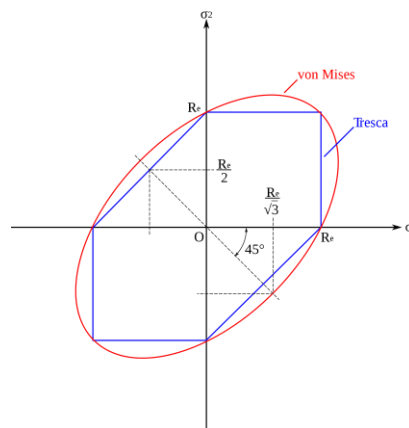
mulai luluh. Rumus tegangan Von Mises dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2.12)$$

Material dianggap mengalami kegagalan apabila:

$$\sigma_v \geq \sigma_s$$

Teori ini memberikan hasil untuk kondisi tegangan gabungan dan sering digunakan dalam analisis numerik seperti *Finite Element Analysis* (FEA). Batas luluh Von Mises memiliki bentuk elips dalam bidang tegangan utama.



Gambar 2-16 Diagram tegangan utama (*principal stress space*)

(Sumber: Scholarly Community Encyclopedia (*online*))

## 2.2.9 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method* - FEM) merupakan salah satu metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks. Dalam bidang teknik, FEM digunakan untuk menganalisis komponen yang terkena beban. Pada prinsipnya, FEM membagi suatu komponen menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen (*mesh*), kemudian menganalisis elemen tersebut untuk memperkirakan perilaku keseluruhan struktur.

Saat ini, FEM banyak diintegrasikan ke dalam perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*) yang dapat menganalisis secara visual dan efisien. Perangkat lunak CAE seperti SolidWorks, ANSYS, dan Inventor memudahkan

pengguna dalam membuat desain, mendefinisikan material, memberi pembebanan, dan melihat hasil analisis dalam bentuk warna dan grafik.

### **2.2.10 Mesh**

Dalam analisis menggunakan metode elemen hingga, *mesh* adalah proses pembagian domain analisis menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung. Setiap elemen ini akan dianalisis secara individual, kemudian hasilnya digabungkan untuk mendapatkan respons keseluruhan struktur.

*Mesh* dapat merepresentasikan bentuk geometri kompleks dan variasi pembebanan dengan cara yang lebih sederhana dan terukur secara komputasional. Tingkat ketelitian analisis FEM sangat dipengaruhi oleh ukuran dan kualitas *mesh*:

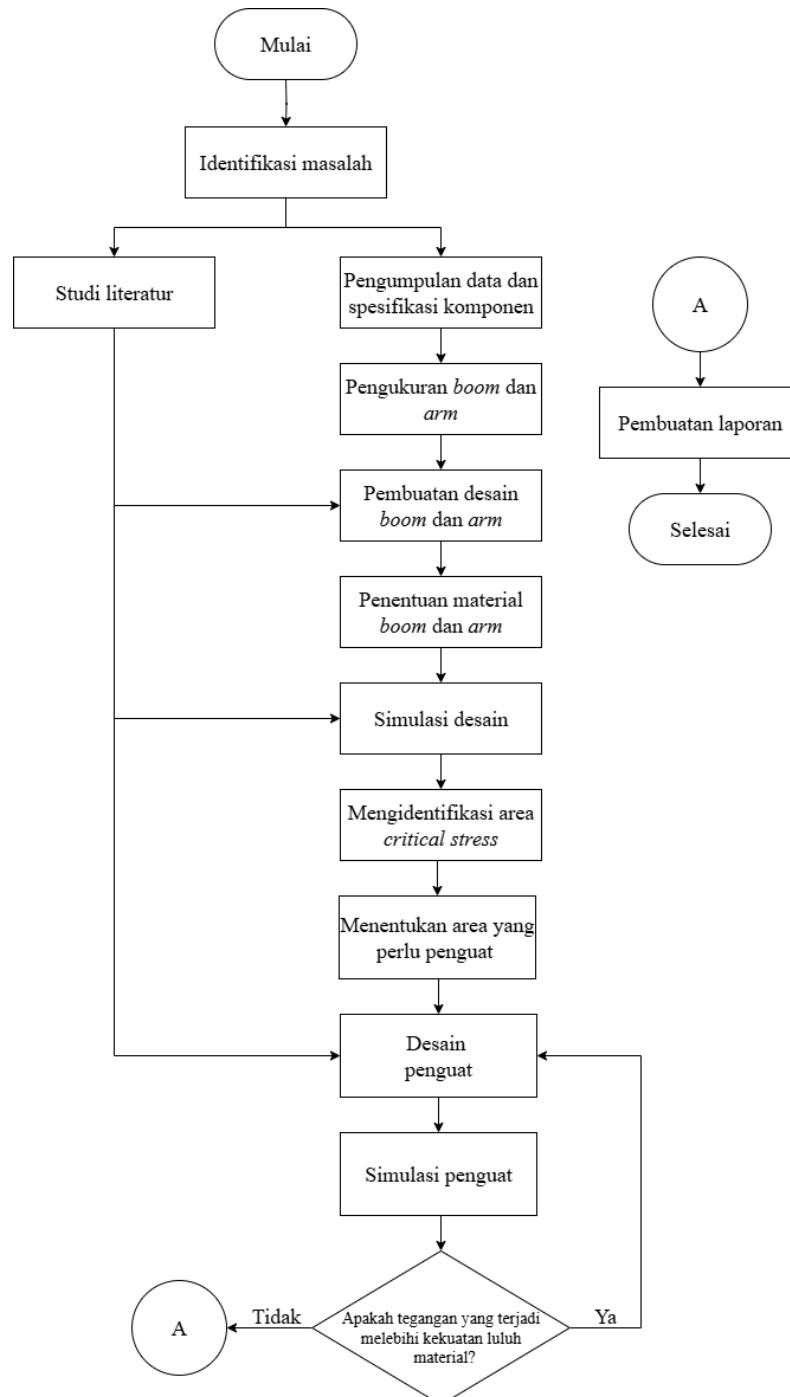
- *Mesh* halus (*fine mesh*)  
*Mesh* halus menghasilkan hasil simulasi yang lebih akurat, namun membutuhkan waktu komputasi lebih lama.
- *Mesh* standar  
*Mesh* standar adalah pembagian elemen secara *default* yang digunakan untuk memperoleh hasil simulasi dengan waktu komputasi efisien.
- *Mesh* kasar (*coarse mesh*)  
*Mesh* kasar menghasilkan hasil yang kurang presisi, tetapi tidak membutuhkan waktu komputasi yang lama.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alur Penelitian

Berikut merupakan alur penelitian yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 3-1 Diagram alir penelitian

## 3.2 Perancangan

Proses perancangan ini terdiri dari beberapa tahapan utama yang disusun secara sistematis. Setiap langkah dan tahapan tersebut dirancang untuk memastikan alur kerja yang terarah.

### 3.2.1 Pengumpulan Data dan Spesifikasi

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang mencakup informasi operasional dan spesifikasi *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R. Data ini diperoleh melalui observasi lapangan saat penulis melaksanakan magang pada tanggal 16 – 19 Desember 2024 dan referensi dari *Shop Manual* Komatsu SEN06824-00. Data yang telah diperoleh ditampilkan pada tabel Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Data operasional dan spesifikasi *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R

| Jenis Data                                                                 | Keterangan                          |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Payload</i> material <i>bucket</i> standar<br>(aktual/kalkulasi)        | 12.500 <i>kg</i> / 15.000 <i>kg</i> |
| <i>Payload</i> material <i>bucket</i> <i>upsized</i><br>(aktual/kalkulasi) | 15.000 <i>kg</i> / 16.800 <i>kg</i> |
| Densitas material                                                          | 2.240 <i>kg/m</i> <sup>3</sup>      |
| Berat <i>boom</i> (SEN06824-00)                                            | 10.275 <i>kg</i>                    |
| Berat <i>arm</i> (SEN06824-00)                                             | 3.915 <i>kg</i>                     |
| Berat <i>bucket</i> standar<br>(SEN06824-00)                               | 6.491 <i>kg</i>                     |
| Berat <i>bucket</i> <i>upsized</i> (aktual)                                | 7.300 <i>kg</i>                     |
| Kapasitas <i>bucket</i> standar<br>(SEN06824-00)                           | 6,7 <i>m</i> <sup>3</sup>           |
| Kapasitas <i>bucket</i> <i>upsized</i>                                     | 7,5 <i>m</i> <sup>3</sup>           |
| Tekanan hidrolik <i>boom</i>                                               | 320 <i>kg/cm</i> <sup>2</sup>       |
| Tekanan hidrolik <i>arm</i>                                                |                                     |
| Tekanan hidrolik <i>bucket</i>                                             |                                     |

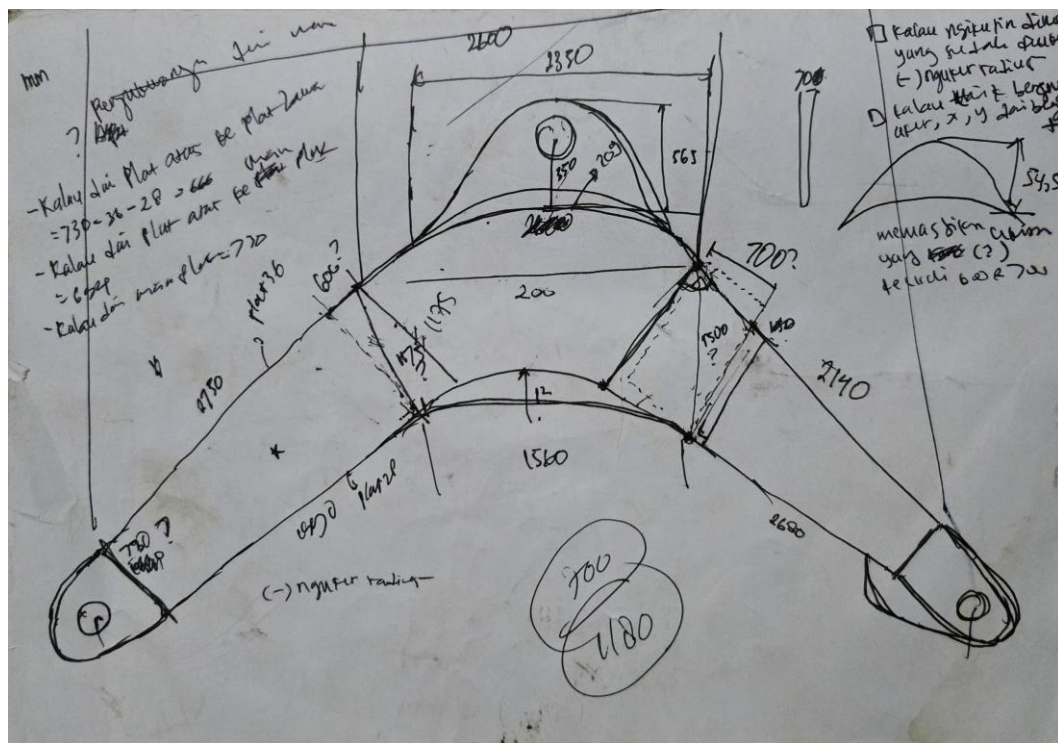
|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Waktu operasional</p>                   | <div data-bbox="818 232 1361 504">  <p><i>Swing to Dig</i><br/>Waktu : 5 detik</p> </div> <div data-bbox="943 562 1233 831">  <p><i>Digging</i><br/>Waktu : 13 detik</p> </div> <div data-bbox="818 857 1361 1126">  <p><i>Swing to Dumping</i><br/>Waktu : 10 detik</p> </div> |
| <p>Dokumentasi kerusakan pada komponen</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

(Sumber: Data lapangan dan (Komatsu, 2021))

### 3.2.2 Pengukuran Komponen *Boom* dan *Arm*

Tahap ini dilakukan untuk memperoleh dimensi aktual dari komponen *boom* dan *arm* sebagai acuan pembuatan model tiga dimensi (3D). Pengukuran dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan beberapa alat seperti penggaris, penggaris siku, jangka sorong, busur, meteran, *waterpass*, dan

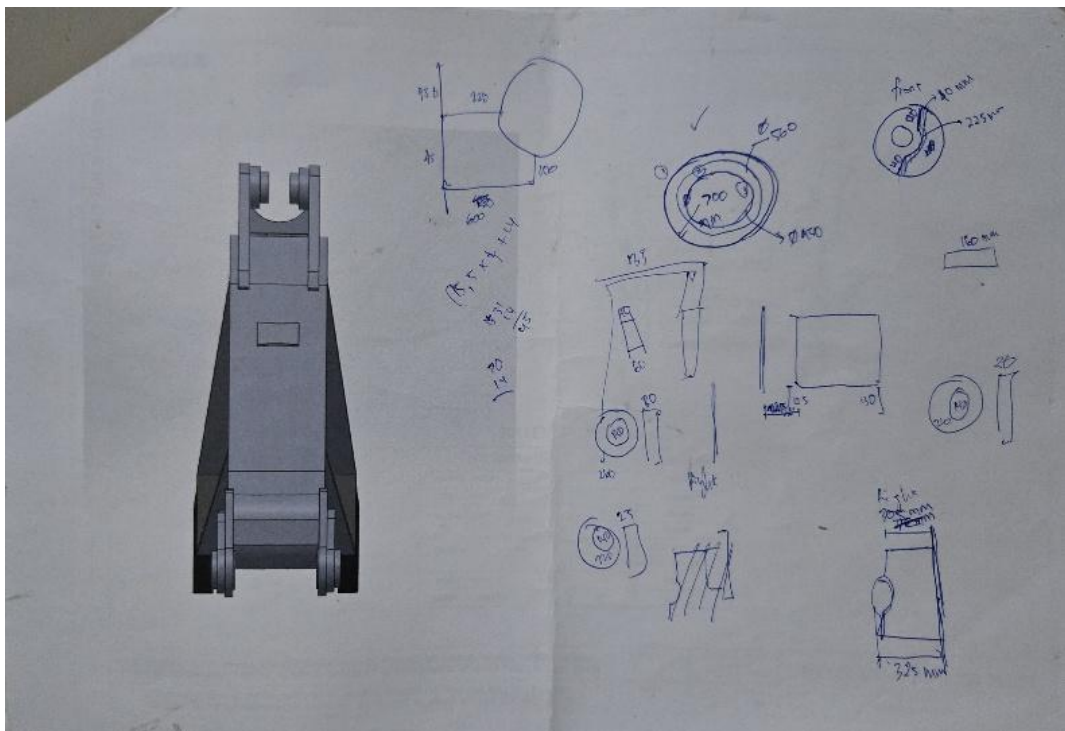
Hasil pengukuran tersebut kemudian digambarkan dalam bentuk sketsa dua dimensi (2D) untuk mempermudah proses pemodelan tiga dimensi. Adapun hasil penggambaran ditunjukkan pada Gambar 3-2 merupakan hasil pengukuran komponen *boom*, komponen *arm* yang ditunjukkan pada Gambar 3-3, hasil pengukuran ketebalan pada komponen *boom* yang ditunjukkan pada Gambar 3-4, dan hasil pengukuran ketebalan pada komponen *arm* yang ditunjukkan pada Gambar 3-5.



26



Gambar 3-3 Model 2D pengukuran *arm*  
*Excavator Komatsu PC1250SP-11R*

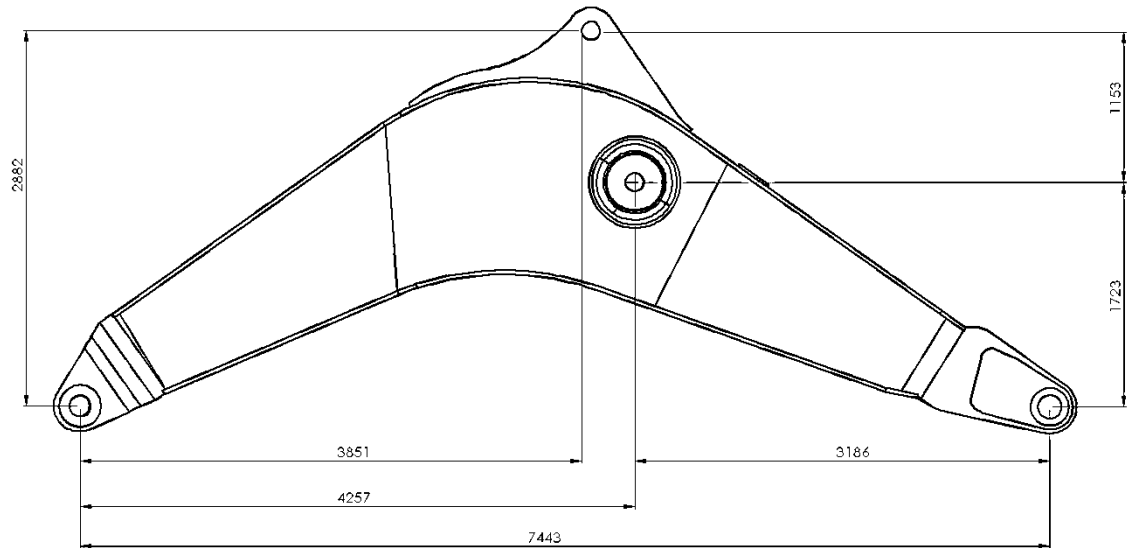


Gambar 3-4 Hasil pengukuran ketebalan *boom*  
*Excavator Komatsu PC1250SP-11R*

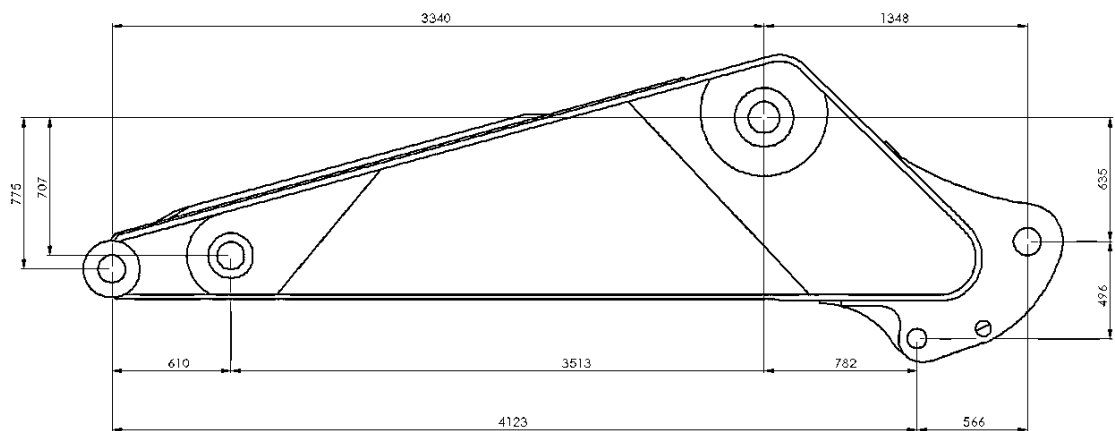


Gambar 3-5 Hasil pengukuran ketebalan *arm*  
*Excavator* Komatsu PC1250SP-11R

Setelah dilakukan pengukuran langsung pada komponen *boom* dan *arm*, tahap selanjutnya adalah pembuatan desain menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Setelah desain selesai, kemudian dibuat gambar teknik yang ditunjukkan pada Gambar 3-6 menunjukkan dimensi dari komponen *boom* dan Gambar 3-7 menunjukkan dimensi dari komponen *arm* *Excavator* Komatsu PC1250SP-11R.



Gambar 3-6 Dimensi *boom* Excavator Komatsu PC1250SP-11R



Gambar 3-7 Dimensi *arm* Excavator Komatsu PC1250SP-11R

### 3.2.3 Pembuatan Desain *Boom* dan *Arm*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain dari komponen *boom* dan *arm* Excavator Komatsu PC1250SP-11R menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Pembuatan desain mengacu pada dimensi komponen yang terdapat di *Shop Manual Book* dan hasil pengukuran langsung. Hasil desain komponen *boom* ditunjukkan pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2 menunjukkan *section* dari *boom*, sedangkan Gambar 4-3 menunjukkan desain *arm* dan Gambar 4-4 menunjukkan *section* dari *arm*.

### 3.2.4 Penentuan Material *Boom* dan *Arm*

Dalam tahap ini, dilakukan identifikasi jenis material yang digunakan pada komponen *boom* dan *arm* *Exacator* Komatsu PC1250SP-11R. Material struktur yang digunakan tergolong dalam kategori *high tensile low alloy* (HSLA) (Komatsu, 2022). Baja ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi ( $> 480$  MPa), ulet, mudah dibentuk, dan pemesinan (Callister, 2007).

### 3.2.5 Analisis Kondisi Kerja

Pada penelitian ini, analisis dilakukan pada dua kondisi kerja utama, yaitu saat *digging* dan *lifting*. Kedua kondisi tersebut menggunakan tekanan hidrolik maksimum (tekanan *relief*) pada silinder *boom*, *arm*, dan *bucket*. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai tegangan tertinggi terjadi pada saat *levelling* atau *digging* dan *lifting* (Solazzi et al., 2022). Oleh karena itu, kondisi *digging* dan *lifting* dianggap mampu merepresentasikan beban kerja terberat yang harus ditahan oleh struktur. Ilustrasi kedua kondisi kerja tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-8 dan Gambar 3-9.



Gambar 3-8 Proses *digging*



Gambar 3-9 Proses *lifting*

### 3.2.6 Proses Simulasi

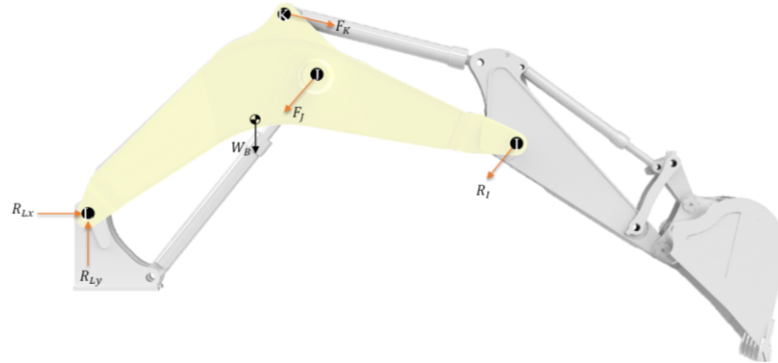
Proses simulasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, yaitu analisis berbasis metode elemen hingga (FEM). Perangkat lunak ini digunakan untuk menganalisis distribusi tegangan (*stress*) pada struktur komponen. Tahapan simulasi dilakukan secara sistematis dan akan dijelaskan lebih lanjut pada sub-sub bab berikut.

#### 3.2.6.1 Kondisi Batas

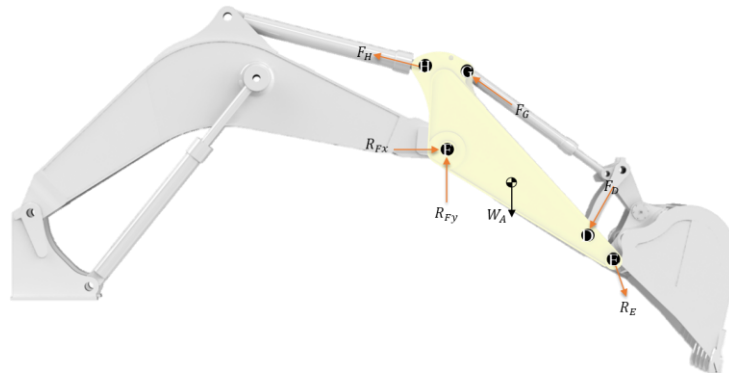
Kondisi batas ditentukan untuk merepresentasikan kondisi nyata saat komponen beroperasi, seperti titik tumpuan dan arah gaya yang bekerja pada setiap komponen *boom* dan *arm* saat *digging* dan *lifting* terhadap *bucket* standar dan *upsized*. Penentuan kondisi batas ini penting dilakukan supaya simulasi dapat merepresentasikan beban kerja aktual yang diterima oleh struktur selama proses beroperasi.

Diagram benda bebas (DBB) pada masing-masing komponen saat beroperasi ditunjukkan pada beberapa gambar. Gambar 3-10 menunjukkan DBB *boom* terhadap *bucket* standar dan *upsized* saat *digging*. Gambar 3-11 menunjukkan DBB *arm* terhadap *bucket* standar dan *upsized* saat *digging*. Gambar 3-12 dan Gambar 3-13 menunjukkan DBB *boom* dan *arm* terhadap *bucket*

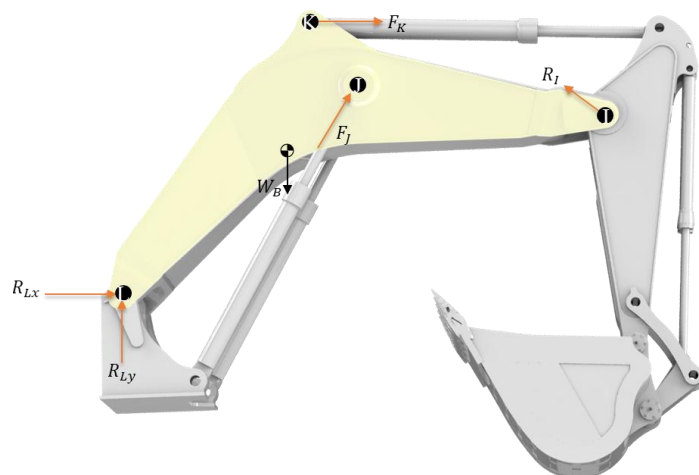
standar saat *lifting*. Gambar 3-14 dan Gambar 3-15 menunjukkan DBB *boom* dan *arm* terhadap *bucket upsize* saat *lifting*.



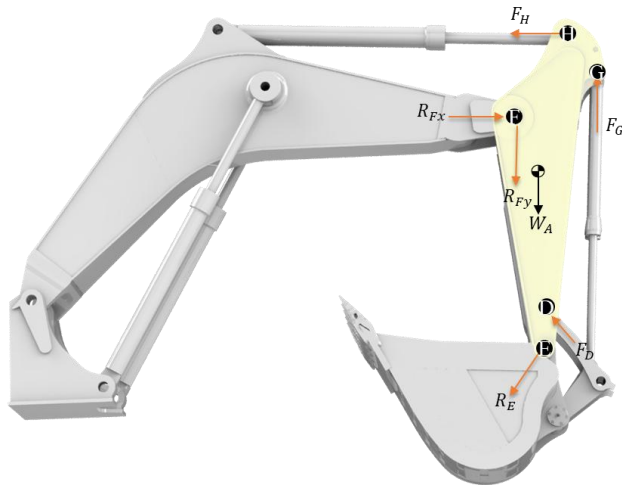
Gambar 3-10 Diagram benda bebas *boom* terhadap *bucket* standar dan *upsized* (*digging*)



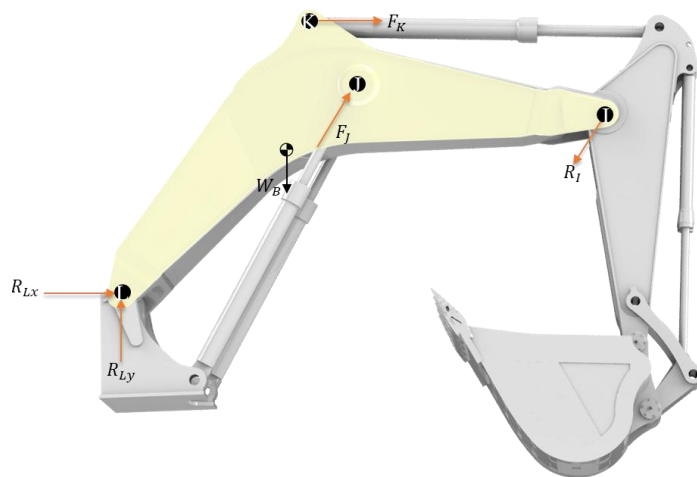
Gambar 3-11 Diagram benda bebas *arm* terhadap *bucket* standar dan *upsized* (*digging*)



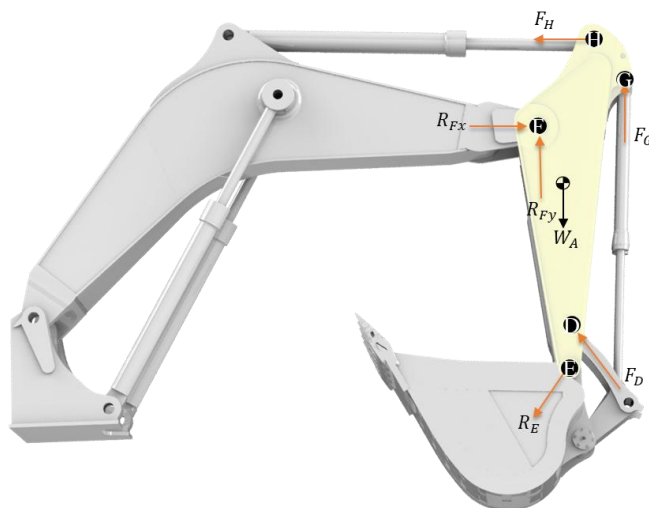
Gambar 3-12 Diagram benda bebas *boom* terhadap *bucket* standar (*lifting*)



Gambar 3-13 Diagram benda bebas *arm* terhadap *bucket* standar (*lifting*)



Gambar 3-14 Diagram benda bebas *boom* terhadap *bucket upsizer* (*lifting*)



Gambar 3-15 Diagram benda bebas *arm* terhadap *bucket upsizer* (*lifting*)

### 3.2.6.2 Identifikasi Pembebanan

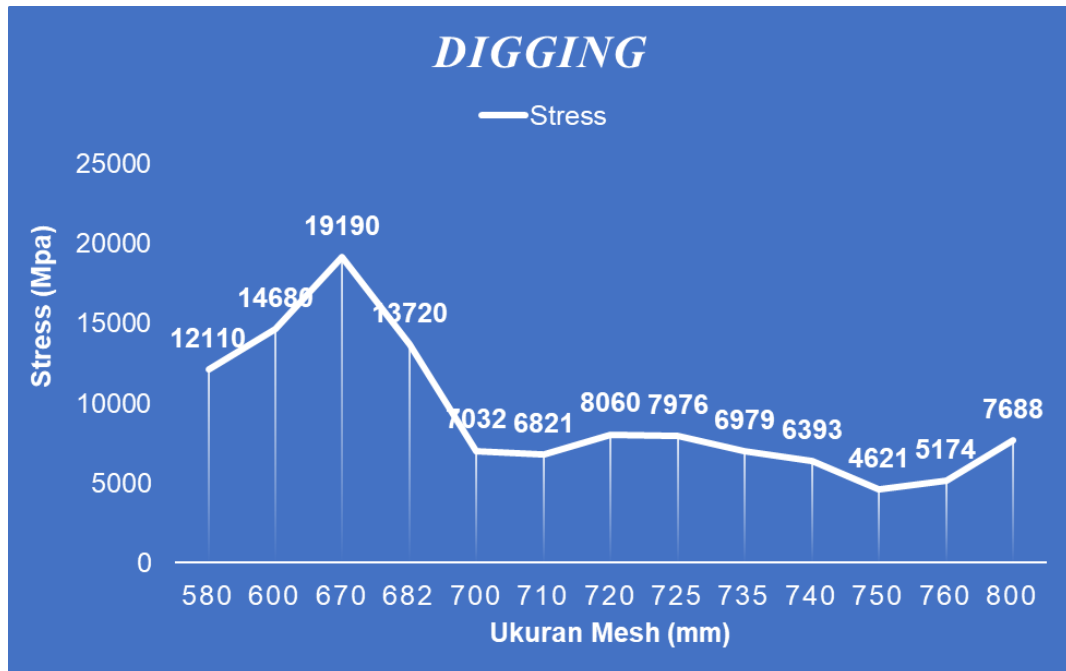
Pada tahap ini dilakukan dengan memberikan pembebanan pada komponen *boom* dan *arm* sesuai beban yang diterima saat operasional di lapangan. Nilai pembebanan didapatkan dari hasil perhitungan yang berdasarkan data operasional, kemudian diterapkan secara statis dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Adapun nilai pembebanan yang digunakan dalam simulasi disajikan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Nilai pembebanan pada titik-titik komponen *boom* dan *arm*

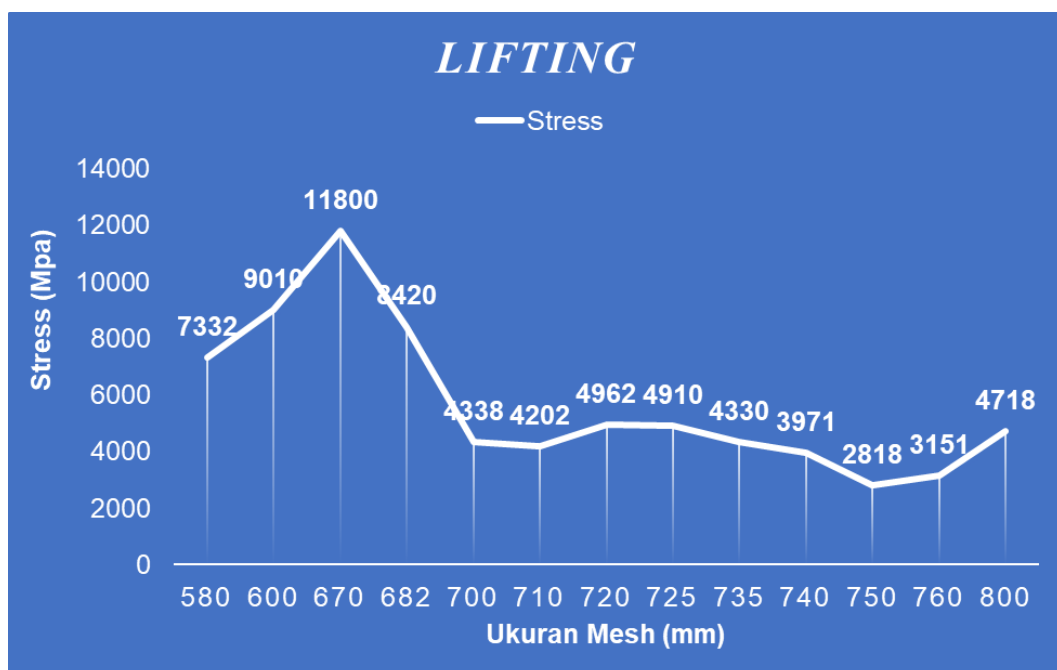
| Kondisi Kerja                   |         | <i>Digging</i> |               | <i>Lifting</i> |               |
|---------------------------------|---------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| Jenis <i>Bucket</i>             |         | Standar        | <i>Upsize</i> | Standar        | <i>Upsize</i> |
| Beban yang diterima <i>Arm</i>  | Titik E | 958.555 N      | 952.635 N     | 506.292 N      | 594.508 N     |
|                                 | Titik D | 1.092.370 N    | 1.088.710 N   | 345.694 N      | 223.840 N     |
|                                 | Titik G | 305.020 N      |               |                |               |
|                                 | Titik H | 828.206 N      |               |                |               |
| Beban yang diterima <i>Boom</i> | Titik I | 956.172 N      | 957.493 N     | 1.245.118 N    | 1.209.298 N   |
|                                 | Titik J | 616.853 N      |               |                |               |
|                                 | Titik K | 828.206 N      |               |                |               |

### 3.2.6.3 Meshing

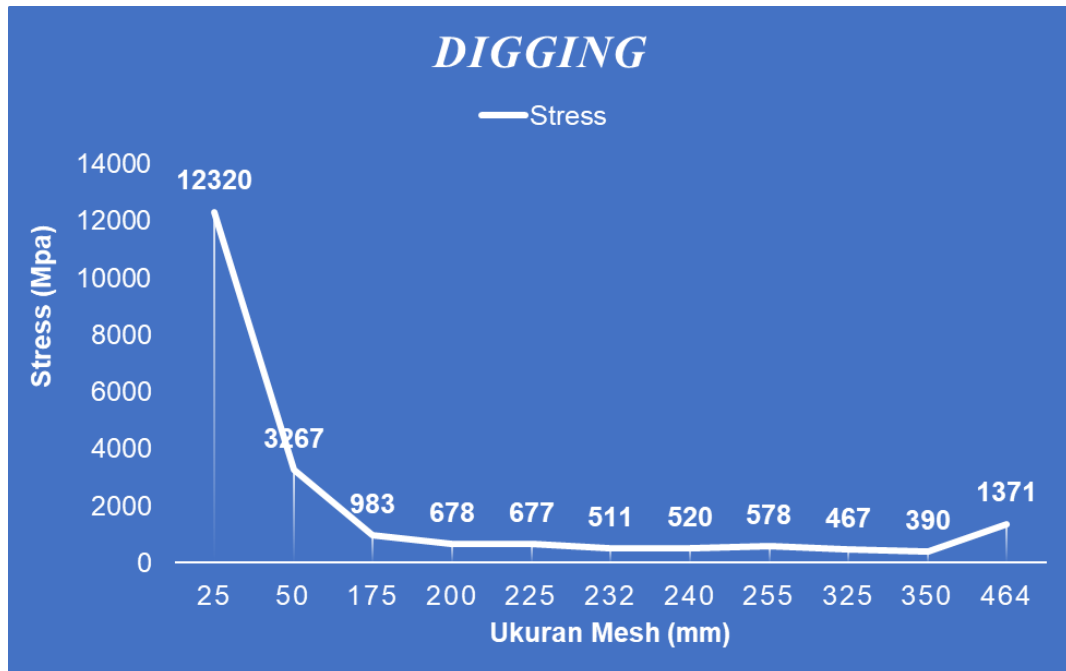
Pada proses *meshing*, dilakukan iterasi dengan variasi ukuran *mesh* mulai dari yang bersifat *coarse* (kasar), standar (menengah), dan *fine* (halus). Pemilihan ukuran *mesh* dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi tegangan yang diperoleh dari masing-masing variasi ukuran *mesh*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-16 yang memperlihatkan grafik hasil tegangan yang terjadi pada *boom* saat *digging*, Gambar 3-17 untuk kondisi *boom* saat *lifting*, Gambar 3-18 pada *arm* saat *digging*, dan Gambar 3-19 pada *arm* saat *lifting*.



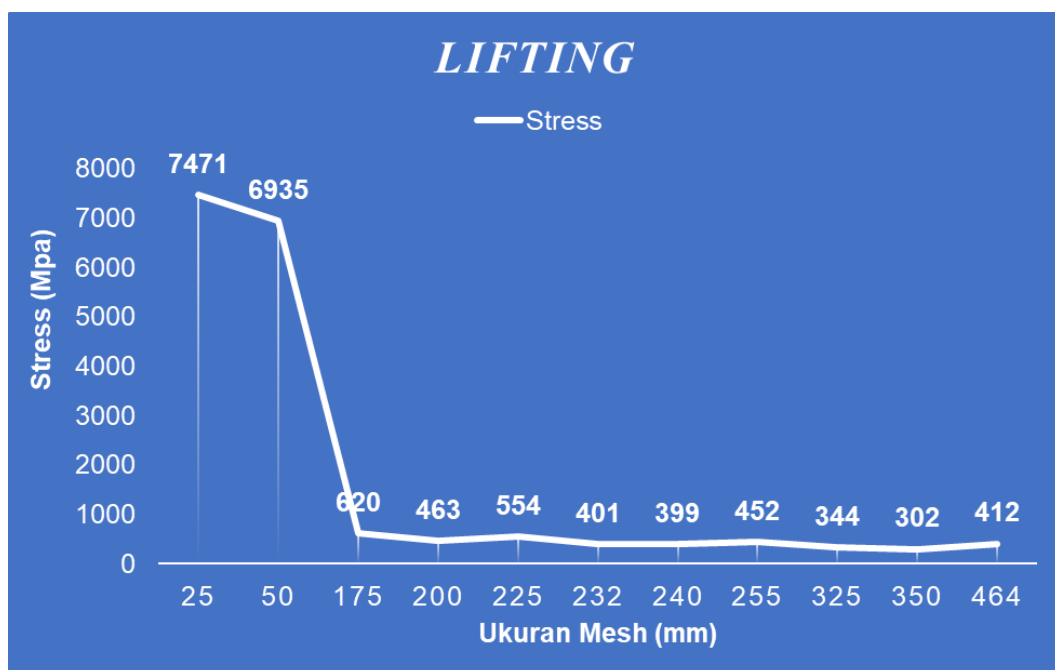
Gambar 3-16 Grafik hasil tegangan kondisi *digging* terhadap variasi ukuran *mesh* (*boom*)



Gambar 3-17 Grafik hasil tegangan kondisi *lifting* terhadap variasi ukuran *mesh* (*boom*)



Gambar 3-18 Grafik hasil tegangan kondisi *digging* terhadap variasi ukuran *mesh* (*arm*)



Gambar 3-19 Grafik hasil tegangan kondisi *lifting* terhadap variasi ukuran *mesh* (*arm*)

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, pemilihan ukuran *mesh* ditentukan dari kestabilan nilai tegangan pada setiap variasi ukuran *mesh*. Komponen *boom* menggunakan ukuran *mesh* sebesar 700 mm, sedangkan komponen *arm* menggunakan ukuran *mesh* sebesar 232 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa simulasi telah berada dalam kondisi konvergen. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melakukan pengujian uji *mesh dependency* untuk menentukan ukuran *mesh* optimal tanpa perbedaan hasil yang signifikan antar variasi ukuran (Khakim, 2022).

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan dari seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan. Setiap tahapan dibahas secara sistematis untuk menunjukkan keterikatan antara proses perancangan dan hasil evaluasi struktur.

#### 4.1 Desain Komponen

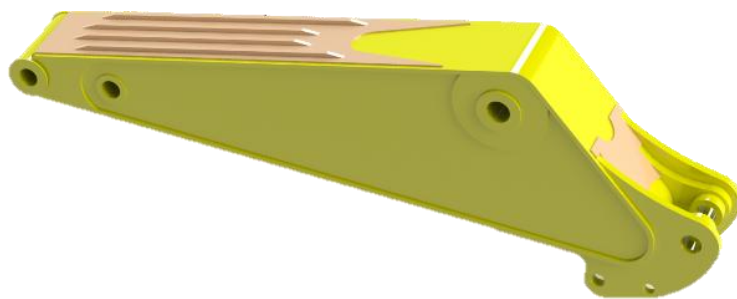
Desain komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R dibuat dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, berdasarkan dimensi hasil pengukuran langsung dan referensi *Shop Manual Book*. Desain ini menjadi dasar dalam proses analisis dan perancangan penguat struktur. Gambar 4-1 menunjukkan desain *boom*, Gambar 4-2 menunjukkan bagian dalam dari *boom*, Gambar 4-3 menunjukkan desain *arm*, dan Gambar 4-4 menunjukkan bagian dalam dari *arm*.



Gambar 4-1 Desain *boom*  
*Excavator* Komatsu PC1250SP-11R



Gambar 4-2 *Section view desain boom*  
*Excavator Komatsu PC1250SP-11R*



Gambar 4-3 *Desain arm*  
*Excavator Komatsu PC1250SP-11R*



Gambar 4-4 *Section view desain arm*  
*Excavator Komatsu PC1250SP-11R*

## 4.2 Material Komponen

Dalam tahap ini dilakukan penentuan jenis material yang digunakan pada *base* komponen. Pemilihan material dilakukan melalui perhitungan manual menggunakan pendekatan kesetimbangan benda tegar dengan mempertimbangkan kondisi kerja terberat pada *excavator*, yaitu saat *digging* dan *lifting*. Perhitungan ini dilakukan pada komponen *boom* dan *arm* dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut.

### 4.2.1.1 Massa overburden

Massa *overburden* dihitung untuk mengetahui besar beban yang bekerja pada *bucket* standar saat pengangkatan material (*lifting*).

$$m_{OB} = V_{BucketStandar} \times \rho_{OB} \quad (4.1)$$

$$m_{OB} = 6,7 \text{ m}^3 \times 2.240 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{OB} = 15.008 \text{ kg}$$

Asumsi pada saat kondisi aktual dapat melebihi dua kali dari perhitungan, maka:

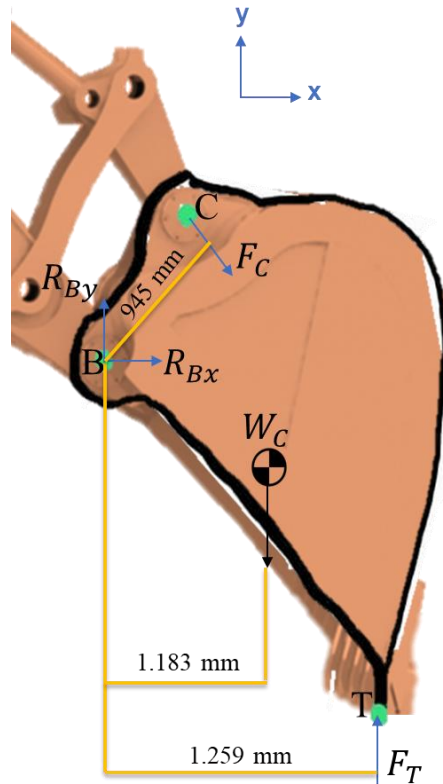
$$m_{OBAct} = m_{OB} \times 2 \quad (4.2)$$

$$m_{OBAct} = 15.008 \text{ kg} \times 2$$

$$m_{OBAct} = 30.016 \text{ kg}$$

### 4.2.1.2 Kondisi pada saat proses pengerukan (*digging*)

Pada saat *digging* terdapat beban *bucket* dan gaya yang diberikan oleh tanah kepada *bucket*. Berikut perhitungan pada *bucket* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-5.



Gambar 4-5 Diagram benda bebas *bucket (digging)*

$$W_C = m_{BucketStandar} \times \text{gravitasi} \quad (4.3)$$

$$W_C = 6.491 \text{ kg} \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$W_C = 63.677 \text{ N} \approx 64 \text{ kN}$$

Selanjutnya, perhitungan gaya yang dihasilkan tanah ( $F_T$ ) pada *bucket* dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter tanah dan geometri penggalian yang telah ditentukan. Nilai-nilai tersebut ditampilkan pada Tabel 4-1 sebagai dasar melakukan perhitungan.

Tabel 4-1 Parameter perhitungan gaya tanah

| Deskripsi                                    | Simbol     | Nilai        | Satuan     |
|----------------------------------------------|------------|--------------|------------|
| <i>Rake angel</i>                            | $\alpha$   | 80           | <i>deg</i> |
| <i>Angel of internal shearing resistance</i> | $\phi$     | 31,52        | <i>deg</i> |
| <i>Soil to metal friction angel</i>          | $\delta$   | 20           | <i>deg</i> |
| <i>Angel of the soil failure wedge</i>       | $\beta$    | 40,5         | <i>deg</i> |
| <i>Soil density</i>                          | $\gamma$   | 2.240        | $kg/m^3$   |
| Gravitasi                                    | $g$        | 9,81         | $m/s^2$    |
| <i>Soil cohesion</i>                         | $c$        | 200.870      | $N/m^2$    |
| <i>Operating tool depth</i>                  | $d$        | 0,236        | m          |
| <i>Soil surchage pressure</i>                | $q$        | 10           | $N/m^2$    |
| <i>Soil to metal adhesion</i>                | $c_a$      | 24.466,81286 | $N/m^2$    |
| <i>Widht of the tool</i>                     | $w$        | 2,561        | m          |
| Faktor berat tanah                           | $N_\gamma$ | 4,60         | -          |
| Faktor kohesi                                | $N_c$      | 9,43         | -          |
| Faktor tekanan vertikal                      | $N_q$      | 9,20         | -          |
| Faktor adhesi                                | $N_a$      | 6,44         | -          |

(Sumber: (Laboratorium Geoteknik, 2024; Margaretha & Ariatedja, 2020; Patel et al., 2011; Suryo et al., 2017))

Setelah itu, gaya yang dihasilkan tanah terhadap *bucket* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_T = ((\gamma \times g \times d^2 \times N_\gamma) + (c \times d \times N_c) + (q \times d \times N_q) + (c_a \times d \times N_a)) \times w \quad (4.4)$$

$$F_T = \left( \left( 2.240 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times (0,236 m)^2 \times 4,60 \right) + \left( 200.870 \frac{N}{m^2} \times 0,236 m \times 9,43 \right) + \left( 10 \frac{N}{m^2} \times 0,236 m \times 9,20 \right) + \left( 24.466,81286 \frac{N}{m^2} \times 0,236 m \times 6,44 \right) \right) \times 2,561 m$$

$$F_T = 1.254.556 N \approx 1.254 kN$$

- Gambar 4-5 menunjukkan DBB dari *bucket* pada saat *digging* yang digunakan untuk perhitungan momen di titik B dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_B = 0$$

$$(F_T \times 1.259 mm) - (F_C \times 945 mm) - (W_C \times 1.183 mm) = 0$$

$$(1.254.556 N \times 1.259 mm) - (F_C \times 945 mm) - (63.677 N \times 1.183 mm) = 0$$

$$F_C = 1.591.670 N \approx 1.592 kN$$

- Resultan x di titik B (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} + F_{Cx} = 0$$

$$R_{Bx} + (F_C \cos 52^\circ) = 0$$

$$R_{Bx} + (1.591.670 N \times 0,6) = 0$$

$$R_{Bx} = -955.002 N$$

$$R_{Bx} = 955.002 N \rightarrow \text{ke arah kiri}$$

$$R_{Bx} = 955 kN$$

- Resultan y di titik B (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By} - W_C + F_T - F_{Cy} = 0$$

$$R_{By} - W_C + F_T - (F_C \sin 52^\circ) = 0$$

$$R_{By} - 63.677 \text{ N} + 1.254.556 \text{ N} - (1.591.670 \text{ N} \times 0,8) = 0$$

$$R_{By} = 82.457 \text{ N} \approx 82 \text{ kN}$$

- Resultan di titik B

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = \sqrt{(955.002 \text{ N})^2 + (82.457 \text{ N})^2}$$

$$R_B = 958.555 \text{ N} \approx 958 \text{ kN}$$

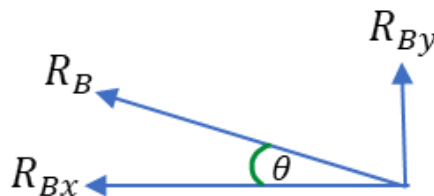
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik B ( $R_B$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{By}}{R_{Bx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{82.457 \text{ N}}{955.002 \text{ N}}$$

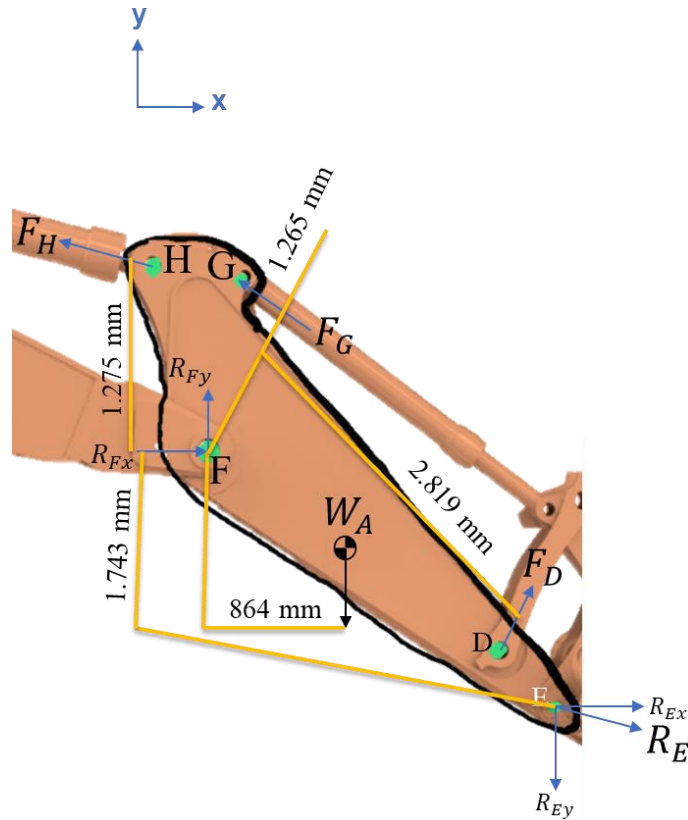
$$\theta = 6^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik B ke arah kuadran II dengan sudut  $6^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6 Arah resultan di titik B (*digging*)

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada komponen *arm* yang dilakukan sebagai berikut dengan DBB pada *arm* ditunjukkan pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7 Diagram benda bebas *arm* (*digging*)

Jika ditinjau dari *arm*, titik E merupakan gaya reaksi dari titik B dari *bucket*. Sehingga resultan di titik E ( $R_E$ ) ke arah kuadran IV dengan sudut  $6^\circ$ . Selanjutnya untuk menentukan resultan gaya di titik F dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Gambar 4-7 menunjukkan DBB dari *arm* pada saat *digging* yang digunakan untuk perhitungan momen di titik F dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_F = 0$$

$$(R_E \times 1.743 \text{ mm}) + (F_D \times 2.819 \text{ mm}) + (F_G \times 1.265 \text{ mm}) +$$

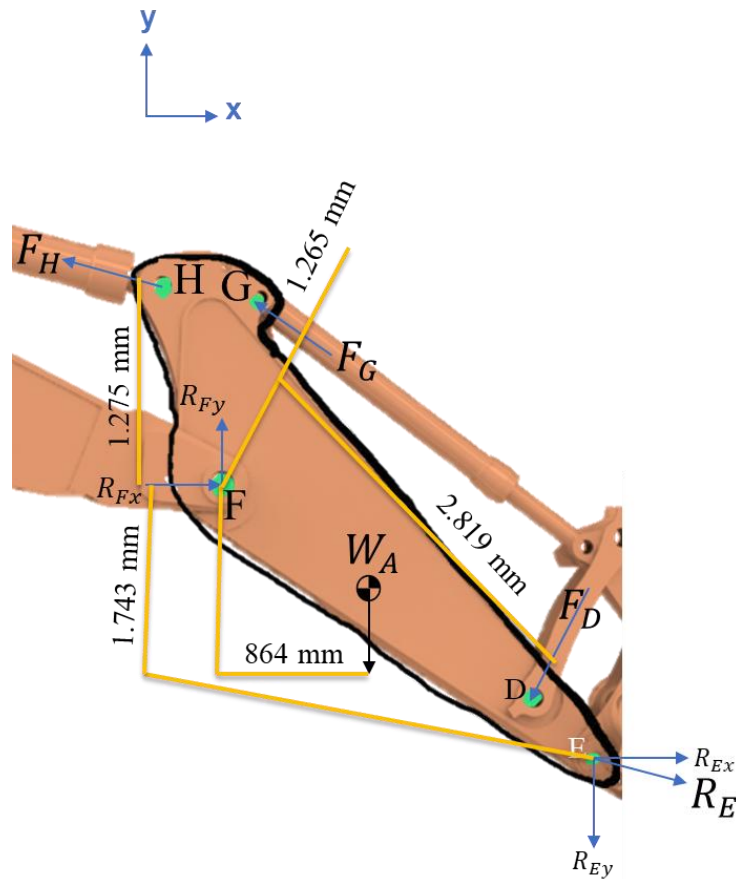
$$(F_H \times 1.275 \text{ mm}) - (W_A \times 864 \text{ mm}) = 0$$

$$(958.555 \text{ N} \times 1.743 \text{ mm}) + (F_D \times 2.819 \text{ mm}) + (305.020 \text{ N} \times 1.265 \text{ mm}) + (828.206 \text{ N} \times 1.275 \text{ mm}) - (38.406 \text{ N} \times 864 \text{ mm}) = 0$$

$$F_D = -1.092.370 \text{ N}$$

$$F_D = 1.092.370 \text{ N} \approx 1.092 \text{ kN} \rightarrow \text{ke arah masuk}$$

Sehingga DBB pada *arm* pada saat *digging* di titik  $F_D$  berubah arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-8.



Gambar 4-8 Perubahan diagram benda bebas *arm* (*digging*)

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Fx} + R_{Ex} - F_{Dx} - F_{Gx} - F_{Hx} = 0$$

$$R_{Fx} + (R_{Ex}) - (F_D \sin 37^\circ) - (F_G \cos 38^\circ) - (F_H \cos 16^\circ) = 0$$

$$R_{Fx} + (955.002) - (1.092.370 \text{ N} \times 0,6) - (305.020 \text{ N} \times 0,8) - (828.206 \text{ N} \times 1) = 0$$

$$R_{Fx} = 772.642 \text{ N} \approx 773 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} - F_{Dy} + F_{Gy} + F_{Hy} - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} - (F_D \cos 37^\circ) + (F_G \sin 38^\circ) + (F_H \sin 16^\circ) - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - 82.457 - (1.092.370 \text{ N} \times 0,8) + (305.020 \text{ N} \times 0,6) +$$

$$(828.206 \text{ N} \times 0,3) - 38.406 \text{ N} = 0$$

$$R_{Fy} = 563.285 \text{ N} \approx 563 \text{ kN}$$

- Resultan di titik F

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2}$$

$$R_F = \sqrt{(772.642 \text{ N})^2 + (563.285 \text{ N})^2}$$

$$R_F = 956.172 \text{ N} \approx 956 \text{ kN}$$

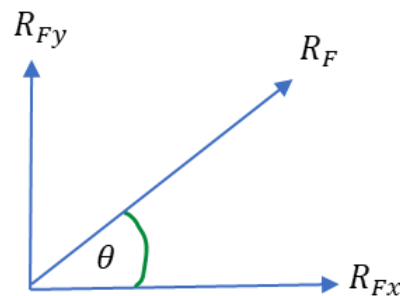
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik F ( $R_F$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{Fy}}{R_{Fx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{563.285 \text{ N}}{772.642 \text{ N}}$$

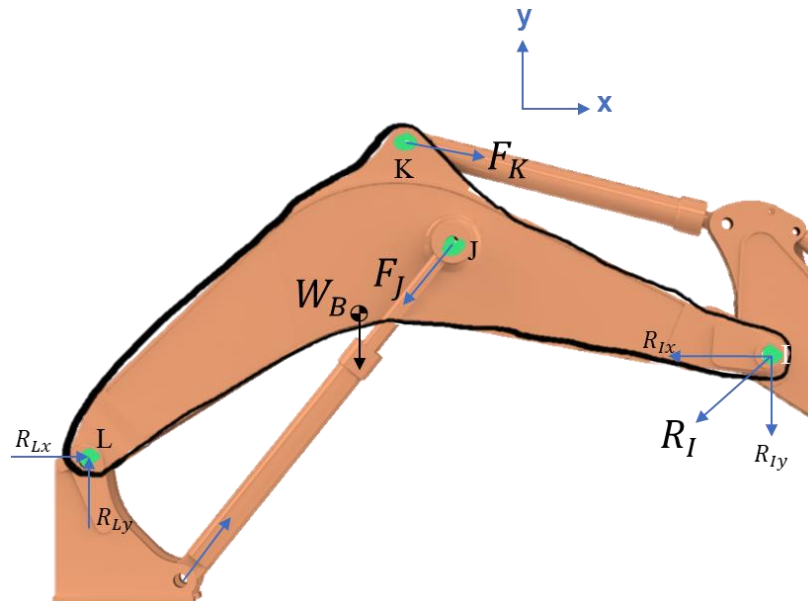
$$\theta = 35^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik F ke arah kuadran I dengan sudut  $35^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9 Arah resultan titik F (*digging*)

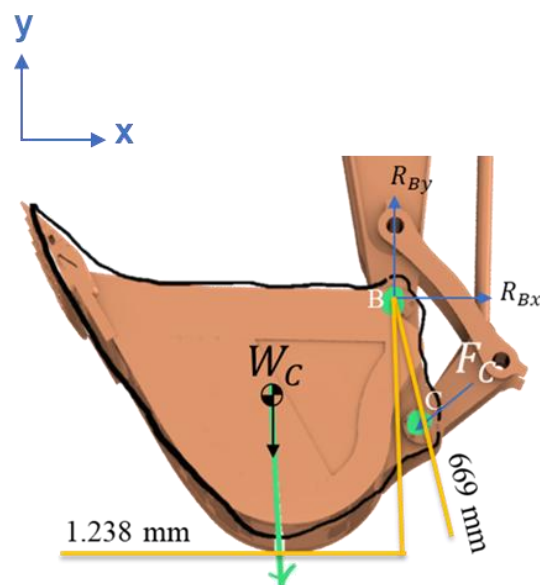
Pada Gambar 4-10 merupakan DBB dari *boom*. Jika ditinjau dari *boom*, titik I merupakan gaya reaksi dari titik F pada *arm*. Dengan sudut  $35^\circ$  dan arah  $R_I$  ke kuadran III.



Gambar 4-10 Diagram benda bebas *boom* (*digging*)

#### 4.2.1.3 Kondisi pada saat beban terangkat (*lifting*)

Pada saat *lifting* terdapat beban *bucket* dan material *overburden*. Kemudian dilakukan perhitungan pada masing-masing komponen. Berikut perhitungan pada *bucket* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-11.



Gambar 4-11 Diagram benda bebas *bucket* (*lifting*)

$$W_C = (m_{\text{BucketStandar}} + m_{\text{OBAct}}) \times g \quad (4.5)$$

$$W_C = (6.491 \text{ kg} + 30.016 \text{ kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W_C = 358.134 \text{ N} \approx 358 \text{ kN}$$

- Gambar 4-11 menunjukkan DBB dari *bucket* pada saat *lifting* yang digunakan untuk perhitungan momen di titik B dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_B = 0$$

$$(W_C \times 1.238 \text{ mm}) - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$(358.134 \text{ N} \times 1.238 \text{ mm}) - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$F_C = 662.735 \text{ N} \approx 663 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} - F_{Cx} = 0$$

$$R_{Bx} - (F_C \cos 55^\circ) = 0$$

$$R_{Bx} - (662.735 \text{ N} \times 0,6) = 0$$

$$R_{Bx} = 397.641 \text{ N} \approx 398 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By} - W_C - F_{Cy} = 0$$

$$R_{By} - 358.134 \text{ N} - (F_C \sin 55^\circ) = 0$$

$$R_{By} - 358.134 \text{ N} - (662.735 \text{ N} \times 0,8) = 0$$

$$R_{By} = 888.322 \text{ N} \approx 888 \text{ kN}$$

- Resultan di titik B

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = \sqrt{(397.641 \text{ N})^2 + (888.322 \text{ N})^2}$$

$$R_B = 973.260 \text{ N} \approx 973 \text{ kN}$$

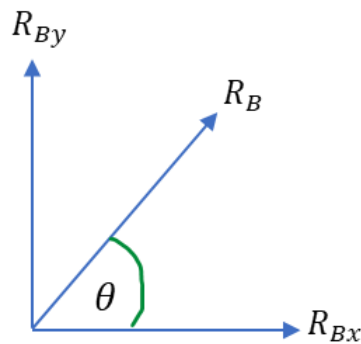
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik B ( $R_B$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{By}}{R_{Bx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{888.322 \text{ N}}{397.641 \text{ N}}$$

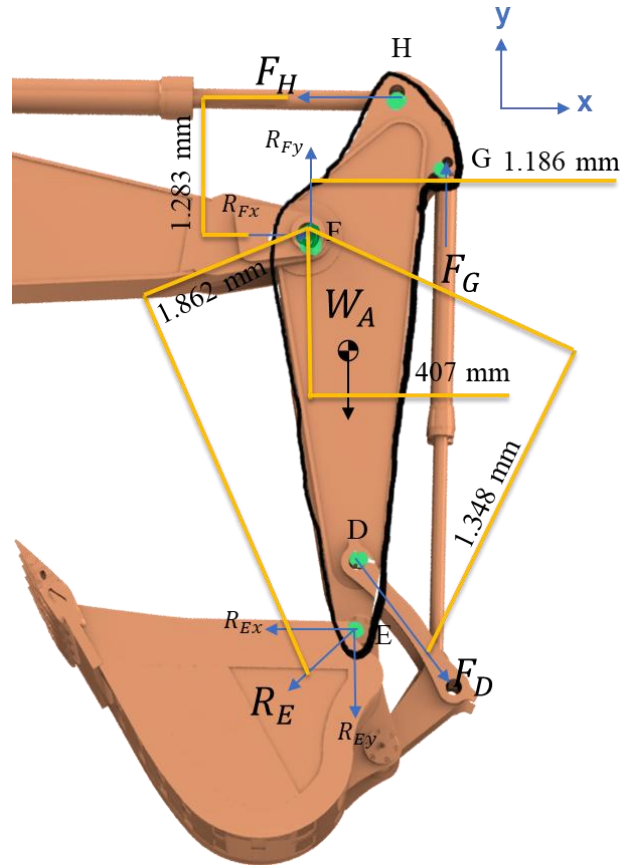
$$\theta = 63^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik B ke arah kuadran I dengan sudut  $63^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-12.



Gambar 4-12 Arah resultan di titik B (*lifting*)

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada komponen *arm* yang dilakukan sebagai berikut dengan DBB pada *arm* ditunjukkan pada Gambar 4-13.



Gambar 4-13 Diagram benda bebas *arm* (*lifting*)

Jika ditinjau dari *arm*, titik E merupakan reaksi dari titik B dari *bucket*. Sehingga resultan di titik E ( $R_E$ ) ke arah kuadran III. Selanjutnya untuk menentukan resultan gaya di titik F dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Gambar 4-13 menunjukkan DBB dari *arm* pada saat *lifting* yang digunakan untuk perhitungan momen di titik F dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_F = 0$$

$$-(R_E \times 1.862 \text{ mm}) + (F_D \times 1.348 \text{ mm}) + (F_G \times 1.186 \text{ mm}) + (F_H \times 1.283 \text{ mm}) - (W_A \times 407 \text{ mm}) = 0$$

$$-(973.260 \text{ N} \times 1.862 \text{ mm}) + (F_D \times 1.348 \text{ mm}) + (305.020 \text{ N} \times 1.186 \text{ mm}) + (828.206 \text{ N} \times 1.283 \text{ mm}) - (38.406 \text{ N} \times 407 \text{ mm}) = 0$$

$$F_D = 299.332 \text{ N} \approx 299 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Fx} - R_{Ex} + F_{Dx} + F_{Gx} - F_{Hx} = 0$$

$$R_{Fx} - R_{Ex} + (F_D \cos 54^\circ) + (F_G \sin 3^\circ) - (F_H \cos 2^\circ) = 0$$

$$R_{Fx} - 397.641 \text{ N} + (299.332 \text{ N} \times 0,6) + (305.020 \text{ N} \times 0) - (828.206 \text{ N} \times 1) = 0$$

$$R_{Fx} = 1.046.248 \text{ N} \approx 1.046 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} - F_{Dy} + F_{Gy} + F_{Hy} - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} - (F_D \sin 54^\circ) + (F_G \cos 3^\circ) + (F_H \sin 2^\circ) - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - 888.322 \text{ N} - (299.332 \text{ N} \times 0,8) + (305.020 \text{ N} \times 1) + (828.206 \text{ N} \times 0) - 38.406 \text{ N} = 0$$

$$R_{Fy} = 861.174 \text{ N} \approx 861 \text{ kN}$$

- Resultan di titik F

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2}$$

$$R_F = \sqrt{(1.046.248 \text{ N})^2 + (861.174 \text{ N})^2}$$

$$R_F = 1.355.085 \text{ N} \approx 1.355 \text{ kN}$$

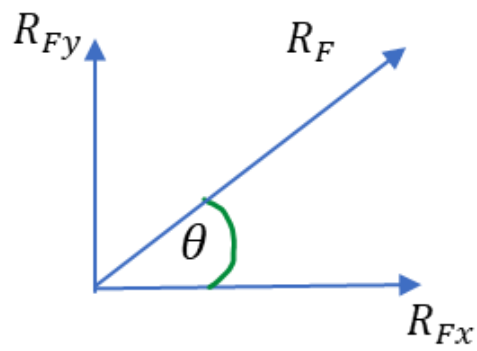
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik F ( $R_F$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{Fy}}{R_{Fx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{861.174 \text{ N}}{1.046.248 \text{ N}}$$

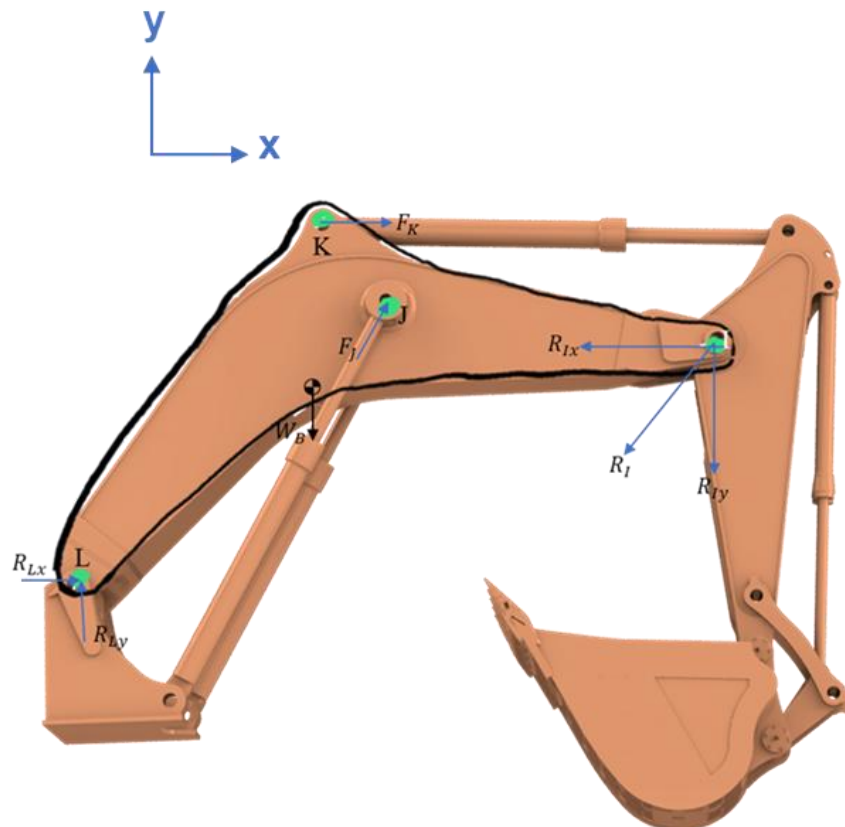
$$\theta = 39^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik B ke arah kuadran I dengan sudut  $39^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-14.



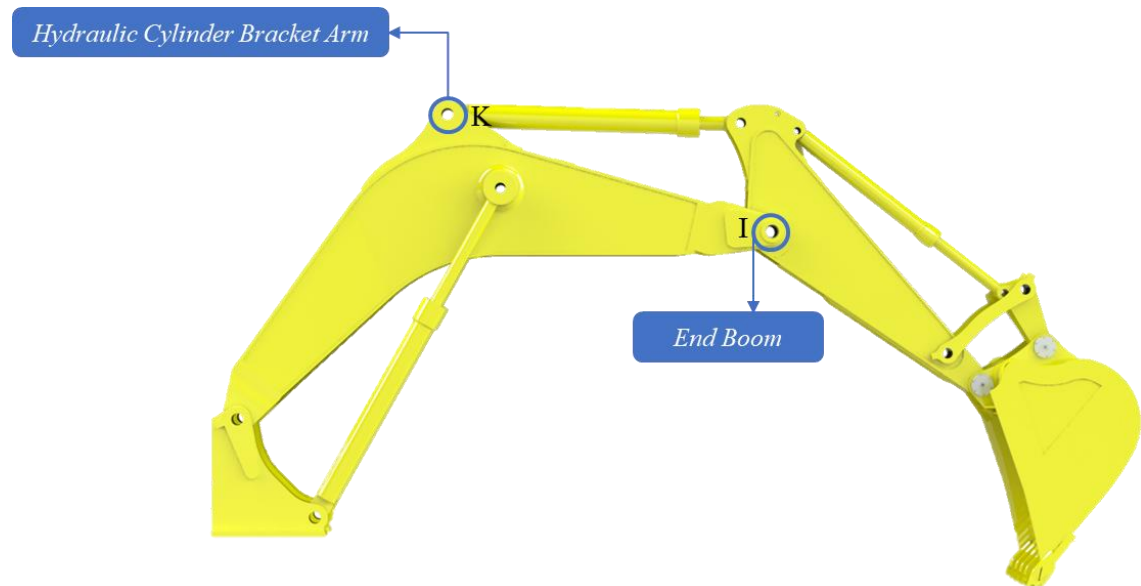
Gambar 4-14 Arah resultan di titik F (*lifting*)

Pada Gambar 4-15 merupakan DBB dari *boom*. Jika ditinjau dari *boom*, titik I merupakan gaya reaksi dari titik F. Dengan sudut  $39^\circ$  dan arah  $R_I$  ke kuadran III.

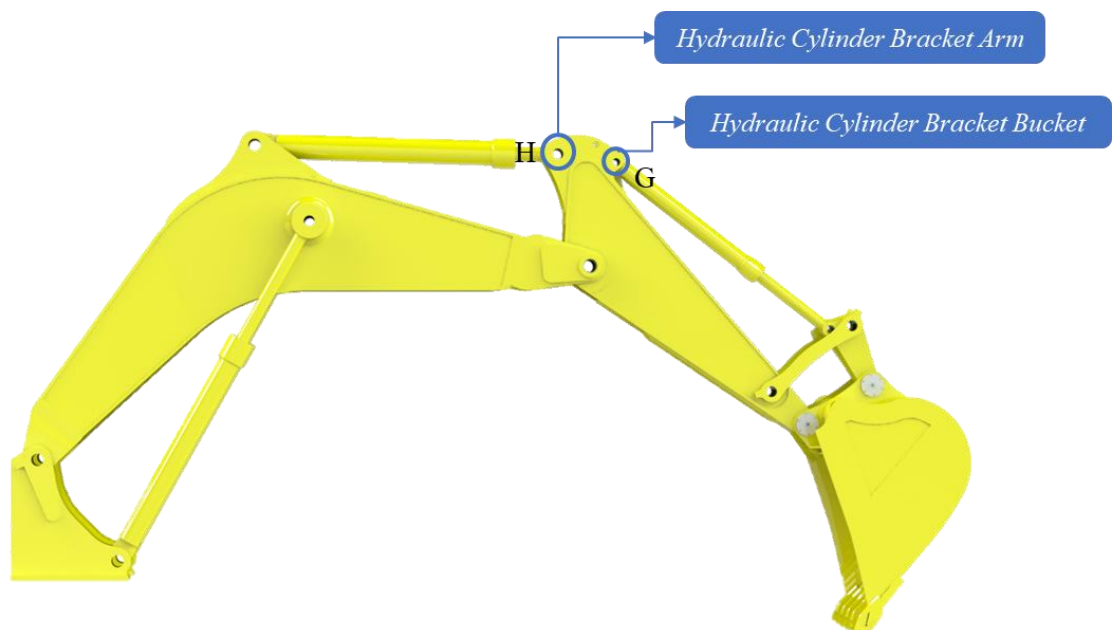


Gambar 4-15 Diagram benda bebas *boom* (*lifting*)

Setelah melakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing komponen, selanjutnya menentukan tegangan yang terjadi pada bagian-bagian komponen untuk mengidentifikasi tegangan kritis melalui beberapa bagian pada komponen *boom* dan *arm* yang ditunjukkan pada Gambar 4-16 dan Gambar 4-17. Tegangan yang dianalisis meliputi tegangan aksial dan geser.



Gambar 4-16 *Part boom*



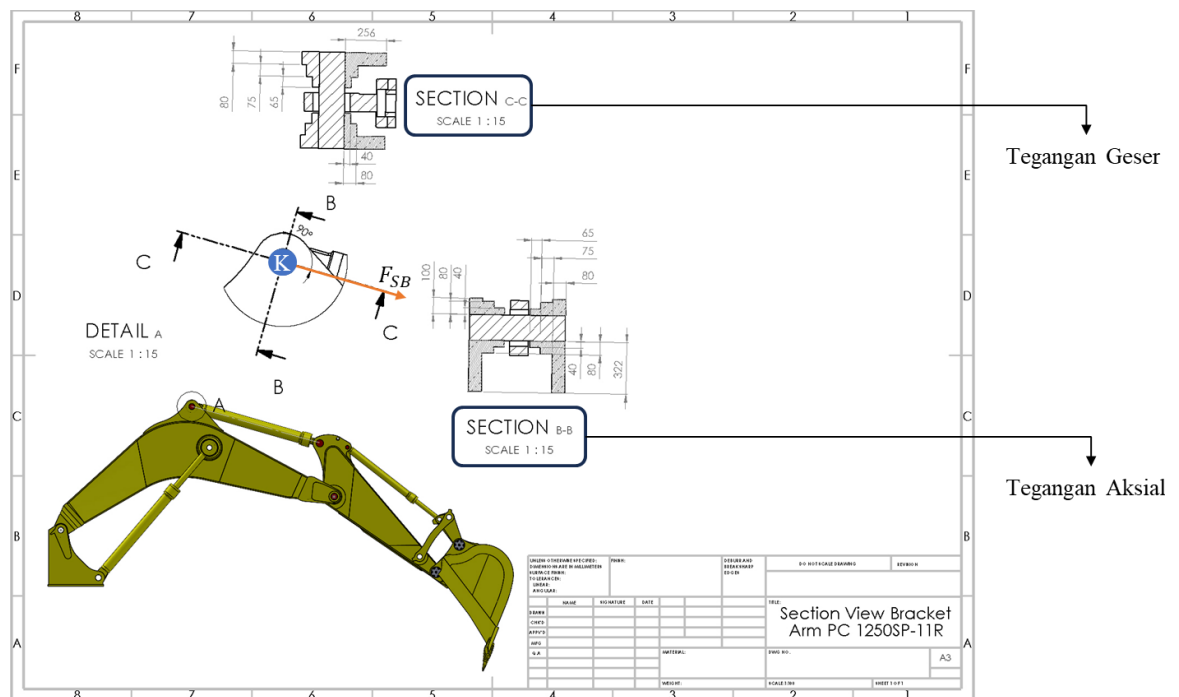
Gambar 4-17 *Part arm*

Dalam menganalisis tegangan yang terjadi pada *boom* dan *arm* dilakukan pada saat kondisi kerja *digging* dan *lifting* dengan DBB yang sebelumnya sudah dilakukan perhitungan dan nilai *safety factor* yang digunakan sebesar 14 (Prasetya et al., 2008). Pemilihan nilai *safety factor* tersebut mengacu pada faktor keamanan untuk material pelat, karena komponen menerima jenis pembebanan berupa *live load* (dinamis) dan *shock load* (beban kejut) (Khurmi & Gupta, 2005).

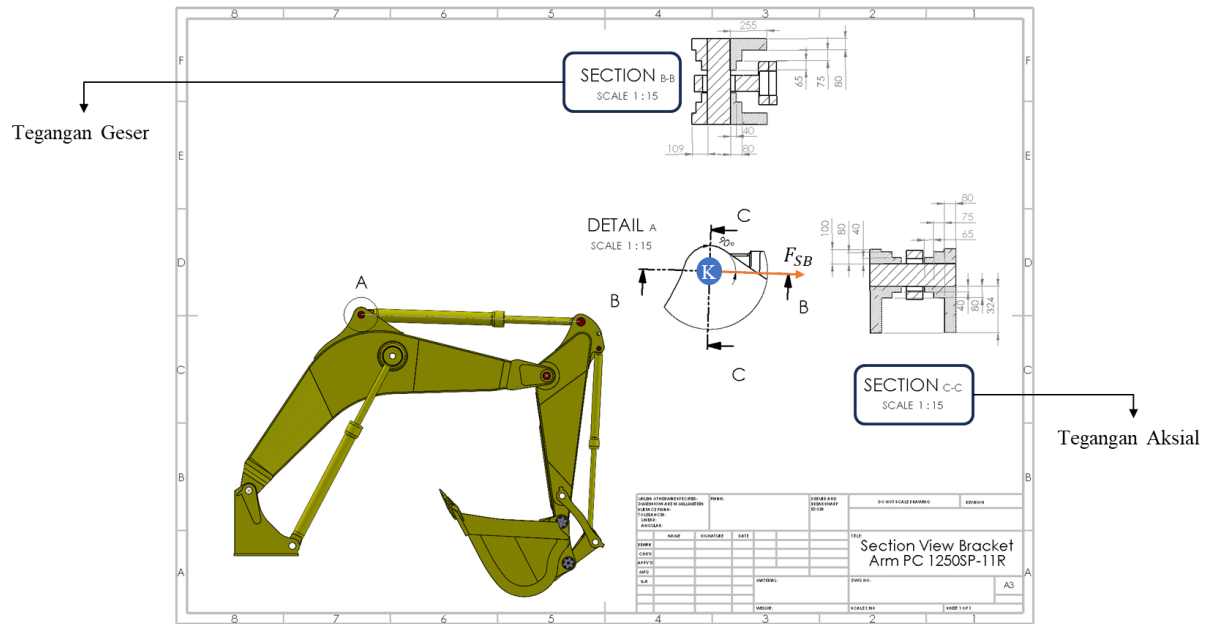
Selanjutnya untuk menentukan area tegangan aksial dan geser pada *part boom* dan *arm* dilakukan dengan cara *section part* pada masing-masing komponen dan kondisi kerja. Kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut.

#### 4.2.1.4 Hydraulic Cylinder Bracket Arm (K)

Untuk menentukan tegangan yang terjadi pada bagian komponen tersebut dilakukan dengan cara melakukan *section* yang ditunjukkan pada Gambar 4-18 menunjukkan pada saat *digging* dan Gambar 4-19 saat *lifting*.



Gambar 4-18 Section drawing titik K (*digging*)

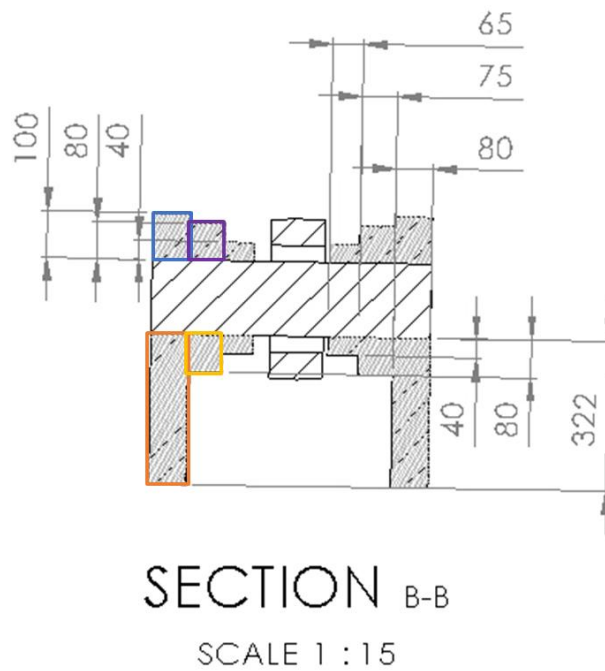


Gambar 4-19 Section drawing titik K (lifting)

Setelah menentukan area-area tegangan yang terjadi pada bagian komponen *boom*, selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan pada masing-masing kondisi kerja sebagai berikut:

➤ *Digging*

- Area Tegangan Aksial ( $A_{KA}$ )



Gambar 4-20 Area tegangan aksial di titik K (digging)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik K pada saat *digging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-20 memiliki luas area sebesar  $A_{KA} = 101.920 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{KA} = \frac{F_{SB}}{A_{KA}}$$

$$\sigma_{KA} = \frac{828.206 \text{ N}}{101.920 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{KA} = 8 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik K, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

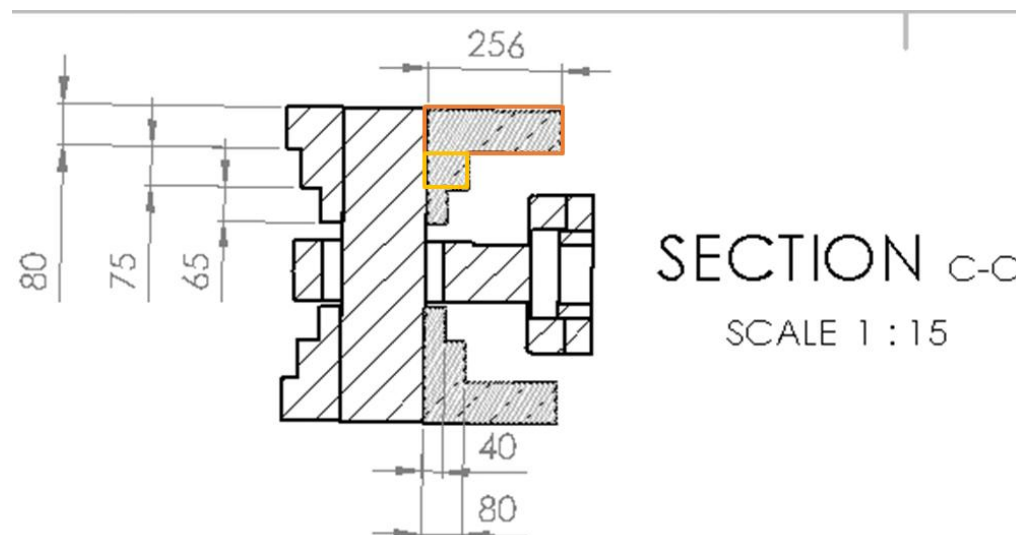
$$\sigma_s = \sigma_{KA} \times SF$$

$$\sigma_s = 8 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 112 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik K pada saat *digging* sebesar 112 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

- Area Tegangan Geser ( $A_{KG}$ )



Gambar 4-21 Area tegangan geser di titik K (*digging*)

Pada area yang terjadi tegangan geser di titik K pada saat *digging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-21 memiliki luas area sebesar  $A_{KG} = 58.160 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{KG} = \frac{F_{SB}}{A_{KG}}$$

$$\tau_{KG} = \frac{828.206 \text{ N}}{58.160 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{KG} = 14 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser yang terjadi di titik K, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_{KG} \times SF$$

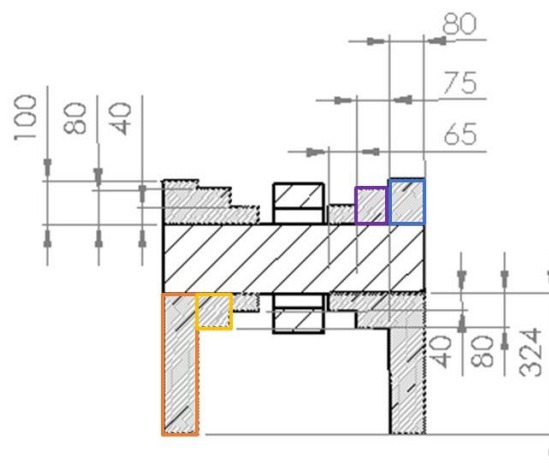
$$\sigma_s = 14 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 196 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik K pada saat *digging* sebesar 196 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

➤ *Lifting*

- Area Tegangan Aksial ( $A_{KA}$ )



SECTION C-C

SCALE 1 : 15

Gambar 4-22 Area tegangan aksial di titik K (*lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik K pada saat *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-22 memiliki luas area sebesar  $A_{KA} = 102.240 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{KA} = \frac{F_K}{A_{KA}}$$

$$\sigma_{KA} = \frac{828.206 \text{ N}}{102.240 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{KA} = 8 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik K, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

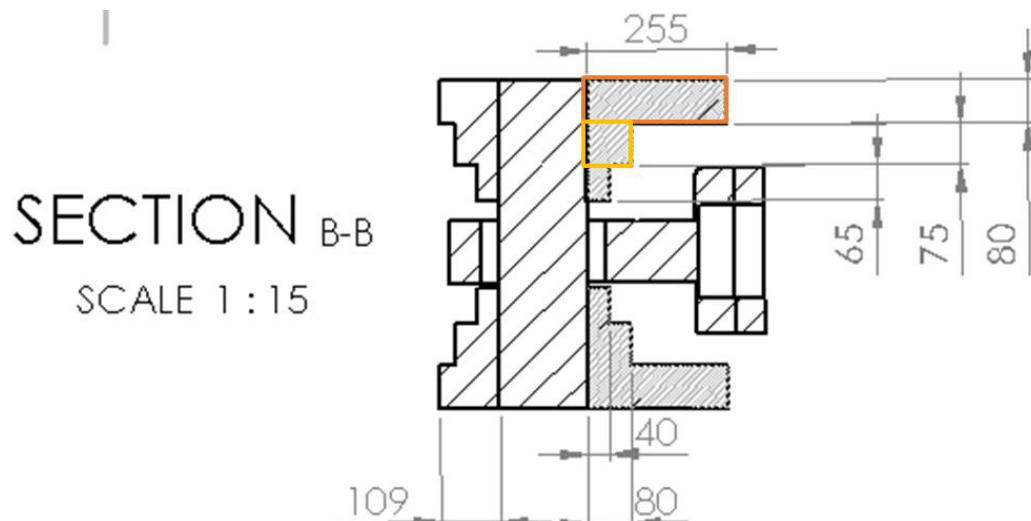
$$\sigma_s = \sigma_{KA} \times SF$$

$$\sigma_s = 8,1 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 112 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik K pada saat *lifting* sebesar 112 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

▪ Area Tegangan Geser ( $A_{KG}$ )



Gambar 4-23 Area tegangan geser di titik K (*lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan geser di titik K pada saat *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-23 memiliki luas area sebesar  $A_{KG} = 58.000 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{KG} = \frac{F_K}{A_{KG}}$$

$$\tau_{KG} = \frac{828.206 \text{ N}}{58.000 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{KG} = 14 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik K, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_{KG} \times SF$$

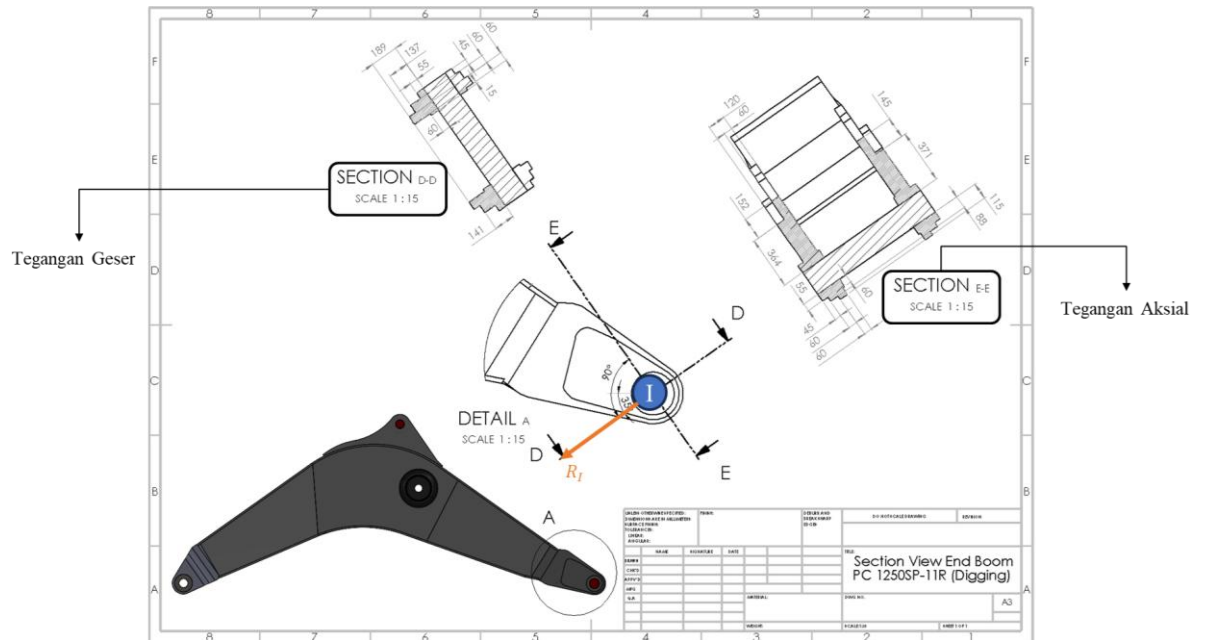
$$\sigma_s = 14 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 196 \text{ MPa}$$

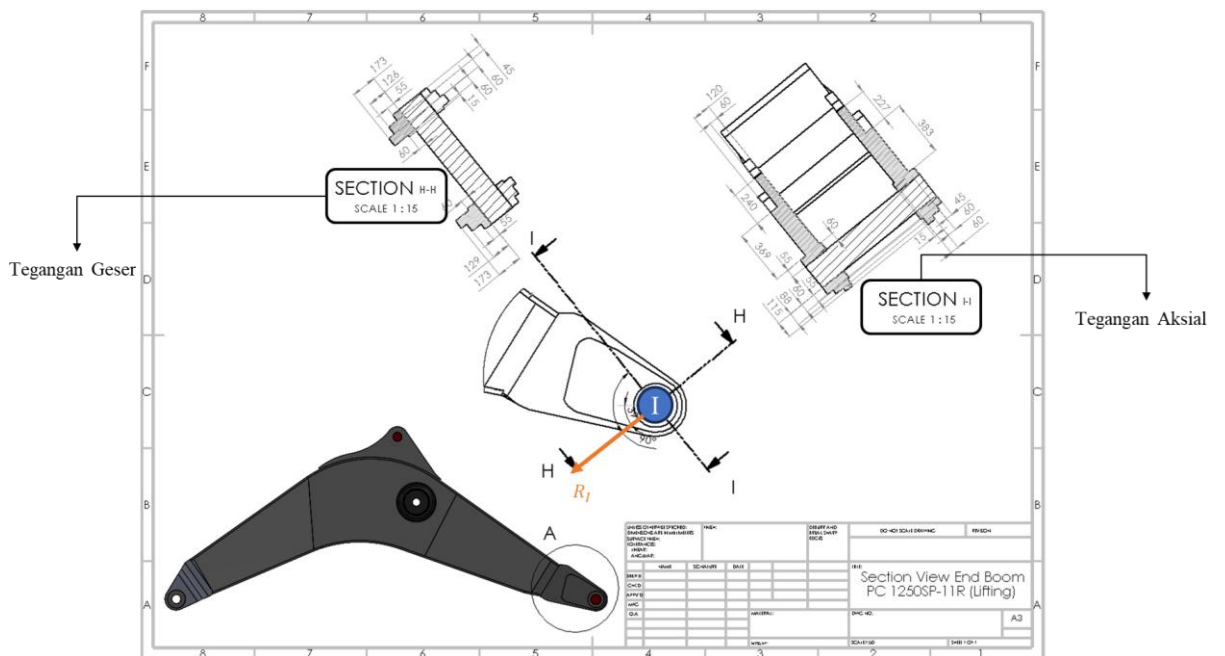
Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik K pada saat *lifting* sebesar 196 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

#### **4.2.1.5 End Boom (I)**

Untuk menentukan tegangan yang terjadi pada bagian komponen tersebut dilakukan dengan cara melakukan *section* yang ditunjukkan pada Gambar 4-24 menunjukkan pada saat *digging* dan Gambar 4-25 saat *lifting*.



Gambar 4-24 Section drawing titik I (digging)

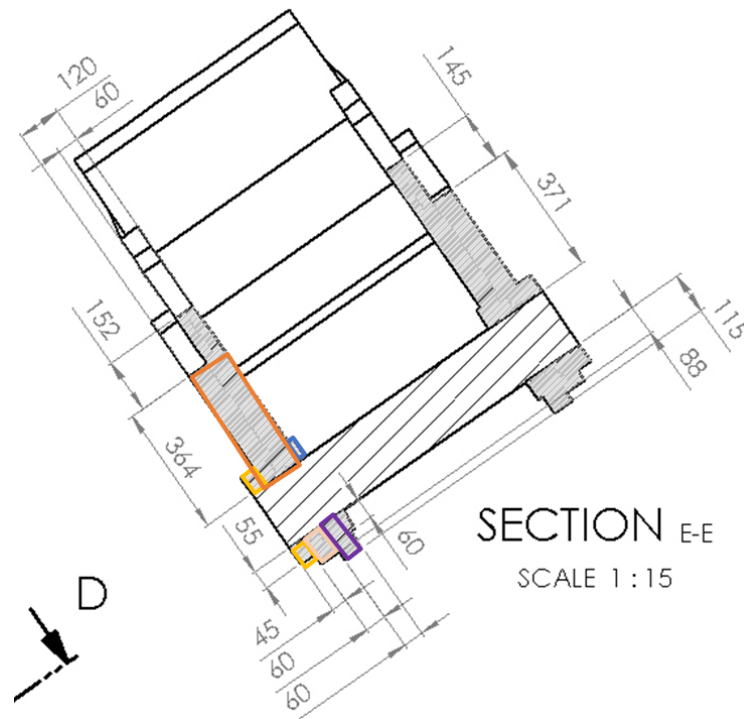


Gambar 4-25 Section drawing titik I (lifting)

Setelah menentukan area-area tegangan yang terjadi pada bagian komponen *boom*, selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan pada masing-masing kondisi kerja sebagai berikut.

➤ *Digging*

- Area Tegangan Aksial ( $A_{IA}$ )



Gambar 4-26 Area tegangan aksial di titik I (*digging*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik I pada saat *digging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-26 memiliki luas area sebesar  $A_{IA} = 143.880 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{IA} = \frac{R_I}{A_{IA}}$$

$$\sigma_{IA} = \frac{956.172 \text{ N}}{143.880 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{IA} = 7 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik I, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

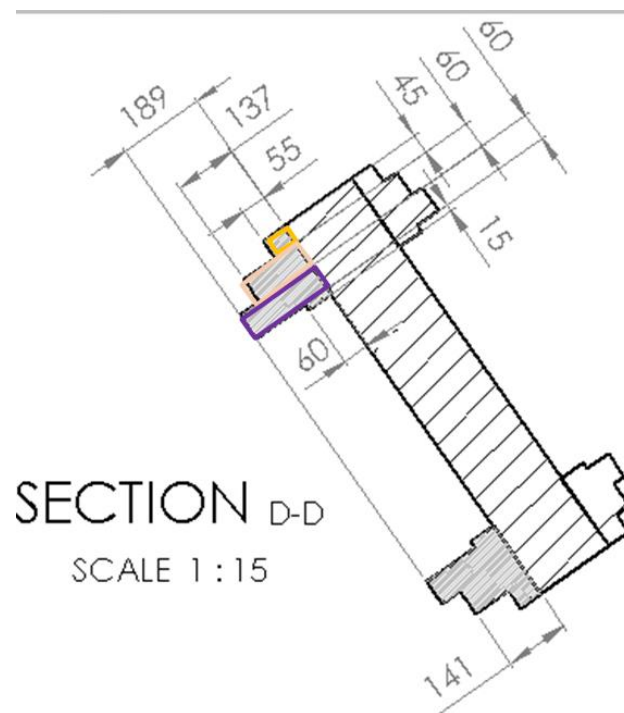
$$\sigma_s = \sigma_{IG} \times SF$$

$$\sigma_s = 7 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 98 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik I pada saat *digging* sebesar 98 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

- Area Tegangan Geser ( $A_{IG}$ )



Gambar 4-27 Area tegangan geser di titik I (*digging*)

Pada area yang terjadi tegangan geser di titik I pada saat *digging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-27 memiliki luas area sebesar  $A_{IG} = 45.870 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{IG} = \frac{R_I}{A_{IG}}$$

$$\tau_{IG} = \frac{956.172 \text{ N}}{45.870 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{IG} = 21 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser yang terjadi di titik I, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_{IG} \times SF$$

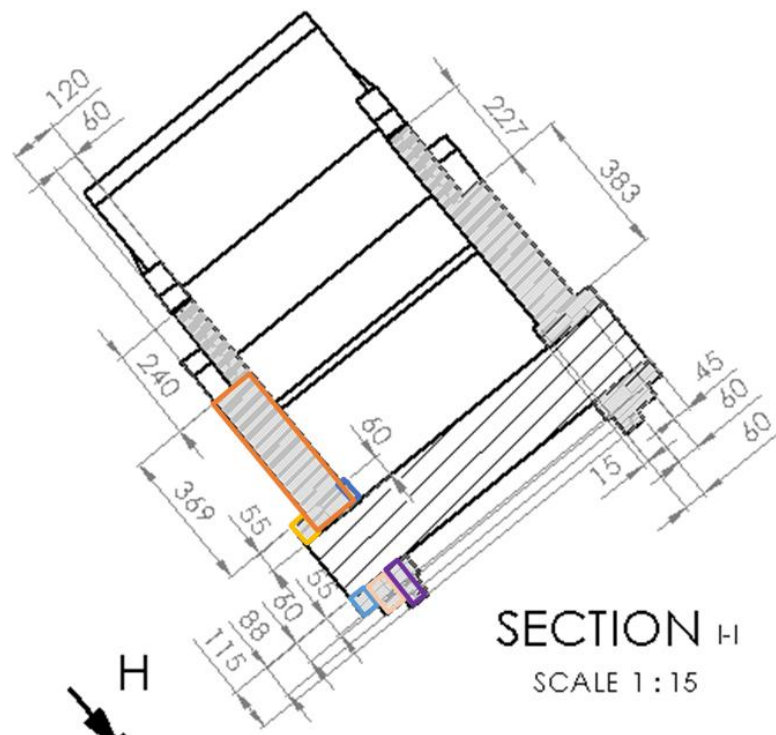
$$\sigma_s = 21 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 294 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik I pada saat *digging* sebesar 294 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

➤ *Lifting*

- Area Tegangan Aksial ( $A_{IA}$ )



Gambar 4-28 Area tegangan aksial di titik I (*lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik I pada saat *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-28 memiliki luas area sebesar  $A_{IA} = 169.320 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{IA} = \frac{R_I}{A_{IA}}$$

$$\sigma_{IA} = \frac{1.355.085 \text{ N}}{169.320 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{IA} = 8 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik I, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

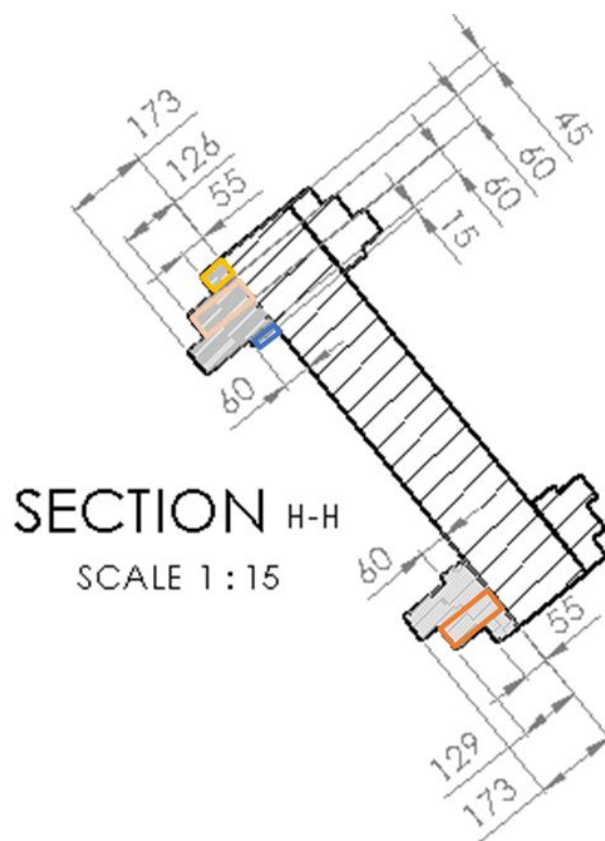
$$\sigma_s = \sigma_{IG} \times SF$$

$$\sigma_s = 8 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 112 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik I pada saat *digging* sebesar 112 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

- Area Tegangan Geser ( $A_{IG}$ )



Gambar 4-29 Area tegangan geser di titik I (*lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan geser di titik I pada saat *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-29 memiliki luas area sebesar  $A_{IG} = 42.810 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{IG} = \frac{R_I}{A_{IG}}$$

$$\tau_{IG} = \frac{1.355.085 \text{ N}}{42.810 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{IG} = 32 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser yang terjadi di titik I, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_{IG} \times SF$$

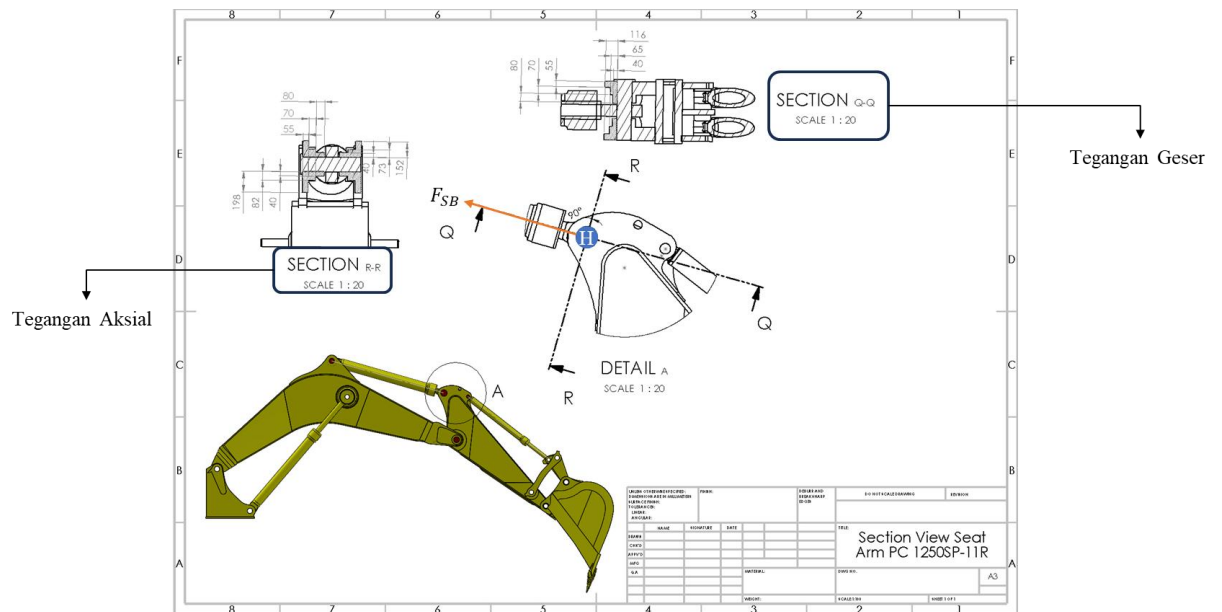
$$\sigma_s = 32 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 448 \text{ MPa}$$

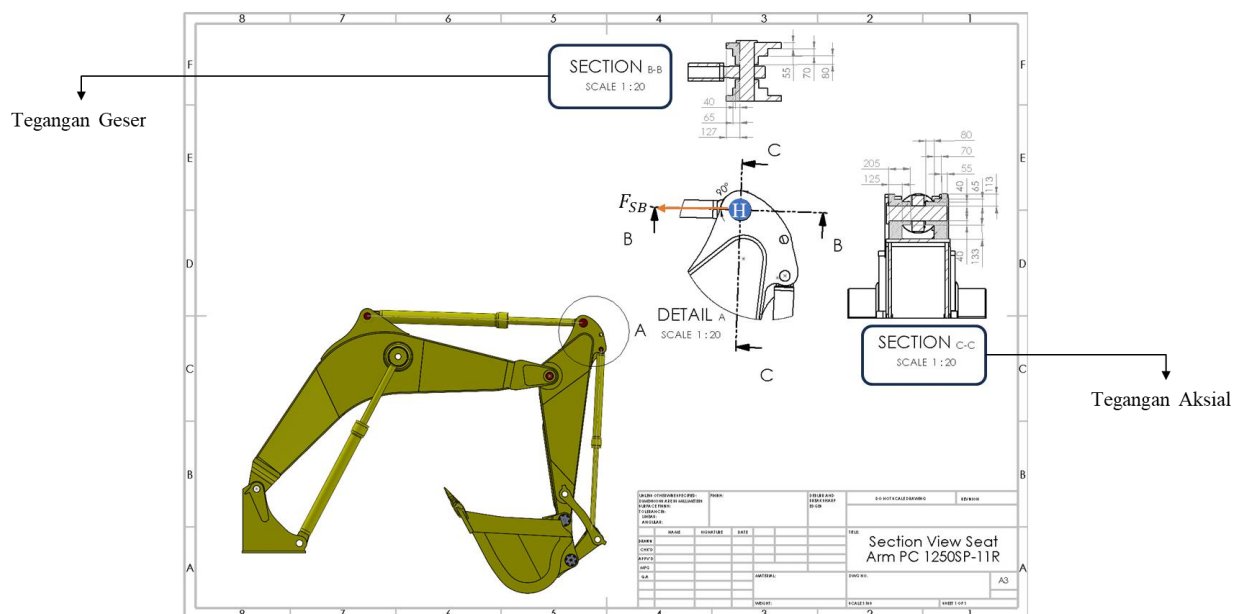
Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik I pada saat *lifting* sebesar 448 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

#### 4.2.1.6 Hydraulic Cylinder Bracket Arm (H)

Untuk menentukan tegangan yang terjadi pada bagian *part* tersebut dilakukan dengan cara melakukan *section* yang ditunjukkan pada menunjukkan pada Gambar 4-30 saat *digging* dan Gambar 4-31 saat *lifting*.



Gambar 4-30 Section drawing titik H (digging)

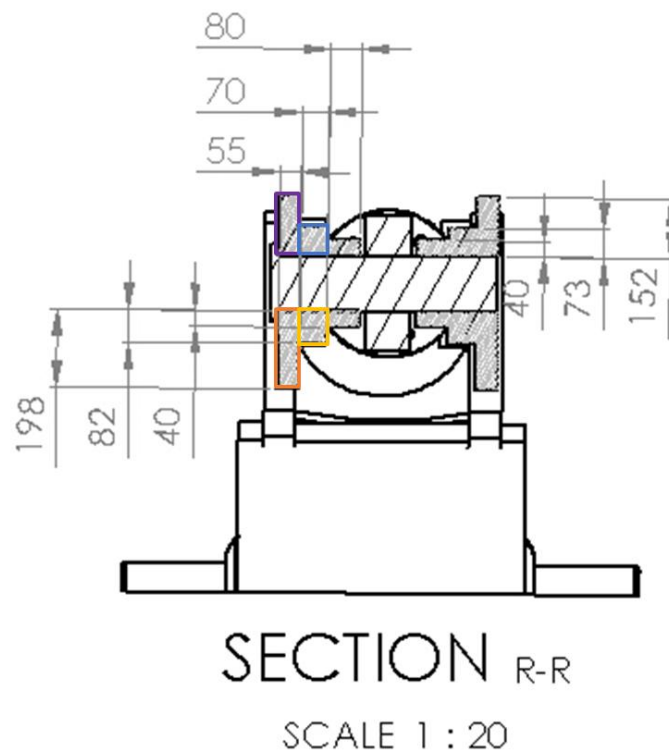


Gambar 4-31 Section drawing titik H (lifting)

Setelah menentukan area-area tegangan yang terjadi pada bagian komponen *arm*, selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan pada masing-masing kondisi kerja sebagai berikut.

➤ *Digging*

- Area Tegangan Aksial ( $A_{HA}$ )



Gambar 4-32 Area tegangan aksial di titik H (*digging*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik H pada saat *digging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-32 memiliki luas area sebesar  $A_{HA} = 43.000 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{HA} = \frac{F_{SB}}{A_{HA}}$$

$$\sigma_{HA} = \frac{828.206 \text{ N}}{43.000 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{HA} = 19 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik H, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

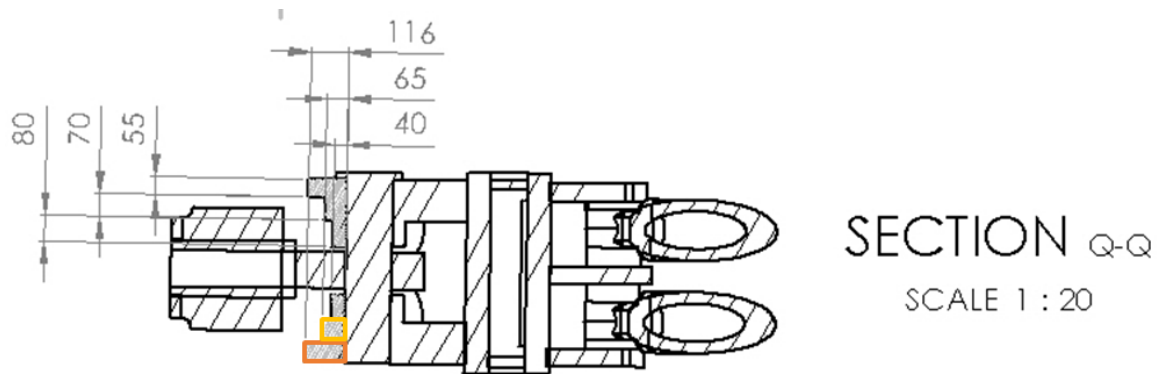
$$\sigma_s = \sigma_{HA} \times SF$$

$$\sigma_s = 19 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 266 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik H pada saat *digging* sebesar 266 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

- Area Tegangan Geser ( $A_{HG}$ )



Gambar 4-33 Area tegangan geser di titik H (*digging*)

Pada area yang terjadi tegangan geser di titik H pada saat *digging* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-33 memiliki luas area sebesar  $A_{HG} = 26.260 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{HG} = \frac{F_{SB}}{A_{HG}}$$

$$\tau_{HG} = \frac{828.206 \text{ N}}{26.260 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{HG} = 31,5 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser yang terjadi di titik H, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_{HG} \times SF$$

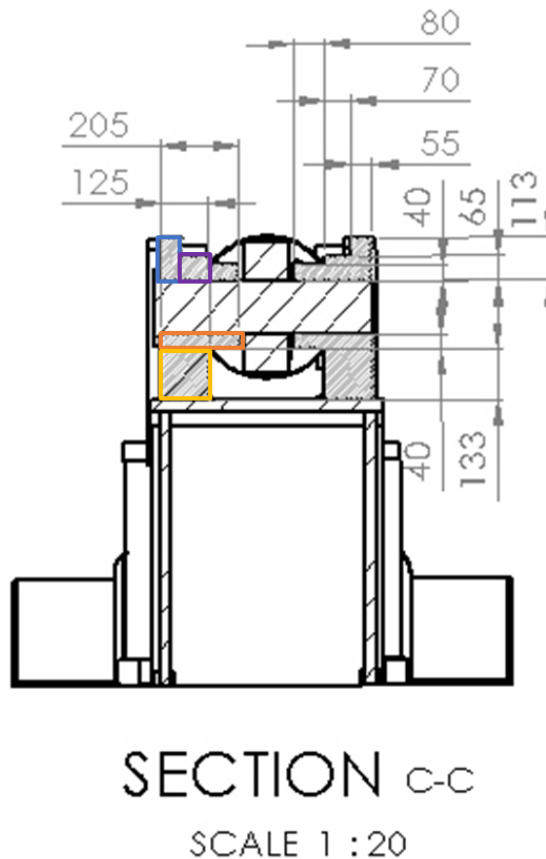
$$\sigma_s = 31,5 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 441 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik H pada saat *digging* sebesar 441 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

➤ *Lifting*

- Area Tegangan Aksial ( $A_{HA}$ )



Gambar 4-34 Area tegangan aksial di titik H (*lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik H pada saat *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-34 memiliki luas area sebesar  $A_{HA} = 77.580 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{HA} = \frac{F_{SB}}{A_{HA}}$$

$$\sigma_{HA} = \frac{828.206 \text{ N}}{77.580 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{HA} = 11 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik H, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

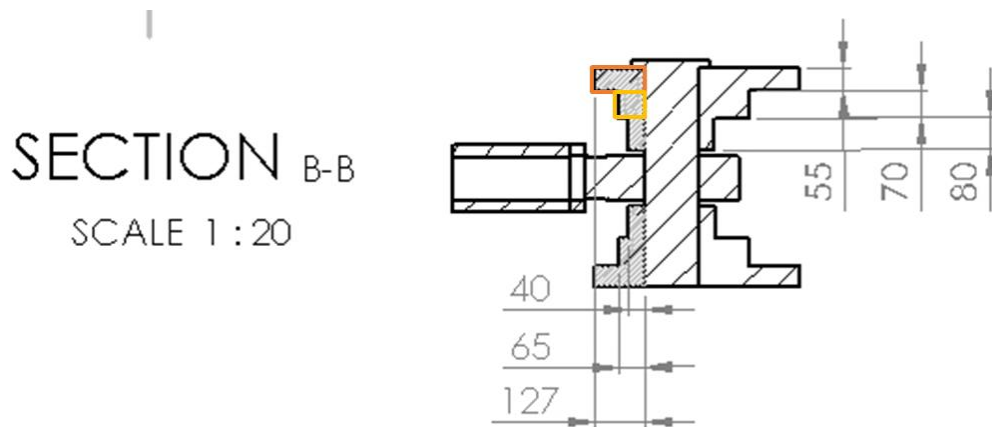
$$\sigma_s = \sigma_{HA} \times SF$$

$$\sigma_s = 11 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 154 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik H pada saat *digging* sebesar 154 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

- Area Tegangan Geser ( $A_{HG}$ )



Gambar 4-35 Area tegangan geser di titik H (*lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan geser di titik H pada saat *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-35 memiliki luas area sebesar  $A_{HG} = 27.470 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_{HG} = \frac{F_{SB}}{A_{HG}}$$

$$\tau_{HG} = \frac{828.206 \text{ N}}{27.470 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{HG} = 30 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser yang terjadi di titik H, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_{HG} \times SF$$

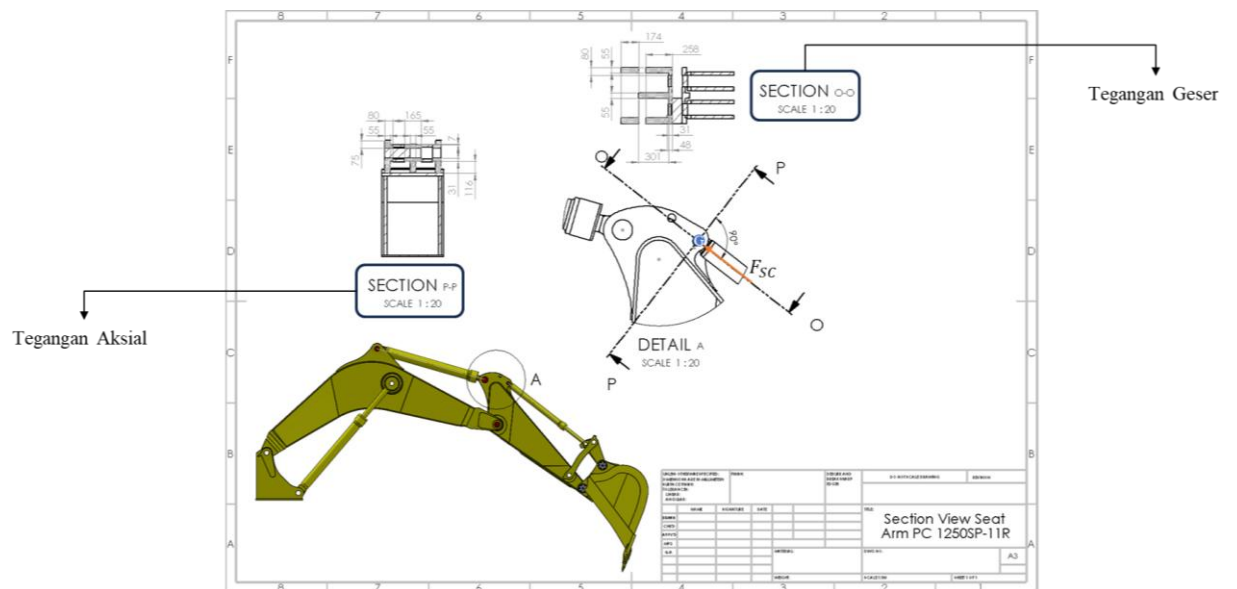
$$\sigma_s = 30 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 420 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik H pada saat *lifting* sebesar 420 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

#### 4.2.1.7 Hydraulic Cylinder Bracket Bucket (G)

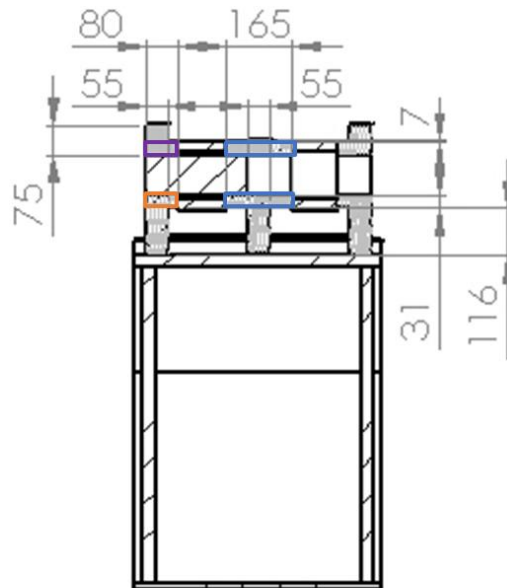
Untuk menentukan tegangan yang terjadi pada bagian *part* tersebut dilakukan dengan cara melakukan *section* yang ditunjukkan pada menunjukkan pada Gambar 4-36 saat *digging* dan *lifting*.



Gambar 4-36 Section drawing titik G (*digging* dan *lifting*)

Setelah menentukan area-area tegangan yang terjadi pada bagian komponen *arm*, selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan pada masing-masing kondisi kerja sebagai berikut:

- *Digging* dan *Lifting*
  - Area Tegangan Aksial ( $A_{GA}$ )



SECTION P-P  
SCALE 1 : 20

Gambar 4-37 Area tegangan aksial di titik G (*digging* dan *lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik G pada saat *digging* dan *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-37 memiliki luas area sebesar  $A_{GA} = 24.990 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut. Selanjutnya menghitung tegangan aksial yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\sigma_{GA} = \frac{F_G}{A_{GA}}$$

$$\sigma_{GA} = \frac{305.020 \text{ N}}{24.990 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{GA} = 12 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan aksial yang terjadi di titik G, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

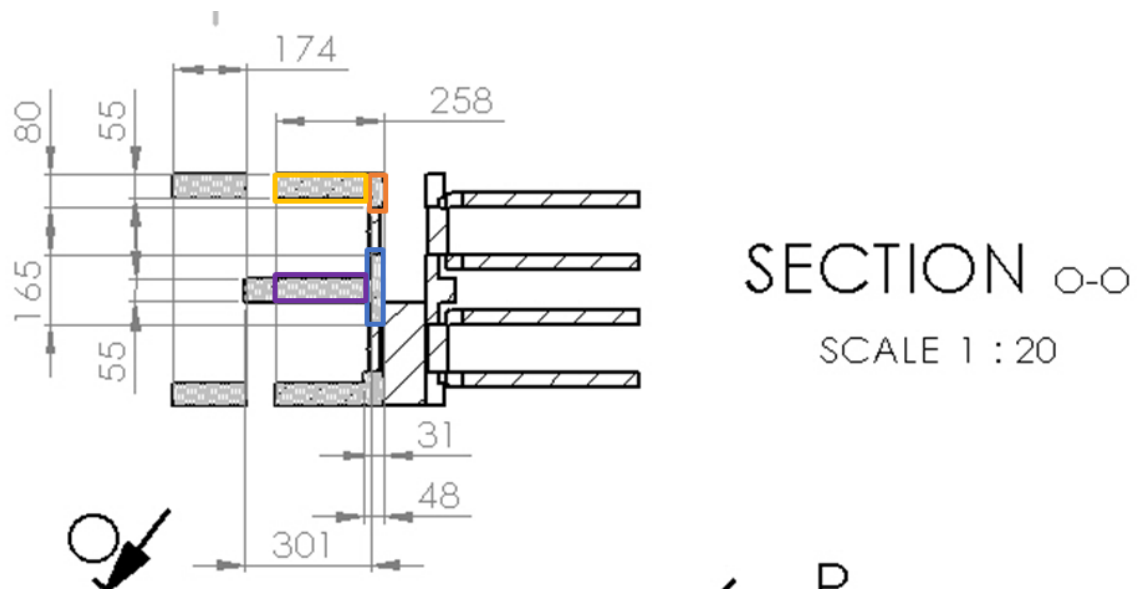
$$\sigma_s = \sigma_{GA} \times SF$$

$$\sigma_s = 12 \text{ MPa} \times 14$$

$$\sigma_s = 168 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan aksial yang terjadi di titik G pada saat *digging* dan *lifting* sebesar 168 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

- Area Tegangan Geser ( $A_{GG}$ )



Gambar 4-38 Area tegangan geser di titik G (*digging* dan *lifting*)

Pada area yang terjadi tegangan aksial di titik G pada saat *digging* dan *lifting* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-38 memiliki luas area sebesar  $A_{GG} = 52.645 \text{ mm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan pada area tegangan tersebut.

Selanjutnya menghitung tegangan geser yang terjadi pada area tersebut yang dilakukan sebagai berikut:

$$\tau_G = \frac{F_G}{A_{GG}}$$

$$\tau_G = \frac{305.020 \text{ N}}{52.645 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_G = 6 \text{ MPa}$$

Setelah didapatkan nilai tegangan geser yang terjadi di titik G, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan *safety factor*.

$$\sigma_s = \tau_G \times SF$$

$$\sigma_s = 6 \text{ MPa} \times 14$$

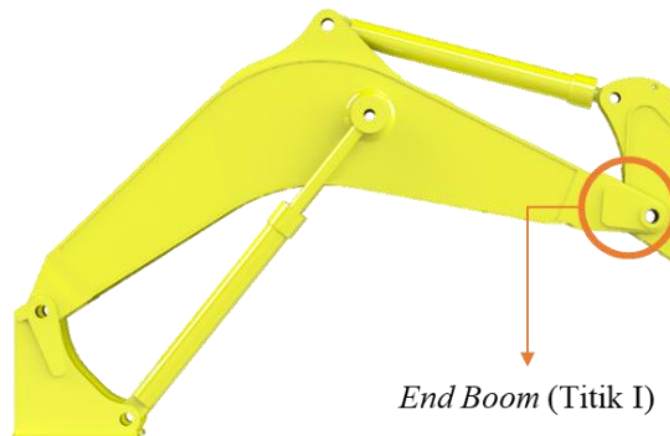
$$\sigma_s = 84 \text{ MPa}$$

Sehingga tegangan geser yang terjadi di titik G pada saat *digging* dan *lifting* sebesar 84 MPa yang akan digunakan dalam penentuan material komponen.

Tabel 4-2 Hasil perhitungan tegangan geser dan aksial pada *boom* dan *arm*

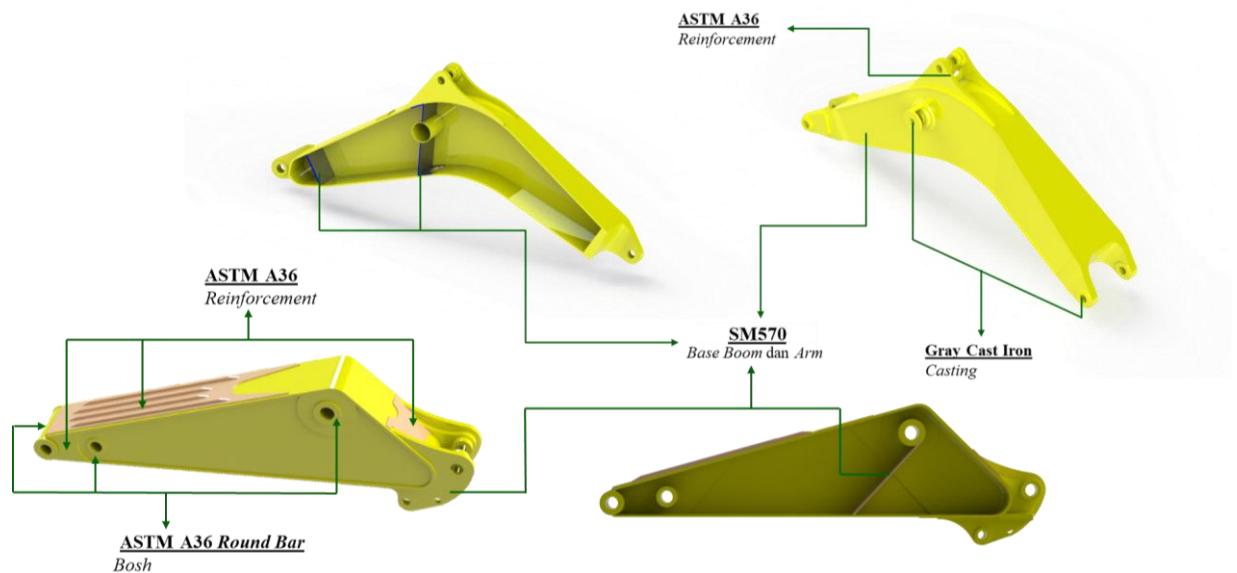
| Komponen    | Kondisi Kerja  | Posisi  | $\sigma$ (MPa) | $\tau_s$ (MPa) |
|-------------|----------------|---------|----------------|----------------|
| <i>Arm</i>  | <i>digging</i> | Titik H | 266            | 441            |
|             |                | Titik G | 168            | 84             |
|             | <i>lifting</i> | Titik H | 154            | 420            |
|             |                | Titik G | 168            | 84             |
| <i>Boom</i> | <i>digging</i> | Titik K | 112            | 196            |
|             |                | Titik I | 98             | 294            |
|             | <i>lifting</i> | Titik K | 112            | 196            |
|             |                | Titik I | 112            | 448            |

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah disajikan pada Tabel 4-2 terkait nilai tegangan aksial dan geser yang terjadi pada masing-masing komponen. Didapatkan bahwa tegangan yang tertinggi terjadi pada tegangan geser di *end boom* (titik I) saat pada saat *lifting* sebesar 448 Mpa yang ditunjukkan pada Gambar 4-39.



Gambar 4-39 *End boom* (titik I)

Sehingga dipilih material yang memiliki *yield strength* sebesar 450 Mpa yaitu SM570 yang akan digunakan pada *base* material komponen. Material tersebut termasuk dalam kategori *high strength low alloy* (HSLA) *steel*, yaitu baja berkekuatan tinggi. Sedangkan pada *sub-components* menggunakan material ASTM A36 dan Gray Cast Iron. Penggunaan material pada komponen *boom* dan *arm* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-40.



Gambar 4-40 Material komponen *boom* dan *arm* Excavator PC 1250SP-11R

Berikut *mechanical properties* dari material SM570, ASTM A36, dan Gray Cast Iron yang disajikan dalam Tabel 4-3, Tabel 4-4, dan Tabel 4-5.

Tabel 4-3 *Mechanical properties* SM570

| SM570            |             |                  |                  |                   |
|------------------|-------------|------------------|------------------|-------------------|
| Ketebalan (mm)   | $x \leq 16$ | $16 < x \leq 40$ | $40 < x \leq 75$ | $75 < x \leq 100$ |
| Tensile Strength | 570 MPa     |                  |                  |                   |
| Yield Strength   | 460 MPa     | 450 MPa          | 430 MPa          | 420 MPa           |

(Sumber: (Association, 1995))

Material SM570 digunakan pada bagian *base* komponen *boom* dan *arm* Excavator Komatsu PC1250SP-11R.

Tabel 4-4 *Mechanical properties* ASTM A36

| ASTM A36 Steel   |         |                   |
|------------------|---------|-------------------|
| Property         | Value   | Units             |
| Elastic Modulus  | 200.000 | N/mm <sup>2</sup> |
| Poisson's Ratio  | 0,26    | N/A               |
| Shear Modulus    | 79.300  | N/mm <sup>2</sup> |
| Mass Density     | 7.850   | Kg/m <sup>3</sup> |
| Tensile Strength | 400     | N/mm <sup>2</sup> |
| Yield Strength   | 250     | N/mm <sup>2</sup> |

(Sumber: Material SolidWorks)

Material ASTM A36 digunakan pada bagian *reinforcement* dan *boshing* komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R.

Tabel 4-5 *Mechanical properties* Gray Cast Iron

| Gray Cast Iron   |          |                   |
|------------------|----------|-------------------|
| Property         | Value    | Units             |
| Elastic Modulus  | 66.178,1 | N/mm <sup>2</sup> |
| Poisson's Ratio  | 0,27     | N/A               |
| Shear Modulus    | 50.000   | N/mm <sup>2</sup> |
| Mass Density     | 7.200    | Kg/m <sup>3</sup> |
| Tensile Strength | 151,658  | N/mm <sup>2</sup> |
| Yield Strength   | -        | N/mm <sup>2</sup> |

(Sumber: Material Solidworks)

Material gray cast iron digunakan pada bagian *boshing*, *foot boom*, dan *hydraulic cylinder bracket boom*.

Untuk memvalidasi hasil simulasi, dilakukan perbandingan antara nilai tegangan Von Mises dari simulasi SolidWorks dengan hasil perhitungan manual. Dalam perhitungan manual, tegangan Von Mises dihitung menggunakan pendekatan bidang dua dimensi dengan persamaan:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (4.6)$$

Tabel 4-6 berikut menyajikan perbandingan antara hasil perhitungan manual dan simulasi untuk beberapa kondisi pembebanan:

Tabel 4-6 Perbandingan nilai tegangan perhitungan manual vs simulasi

| Kondisi kerja  | Titik | Perhitungan manual |        |           | Hasil simulasi |            |           | %Selisih |
|----------------|-------|--------------------|--------|-----------|----------------|------------|-----------|----------|
|                |       | $\sigma$           | $\tau$ | Von Mises | $\sigma_1$     | $\sigma_2$ | Von Mises |          |
| <i>Digging</i> | K     | 8                  | 9      | 18        | 26             | 0,9        | 26        | 44%      |
|                | I     | 7                  | 12     | 22        | 19             | 2          | 18        | 18%      |
|                | H     | 19                 | 9      | 25        | 18             | -2         | 19        | 24%      |
|                | G     | 12                 | 6      | 16        | 10             | 2          | 9         | 44%      |
| <i>Lifting</i> | K     | 8                  | 9      | 18        | 21             | 0,1        | 21        | 17%      |
|                | I     | 9                  | 19     | 34        | 28             | 3          | 27        | 21%      |
|                | H     | 11                 | 10     | 21        | 21             | -3         | 23        | 10%      |
|                | G     | 12                 | 6      | 16        | 12             | 2          | 11        | 31%      |

Tabel di atas menyajikan perbandingan antara hasil tegangan Von Mises yang diperoleh melalui perhitungan manual dan simulasi SolidWorks pada beberapa titik pengamatan dengan dua kondisi kerja, yaitu *digging* dan *lifting*. Perhitungan manual dilakukan dengan menggabungkan nilai tegangan aksial dan geser dengan menggunakan persamaan (4.6). Sementara, hasil simulasi diperoleh dengan mempertimbangkan tegangan utama maksimum ( $\sigma_1$ ) dan minimum ( $\sigma_2$ ) untuk menghasilkan nilai Von Mises secara numerik.

Berdasarkan hasil perbandingan, terlihat bahwa persentase selisih antara perhitungan manual dan simulasi berada dalam rentang 10% hingga 44%. Selisih terkecil terdapat pada titik H saat *lifting*, yaitu 10%. Sedangkan selisih terbesar terjadi pada titik K dan G saat *digging*, yaitu 44%. Mayoritas titik menunjukkan selisih di bawah 30%, yang mengindikasikan bahwa pendekatan manual dapat merepresentasikan kondisi tegangan aktual.

### 4.3 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan untuk mengidentifikasi pembebanan yang bekerja pada komponen *boom* dan *arm*. perhitungan ini mencakup kondisi operasional *excavator* saat *digging* dan *lifting*, baik menggunakan *bucket* standar dan *upsized*. Selain itu juga, perhitungan gaya yang dihasilkan oleh silinder hidrolik *boom*, *arm*, dan *bucket*. Nilai-nilai yang digunakan, diperoleh dari data yang telah didapatkan yang ditunjukkan pada Tabel 3-1 dengan proses perhitungan sebagai berikut.

#### 4.3.1 Perhitungan Gaya Silinder Hidrolik

Perhitungan gaya silinder hidrolik pada komponen *boom*, *arm*, dan *bucket* dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$F = P \times A \quad (4.7)$$

Nilai tekanan yang digunakan dalam perhitungan sebesar  $320 \text{ kg/cm}^2$  atau  $31,4 \text{ MPa}$ . Nilai tersebut merupakan nilai tekanan maksimal pada saat *excavator* beroperasi. Berikut perhitungan gaya silinder hidrolik pada masing-masing komponen:

➤ *Boom*

Perhitungan nilai gaya yang dihasilkan oleh silinder hidrolik *boom* akan digunakan pada titik J. Luas alas dari piston silinder hidrolik *boom* sebesar  $A_{SA} = 19.645 \text{ mm}^2$ . Sehingga perhitungan gaya sebagai berikut:

$$F_{SA} = P_{SA} \times A_{SA}$$

$$F_{SA} = 31,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 19.645 \text{ mm}^2$$

$$F_{SA} = 616.853 \text{ N} \approx 617 \text{ kN}$$

➤ *Arm*

Perhitungan nilai gaya yang dihasilkan oleh silinder hidrolik *arm* akan digunakan pada titik H. Luas alas dari piston silinder hidrolik *arm* sebesar  $A_{SB} = 26.376 \text{ mm}^2$ . Sehingga perhitungan gaya sebagai berikut:

$$F_{SB} = P_{SB} \times A_{SB}$$

$$F_{SB} = 31,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 26.376 \text{ mm}^2$$

$$F_{SB} = 828.206 \text{ N} \approx 828 \text{ kN}$$

➤ *Bucket*

Perhitungan nilai gaya yang dihasilkan oleh silinder hidrolik *bucket* akan digunakan pada titik G. Luas alas dari piston silinder hidrolik *bucket* sebesar  $A_{SC} = 9.714 \text{ mm}^2$ . Sehingga perhitungan gaya sebagai berikut:

$$F_{SC} = P_{SC} \times A_{SC}$$

$$F_{SB} = 31,4 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 9.714 \text{ mm}^2$$

$$F_{SB} = 305.020 \text{ N} \approx 305 \text{ kN}$$

### 4.3.2 Perhitungan Pembebanan Kondisi *Digging*

Perhitungan pembebanan pada saat *digging* dilakukan dengan mempertimbangkan berat tiap *bucket*. Berikut proses perhitungan pembebanan pada saat *digging* tiap *bucket*:

➤ *Bucket standar*

Proses perhitungan pembebanan yang diterima oleh *boom* dan *arm* pada saat *digging*, telah dilakukan pada saat penentuan material. Sehingga DBB dari *boom* ditunjukkan pada Gambar 3-10 dan Gambar 3-11 untuk *arm*.

➤ *Bucket upsize*

➤ Menentukan berat *bucket upsize*:

$$W_C = m_{\text{BucketUpsize}} \times \text{gravitasi}$$

$$W_C = 7.300 \text{ kg} \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$W_C = 71.613 \text{ N} \approx 72 \text{ kN}$$

➤ Menentukan momen di titik B pada *bucket* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-5 dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_B = 0$$

$$(F_T \times 1.259 \text{ mm}) - (F_C \times 945 \text{ mm}) - (W_C \times 1.183 \text{ mm}) = 0$$

$$(1.254.556 \text{ N} \times 1.259 \text{ mm}) - (F_C \times 945 \text{ mm}) - (71.613 \text{ N} \times 1.183 \text{ mm}) = 0$$

$$F_C = 1.581.765 \text{ N} \approx 1.582 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} + F_{Cx} = 0$$

$$R_{Bx} + (F_C \cos 52^\circ) = 0$$

$$R_{Bx} + (1.581.765 \text{ N} \times 0,6) = 0$$

$$R_{Bx} = -949.059 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 949.059 \text{ N} \approx 950 \text{ kN} \rightarrow \text{ke arah kiri}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$R_{By} - W_C + F_T - F_{Cy} = 0$$

$$R_{By} - W_C + F_T - (F_C \sin 52^\circ) = 0$$

$$R_{By} - 71.613 \text{ N} + 1.254.556 \text{ N} - (1.581.765 \text{ N} \times 0,8) = 0$$

$$R_{By} = 82.469 \text{ N} \approx 82 \text{ kN}$$

- Resultan di titik B

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = \sqrt{(949.059 \text{ N})^2 + (82.469 \text{ N})^2}$$

$$R_B = 952.635 \text{ N} \approx 953 \text{ kN}$$

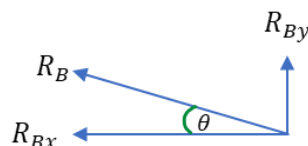
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik B ( $R_B$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{By}}{R_{Bx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{82.469 \text{ N}}{949.059 \text{ N}}$$

$$\theta = 6^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik B ke arah kuadran II dengan sudut  $6^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-41.



Gambar 4-41 Arah resultan di titik B (*digging – bucket upsize*)

- Selanjutnya dilakukan perhitungan pada komponen *arm* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-7. Jika ditinjau dari *arm*, titik E merupakan reaksi dari titik B dari *bucket*. Sehingga resultan di titik E ( $R_E$ ) ke arah kuadran IV dengan sudut  $6^\circ$ . Selanjutnya untuk menentukan resultan gaya di titik F dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum M_F = 0$$

$$(R_E \times 1.743 \text{ mm}) + (F_D \times 2.819 \text{ mm}) + (F_G \times 1.265 \text{ mm}) + (F_H \times 1.275 \text{ mm}) - (W_A \times 864 \text{ mm}) = 0$$

$$(952.635 \text{ N} \times 1.743 \text{ mm}) + (F_D \times 2.819 \text{ mm}) + (305.020 \text{ N} \times 1.265 \text{ mm}) + (828.206 \text{ N} \times 1.275 \text{ mm}) - (38.406 \text{ N} \times 864 \text{ mm}) = 0$$

$$F_D = -1.088.710 \text{ N}$$

$$F_D = 1.088.710 \text{ N} \approx 1.089 \text{ kN} \rightarrow \text{ke arah masuk}$$

Berdasarkan hasil perhitungan DBB *arm* pada saat *digging* dengan *bucket upsize* ditunjukkan pada Gambar 3-11.

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Fx} + R_{Ex} - F_{Dx} - F_{Gx} - F_{Hx} = 0$$

$$R_{Fx} + R_{Ex} - (F_D \sin 37^\circ) - (F_G \cos 38^\circ) - (F_H \cos 16^\circ) = 0$$

$$R_{Fx} + 949.059 \text{ N} - (1.088.710 \text{ N} \times 0,6) - (305.020 \text{ N} \times 0,8) - (828.206 \text{ N} \times 1) = 0$$

$$R_{Fx} = 776.389 \text{ N} \approx 776 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} - F_{Dy} + F_{Gy} + F_{Hy} - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} - (F_D \cos 37^\circ) + (F_G \sin 38^\circ) + (F_H \sin 16^\circ) - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - 82.469 - (1.088.710 \text{ N} \times 0,8) + (305.020 \text{ N} \times 0,6) + (828.206 \text{ N} \times 0,3) - 38.406 \text{ N} = 0$$

$$R_{Fy} = 560.369 \text{ N} \approx 560 \text{ kN}$$

- Resultan di titik F

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2}$$

$$R_F = \sqrt{(776.389 \text{ N})^2 + (560.369 \text{ N})^2}$$

$$R_F = 957.493 \text{ N} \approx 957 \text{ kN}$$

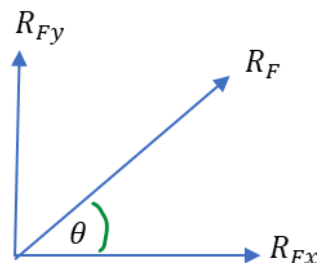
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik F ( $R_F$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{Fy}}{R_{Fx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{560.369 \text{ N}}{776.389 \text{ N}}$$

$$\theta = 35^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik F ke arah kuadran I dengan sudut  $35^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-42.



Gambar 4-42 Arah resultan di titik F (*digging – bucket upsize*)

- Pada Gambar 3-10 merupakan DBB dari *boom* pada saat *digging* dengan *bucket upsize*. Jika ditinjau dari *boom*, titik I merupakan gaya reaksi dari titik F dengan sudut  $35^\circ$  dan arah  $R_I$  ke kuadran III. Nilai pembebanan yang diterima oleh titik I sebesar  $957 \text{ kN}$ .

### 4.3.3 Perhitungan Pembebanan Kondisi *Lifting*

Perhitungan pembebanan pada saat *lifting* dilakukan dengan mempertimbangkan berat material *overburden* yang diangkat oleh *bucket* berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Dalam hal ini, berat material *overburden* yang terangkat menggunakan *bucket* standar sebesar 12,5 ton, sedangkan untuk *bucket upsize* sebesar 15 ton. Berikut proses perhitungan pembebanan pada saat *lifting* tiap *bucket*:

➤ *Bucket* standar

- Menentukan berat *bucket* pada saat mengangkat material:

$$W_C = (m_{\text{BucketStandar}} + m_{\text{OBAct}}) \times \text{gravitasi}$$

$$W_C = (6.491 \text{ kg} + 12.500 \text{ kg}) \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$W_C = 186.302 \text{ N} \approx 186 \text{ kN}$$

- Menentukan momen di titik B pada *bucket* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-11 dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_B = 0$$

$$(W_C \times 1.238 \text{ mm}) - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$(186.302 \text{ N} \times 1.238 \text{ mm}) - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$230.641.876 \text{ Nmm} - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$-(F_C \times 669 \text{ mm}) = -230.641.876 \text{ Nmm}$$

$$F_C = 344.756 \text{ N} \approx 345 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} - F_{Cx} = 0$$

$$R_{Bx} - (F_C \cos 55^\circ) = 0$$

$$R_{Bx} - (344.756 \text{ N} \times 0,6) = 0$$

$$R_{Bx} = 206.854 \text{ N} \approx 207 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By} - W_C - F_{Cy} = 0$$

$$R_{By} - W_C - (F_C \sin 55^\circ) = 0$$

$$R_{By} - 186.302 \text{ N} - (344.756 \text{ N} \times 0,8) = 0$$

$$R_{By} = 462.107 \text{ N} \approx 462 \text{ kN}$$

- Resultan di titik B

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = \sqrt{(206.854 \text{ N})^2 + (462.107 \text{ N})^2}$$

$$R_B = 506.292 \text{ N} \approx 506 \text{ kN}$$

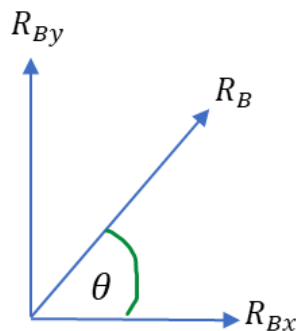
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik B ( $R_B$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{By}}{R_{Bx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{462.107 \text{ N}}{206.854 \text{ N}}$$

$$\theta = 63^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik B ke arah kuadran I dengan sudut  $63^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-43.



Gambar 4-43 Arah resultan di titik B (*lifting – bucket standar*)

- Selanjutnya dilakukan perhitungan pada komponen *arm* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-13. Jika ditinjau dari *arm*, titik E merupakan reaksi dari titik B dari *bucket*. Sehingga resultan di titik E ( $R_E$ ) ke arah kuadran III dengan sudut  $63^\circ$ . Selanjutnya untuk menentukan resultan gaya di titik F dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum M_F = 0$$

$$\begin{aligned} &-(R_E \times 1.862 \text{ mm}) + (F_D \times 1.348 \text{ mm}) + (F_G \times 1.186 \text{ mm}) + \\ &(F_H \times 1.283 \text{ mm}) - (W_A \times 407 \text{ mm}) = 0 \\ &-(506.292 \text{ N} \times 1.862 \text{ mm}) + (F_D \times 1.348 \text{ mm}) + (305.020 \text{ N} \times \\ &1.186 \text{ mm}) + (828.206 \text{ N} \times 1.283 \text{ mm}) - (38.406 \text{ N} \times 407 \text{ mm}) = 0 \end{aligned}$$

$$F_D = -345.694 \text{ N}$$

$$F_D = 345.694 \text{ N} \approx 346 \text{ kN} \rightarrow \text{ke arah masuk}$$

Berdasarkan hasil perhitungan DBB *arm* pada saat *lifting* dengan *bucket* standar ditunjukkan pada Gambar 3-13.

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Fx} - R_{Ex} - F_{Dx} + F_{Gx} - F_{Hx} = 0$$

$$R_{Fx} - R_{Ex} - (F_D \cos 54^\circ) + (F_G \sin 3^\circ) - (F_H \cos 2^\circ) = 0$$

$$\begin{aligned} &R_{Fx} - 206.854 \text{ N} - (345.694 \text{ N} \times 0,6) + (305.020 \text{ N} \times 0) - \\ &(828.206 \text{ N} \times 1) = 0 \end{aligned}$$

$$R_{Fx} = 1.242.476 \text{ N} \approx 1.242 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} + F_{Dy} + F_{Gy} + F_{Hy} - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} + (F_D \sin 54^\circ) + (F_G \cos 3^\circ) + (F_H \sin 2^\circ) - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - 462.107 \text{ N} + (345.694 \text{ N} \times 0,8) + (305.020 \text{ N} \times 1) + (828.206 \text{ N} \times 0) - 38.406 \text{ N} = 0$$

$$R_{Fy} = -81.062 \text{ N}$$

$$R_{Fy} = 81.062 \text{ N} \approx 81 \text{ kN} \rightarrow \text{ke arah bawah}$$

- Resultan di titik F

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2}$$

$$R_F = \sqrt{(1.242.476 \text{ N})^2 + (81.062 \text{ N})^2}$$

$$R_F = 1.245.118 \text{ N} \approx 1.245 \text{ kN}$$

$$R_F = 1.245 \text{ kN}$$

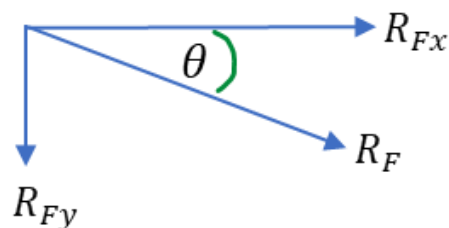
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik F ( $R_F$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{Fy}}{R_{Fx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{81.062 \text{ N}}{1.242.476 \text{ N}}$$

$$\theta = 6^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik F ke arah kuadran IV dengan sudut  $6^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-44.



Gambar 4-44 Arah resultan di titik F (*lifting – bucket standar*)

- Pada Gambar 3-12 merupakan DBB dari *boom* pada saat *lifting* dengan *bucket* standar. Jika ditinjau dari *boom*, titik I merupakan gaya reaksi dari titik F dengan sudut  $6^\circ$  dan arah  $R_I$  ke kuadran II. Nilai pembebanan yang diterima oleh titik I sebesar  $1.245 \text{ kN}$ .

➤ *Bucket upsize*

- Menentukan berat *bucket* pada saat mengangkat material:

$$W_C = (m_{\text{BucketUpsize}} + m_{\text{OBAct}}) \times \text{gravitasi}$$

$$W_C = (7.300 \text{ kg} + 15.000 \text{ kg}) \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$W_C = 218.763 \text{ N} \approx 219 \text{ kN}$$

- Menentukan momen di titik B pada *bucket* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-11 dengan arah berlawanan arah jarum jam (CCW) dianggap positif.

$$\sum M_B = 0$$

$$(W_C \times 1.238 \text{ mm}) - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$(218.763 \text{ N} \times 1.238 \text{ mm}) - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$270.828.594 \text{ Nmm} - (F_C \times 669 \text{ mm}) = 0$$

$$F_C = 404.826 \text{ N} \approx 405 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} - F_{Cx} = 0$$

$$R_{Bx} - (F_C \cos 55^\circ) = 0$$

$$R_{Bx} - (404.826 \text{ N} \times 0,6) = 0$$

$$R_{Bx} = 242.896 \text{ N} \approx 243 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By} - W_C - F_{Cy} = 0$$

$$R_{By} - 218.763 \text{ N} - (F_C \sin 55^\circ) = 0$$

$$R_{By} - 218.763 \text{ N} - (404.826 \text{ N} \times 0,8) = 0$$

$$R_{By} = 542.624 \text{ N} \approx 543 \text{ kN}$$

- Resultan di titik B

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = \sqrt{(242.896 \text{ N})^2 + (542.624 \text{ N})^2}$$

$$R_B = 594.508 \text{ N} \approx 595 \text{ kN}$$

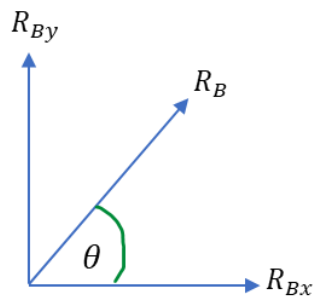
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik B ( $R_B$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{By}}{R_{Bx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{542.624 \text{ N}}{242.896 \text{ N}}$$

$$\theta = 63^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik B ke arah kuadran I dengan sudut  $63^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-45.



Gambar 4-45 Arah resultan di titik B (*lifting – bucket upsize*)

- Selanjutnya dilakukan perhitungan pada komponen *arm* dengan DBB yang ditunjukkan pada Gambar 4-13. Jika ditinjau dari *arm*, titik E merupakan reaksi dari titik B dari *bucket*. Sehingga resultan di titik E ( $R_E$ ) ke arah kuadran III dengan sudut  $63^\circ$ . Selanjutnya untuk menentukan resultan gaya di titik F dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\sum M_F = 0$$

$$\begin{aligned} & -(R_E \times 1.862 \text{ mm}) + (F_D \times 1.348 \text{ mm}) + (F_G \times 1.186 \text{ mm}) + \\ & (F_H \times 1.283 \text{ mm}) - (W_A \times 407 \text{ mm}) = 0 \\ & -(594.508 \text{ N} \times 1.862 \text{ mm}) + (F_D \times 1.348 \text{ mm}) + (305.020 \text{ N} \times \\ & 1.186 \text{ mm}) + (828.206 \text{ N} \times 1.283 \text{ mm}) - (38.406 \text{ N} \times 407 \text{ mm}) = 0 \end{aligned}$$

$$F_D = -223.840 \text{ N}$$

$$F_D = 223.840 \text{ N} \approx 224 \text{ kN} \rightarrow \text{ke arah masuk}$$

Berdasarkan hasil perhitungan DBB *arm* pada saat *lifting* dengan *bucket upsize* ditunjukkan pada Gambar 3-15.

- Jumlah gaya terhadap sumbu x (ke arah kanan = positif)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Fx} - R_{Ex} + F_{Dx} + F_{Gx} - F_{Hx} = 0$$

$$R_{Fx} - 242.896 \text{ N} - (F_D \cos 54^\circ) + (F_G \sin 3^\circ) - (F_H \cos 2^\circ) = 0$$

$$\begin{aligned} & R_{Fx} - 242.896 \text{ N} - (223.840 \text{ N} \times 0,6) + (305.020 \text{ N} \times 0) - \\ & (828.206 \text{ N} \times 1) = 0 \end{aligned}$$

$$R_{Fx} = 1.205.406 \text{ N} \approx 1.205 \text{ kN}$$

- Jumlah gaya terhadap sumbu y (ke arah atas = positif)

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} + F_{Dy} + F_{Gy} + F_{Hy} - W_A = 0$$

$$R_{Fy} - R_{Ey} + (F_D \sin 54^\circ) + (F_G \cos 3^\circ) + (F_H \sin 2^\circ) - W_A = 0$$

$$\begin{aligned} & R_{Fy} - 542.624 \text{ N} + (223.840 \text{ N} \times 0,8) + (305.020 \text{ N} \times 1) + \\ & (828.206 \text{ N} \times 0) - 38.406 \text{ N} = 0 \end{aligned}$$

$$R_{Fy} = 96.938 \text{ N} \approx 97 \text{ kN}$$

- Resultan di titik F

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2}$$

$$R_F = \sqrt{(1.205.406 \text{ N})^2 + (96.938 \text{ N})^2}$$

$$R_F = 1.209.298 \text{ N} \approx 1.209 \text{ kN}$$

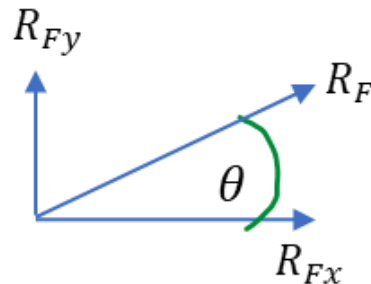
- Untuk mengetahui arah dan sudut dari resultan gaya titik F ( $R_F$ ) didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_{Fy}}{R_{Fx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{96.938 \text{ N}}{1.205.406 \text{ N}}$$

$$\theta = 6^\circ$$

Sehingga arah dari resultan gaya titik F ke arah kuadran I dengan sudut  $6^\circ$  ditunjukkan pada Gambar 4-44.



Gambar 4-46 Arah resultan di titik F (*lifting – bucket upsize*)

- Pada Gambar 3-14 merupakan DBB dari *boom* pada saat *lifting* dengan *bucket upsize*. Jika ditinjau dari *boom*, titik I merupakan gaya reaksi dari titik F dengan sudut  $6^\circ$  dan arah  $R_I$  ke kuadran III. Nilai pembebanan yang diterima oleh titik I sebesar  $1.233 \text{ kN}$ .

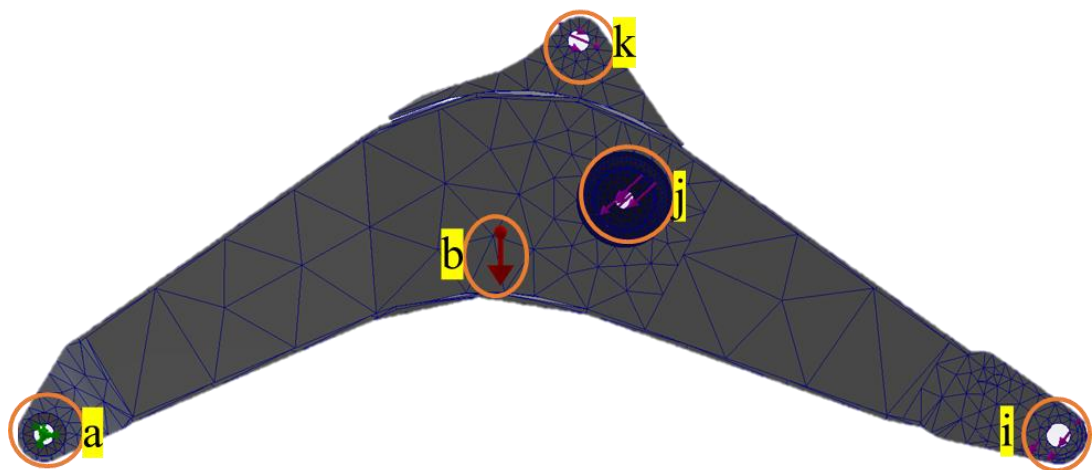
#### 4.4 Simulasi CAE

Simulasi dilakukan dengan merepresentasikan kondisi aktual saat komponen bekerja. Titik tumpuan ditentukan berdasarkan titik sambungan antar komponen, sementara gaya-gaya yang bekerja diambil dari hasil analisis gaya yang telah disajikan pada Tabel 3-2.

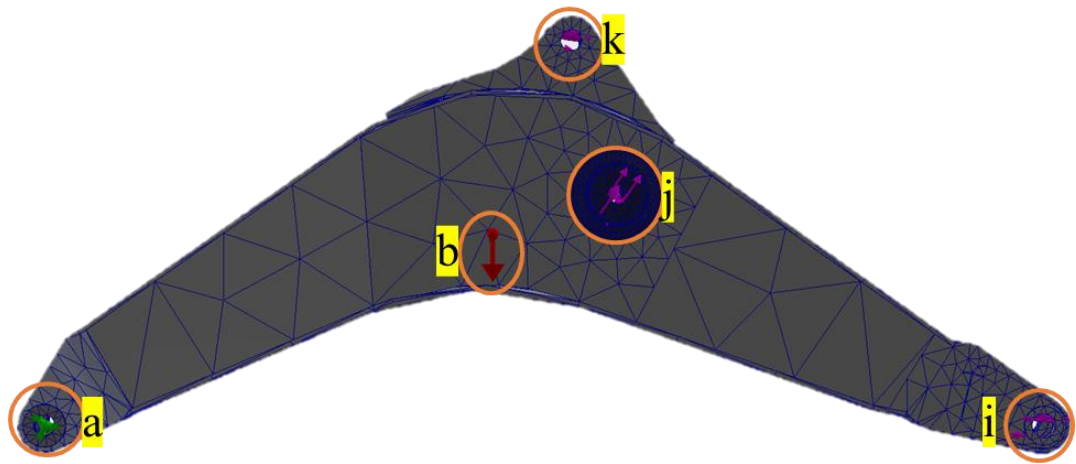
Pada komponen *boom* yang ditunjukkan pada Gambar 4-47 ketika *boom* menerima beban akibat *bucket* standar dan *upsized* saat *digging*, Gambar 4-48 ketika *boom* menerima beban akibat *bucket* standar saat *lifting*, dan Gambar 4-49 ketika *boom* menerima beban akibat *bucket upsized* saat *lifting*. Simulasi ini menggunakan ukuran *mesh* sebesar 700 mm.

Untuk komponen *arm* yang ditunjukkan pada Gambar 4-50 ketika *arm* menerima beban akibat *bucket* standar dan *upsized* saat *digging* dan Gambar 4-51 ketika *arm* menerima beban akibat *bucket* standar dan *upsized* saat *lifting*. Ukuran *mesh* yang digunakan sebesar 232 mm.

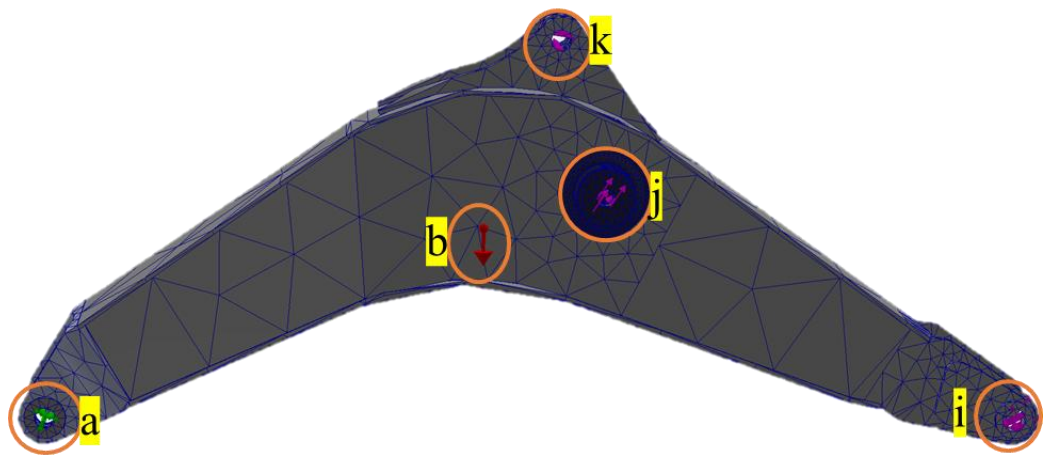
Dalam simulasi, titik tumpuan ditandai dengan huruf (a) sebagai *fixed hinge* dan huruf (b) sebagai titik gaya gravitasi. Gaya-gaya kerja lainnya ditandai dengan huruf (k, j, dan i) untuk *boom*, serta huruf (h, g, d, dan e) untuk *arm* yang masing-masing merepresentasikan nilai gaya sesuai hasil analisis sebelumnya.



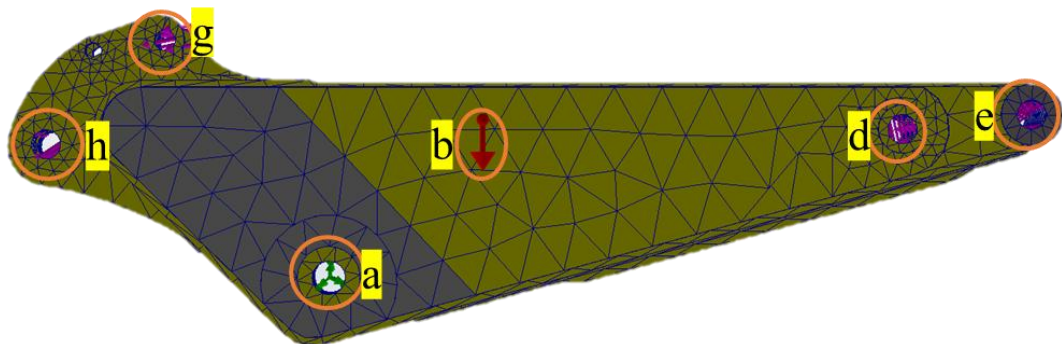
Gambar 4-47 Proses simulasi pada *boom* terhadap *bucket* standar dan *upsized* (*digging*)



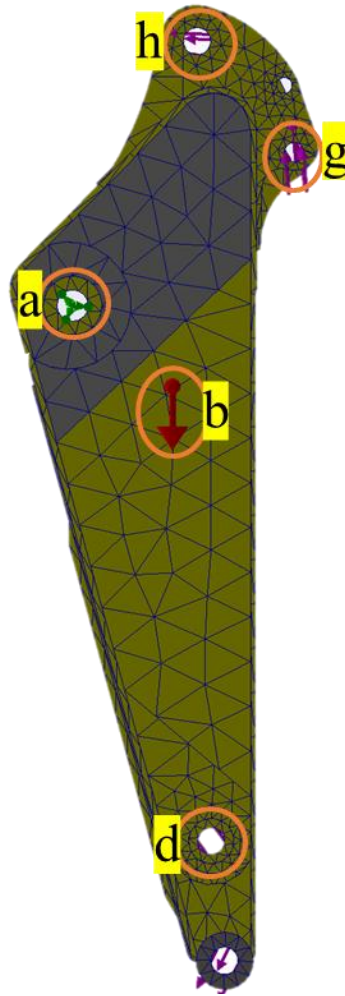
Gambar 4-48 Proses simulasi pada *boom* terhadap *bucket standar (lifting)*



Gambar 4-49 Proses simulasi pada *boom* terhadap *bucket upsized (lifting)*

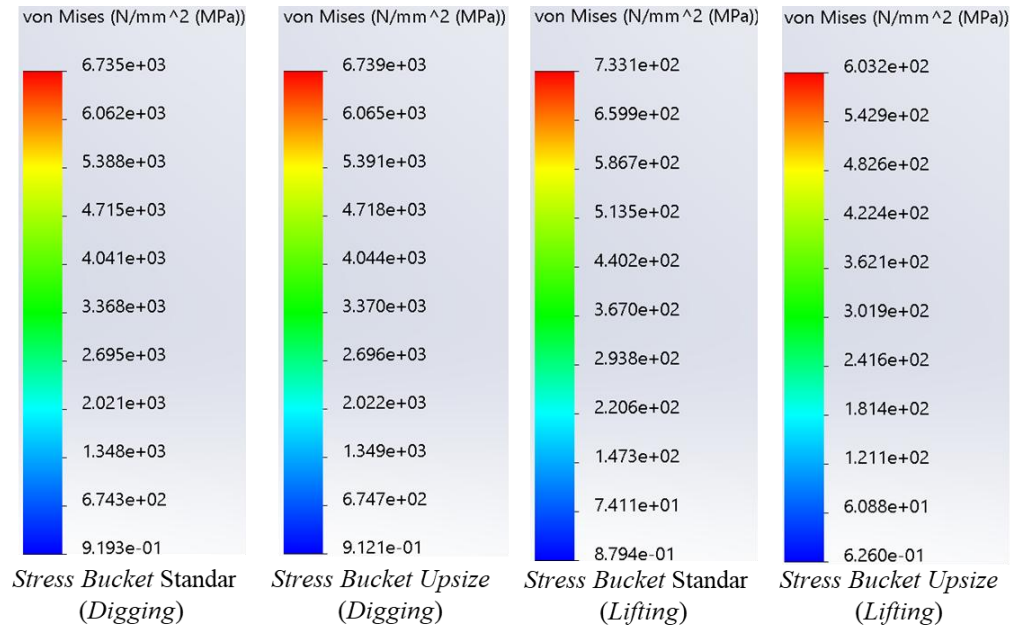


Gambar 4-50 Proses simulasi pada *arm* terhadap *bucket standar dan upsized (digging)*

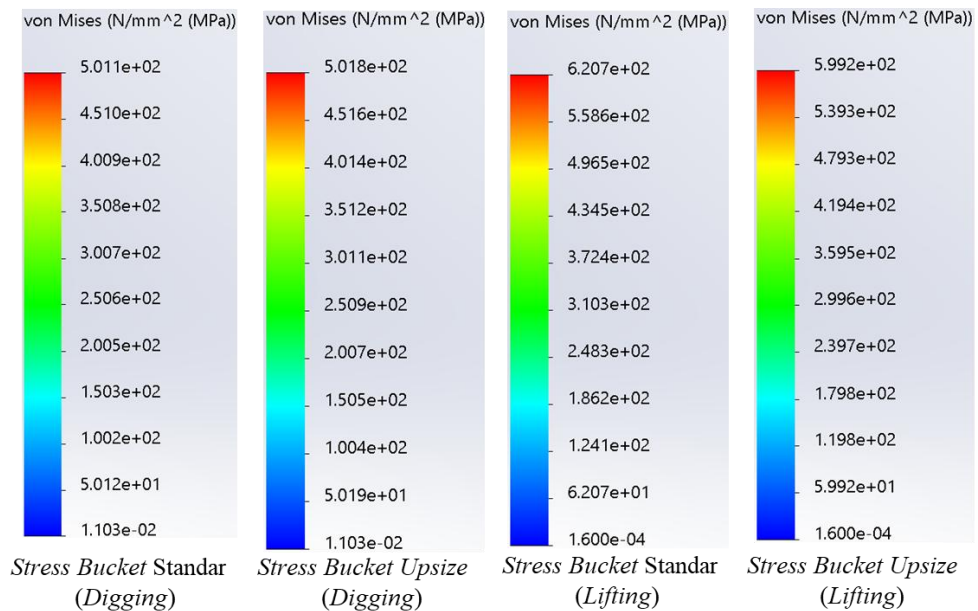


Gambar 4-51 Proses simulasi pada *arm* terhadap *bucket* standar dan *upsized* (*lifting*)

Setelah dilakukan simulasi pada komponen, kemudian mendapatkan hasil simulasi yang menggunakan perangkat lunak SolidWorks, sehingga dapat mengidentifikasi nilai tegangan yang terjadi pada komponen *boom* dan *arm* akibat beban *bucket* standar dan *upsized* saat kondisi kerja *digging* dan *lifting* yang ditunjukkan pada Gambar 4-52 dan Gambar 4-53.



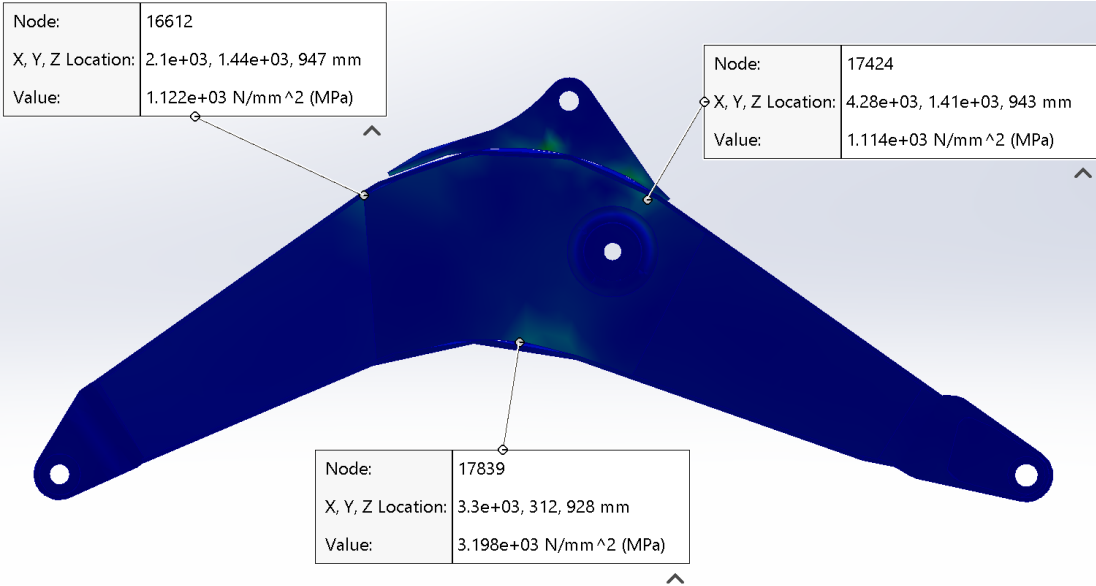
Gambar 4-52 Hasil tegangan komponen *boom* pada kondisi *digging* dan *lifting* terhadap *bucket* standar dan *upsized*



Gambar 4-53 Hasil tegangan komponen *arm* pada kondisi *digging* dan *lifting* terhadap *bucket* standar dan *upsized*

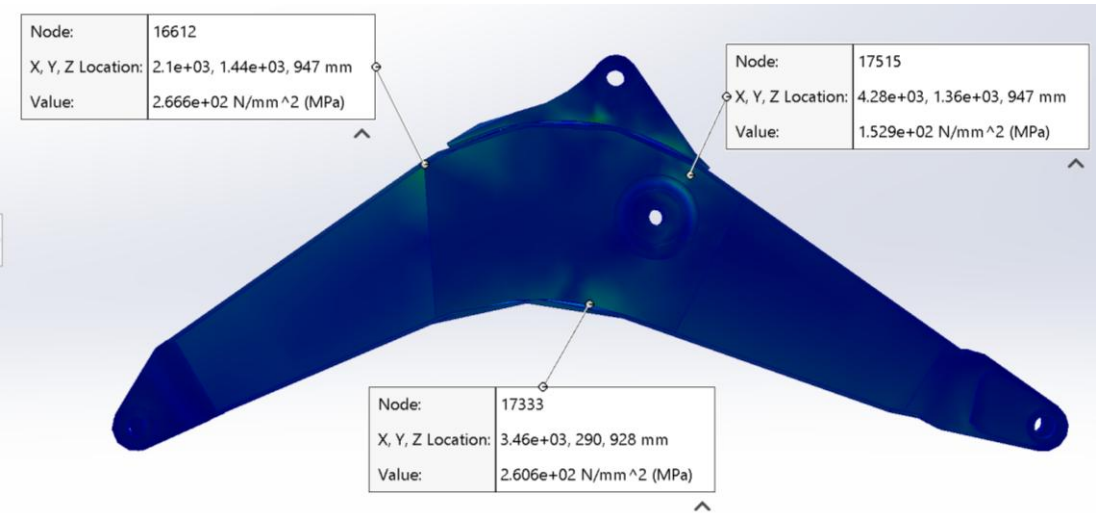
Dalam simulasi ini, digunakan nilai tegangan Von Mises sebagai acuan evaluasi struktur karena didasarkan pada karakteristik material yang digunakan, yaitu SM570 dan ASTM A36. Material tersebut tergolong logam *ductile*.

Tegangan Von Mises dapat merepresentasikan kondisi tegangan multiaxial pada material *ductile* dan dapat dibandingkan langsung dengan nilai tegangan luluh material (Systemes, 2025). Oleh karena itu, pendekatan ini sesuai untuk menganalisis kemungkinan kegagalan struktur pada komponen *boom* dan *arm*.



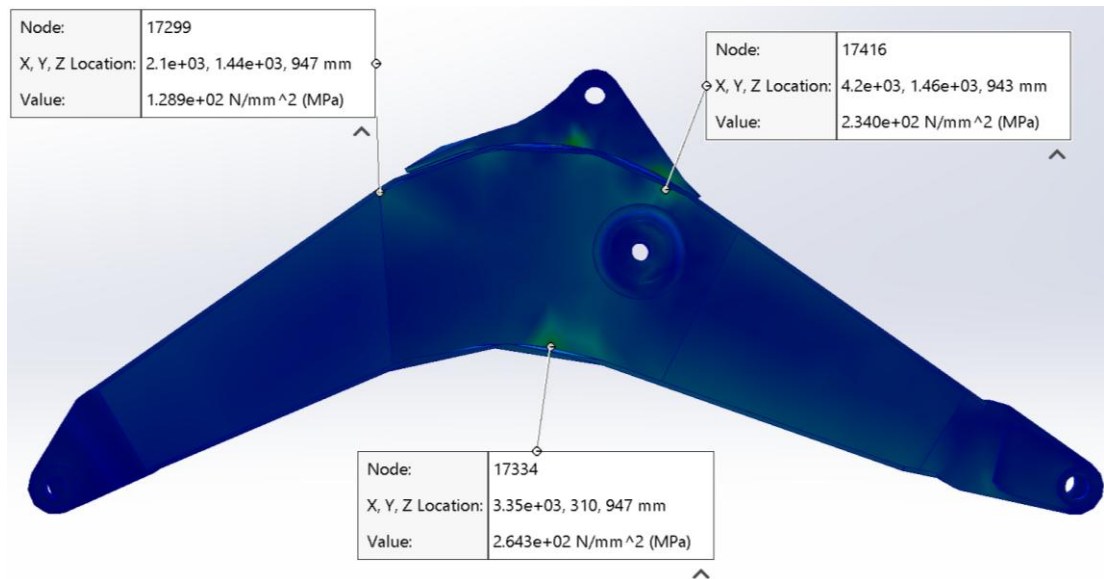
Gambar 4-54 Titik tegangan tertinggi pada *boom* saat *digging* (*bucket* standar dan *upsized*)

Gambar 4-54 menunjukkan titik tegangan tertinggi pada komponen *boom* saat *digging* dengan *bucket* standar dan *upsized*, seperti Node 16612 sebesar 1.122 MPa, Node 17839 sebesar 3.198 MPa, dan Node 17424 sebesar 1.114 MPa.



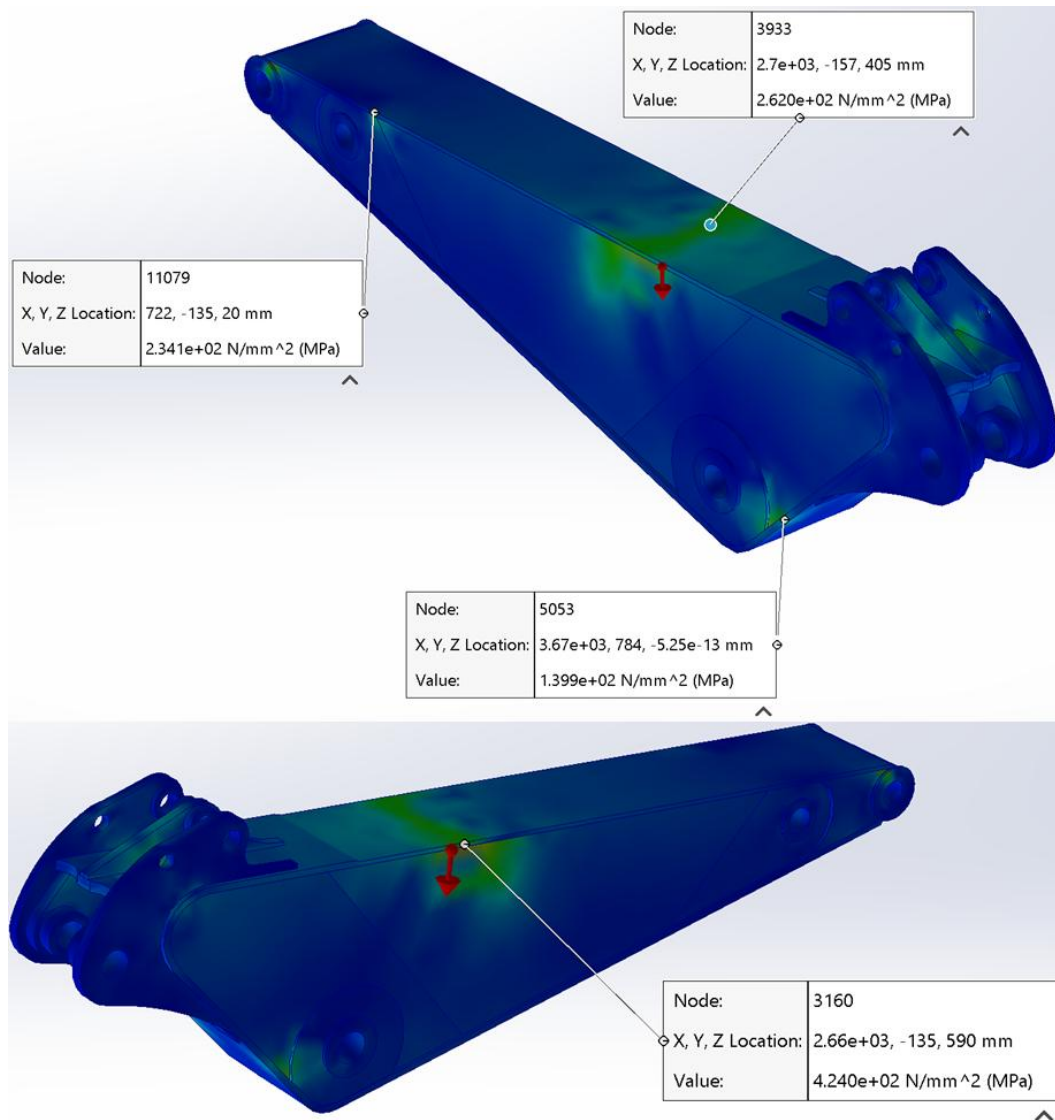
Gambar 4-55 Titik tegangan tertinggi pada *boom* saat *lifting* (*bucket* standar)

Gambar 4-55 menunjukkan titik tegangan tertinggi pada komponen *boom* saat *lifting* dengan *bucket* standar, seperti Node 16612 sebesar 267 MPa, Node 17333 sebesar 261 MPa, dan Node 17515 sebesar 153 MPa.



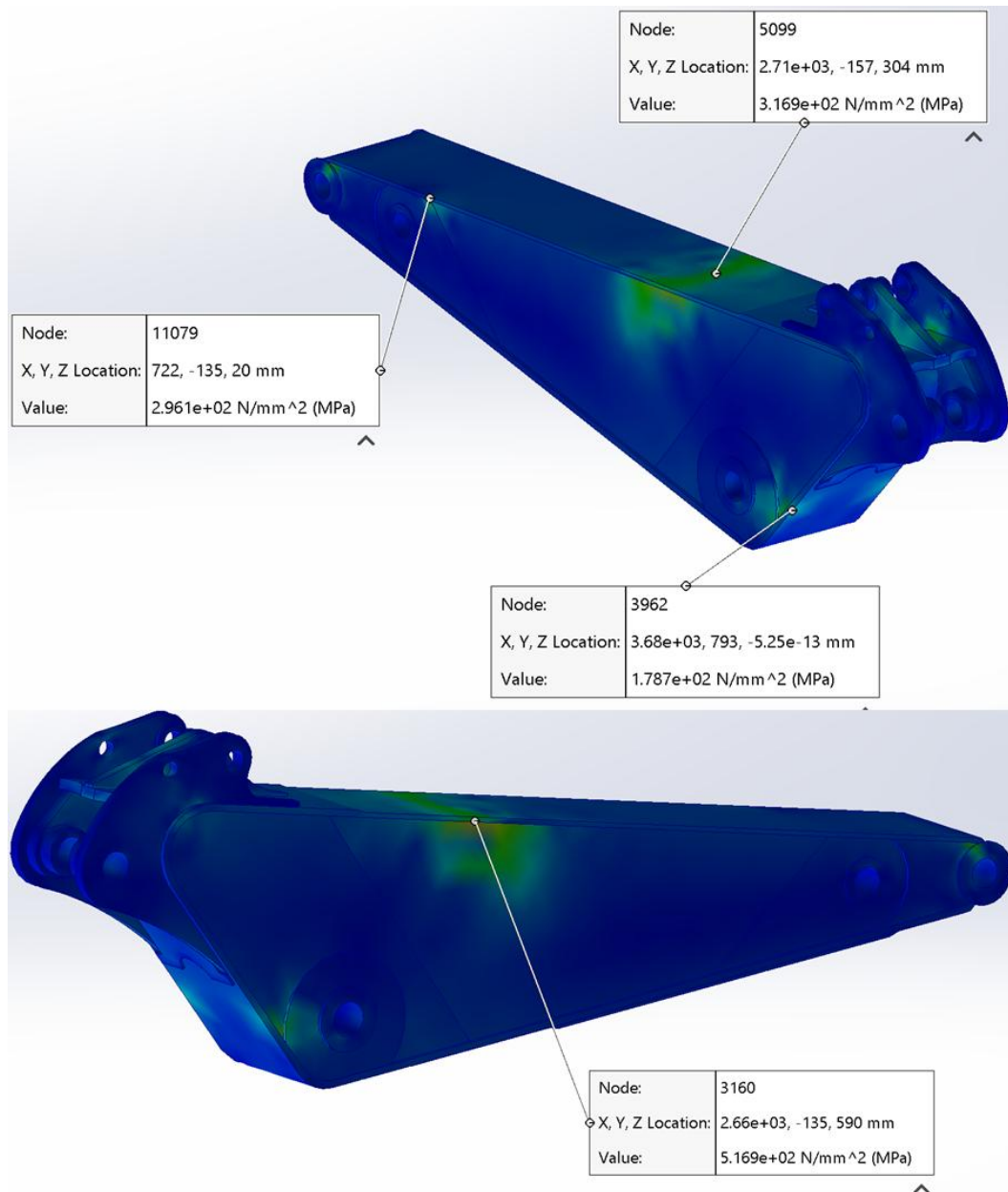
Gambar 4-56 Titik tegangan tertinggi pada *boom* saat *lifting* (*bucket upsize*)

Gambar 4-56 menunjukkan titik tegangan tertinggi pada komponen *boom* saat *lifting* dengan *bucket upsize*, seperti Node 17299 sebesar 129 MPa, Node 17334 sebesar 264 MPa, dan Node 17416 sebesar 234 MPa.



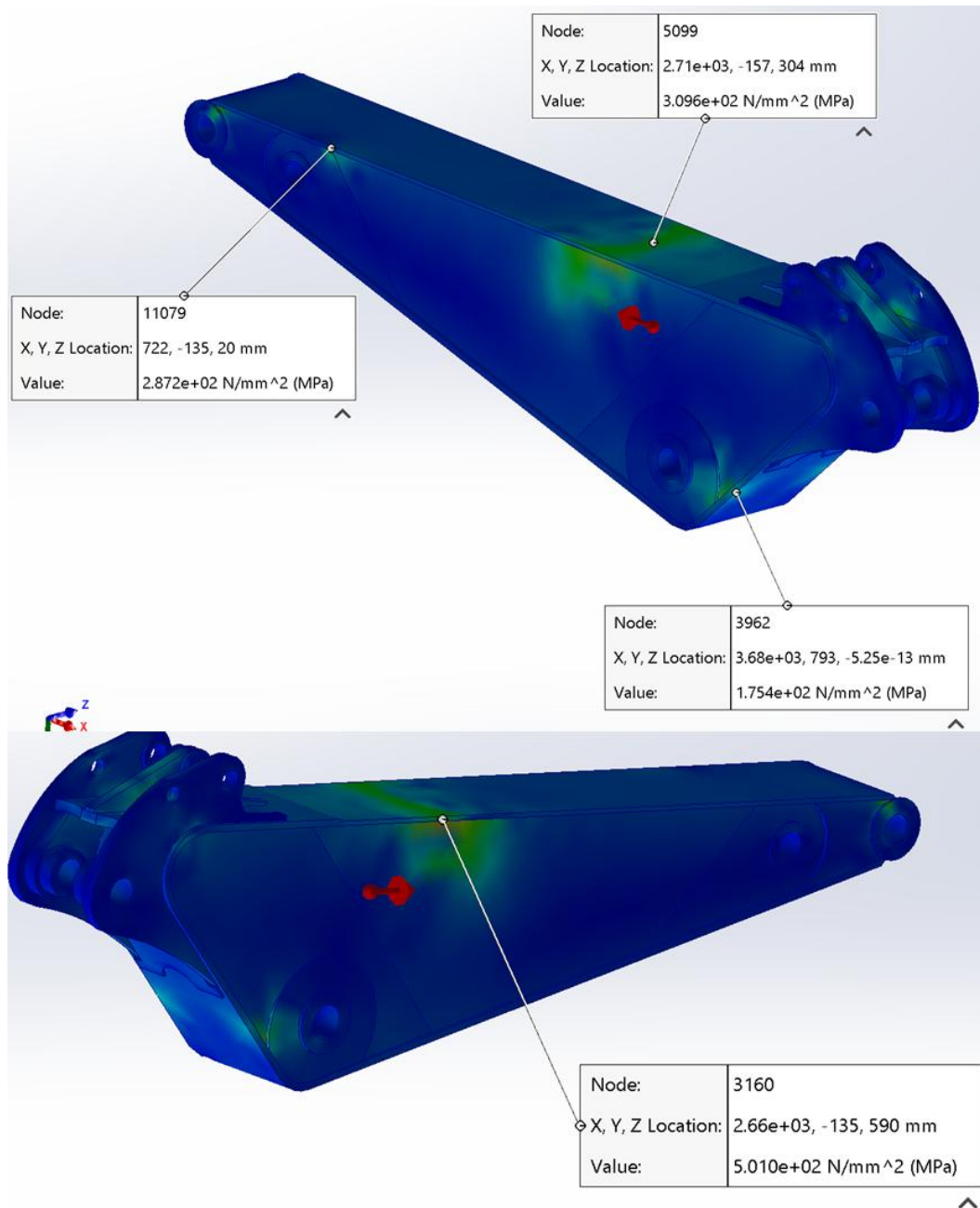
Gambar 4-57 Titik tegangan tertinggi pada *arm* saat *digging* (*bucket* standar dan *upsized*)

Gambar 4-57 menunjukkan titik tegangan tertinggi pada komponen *arm* saat *digging* dengan *bucket* standar dan *upsized*, seperti Node 11079 sebesar 234 MPa, Node 5053 sebesar 140 MPa, Node 3933 sebesar 262 MPa, dan Node 3160 sebesar 424 MPa.



Gambar 4-58 Titik tegangan tertinggi pada *arm* saat *lifting* (*bucket* standar)

Gambar 4-58 menunjukkan titik tegangan tertinggi pada komponen *arm* saat *lifting* dengan *bucket* standar, seperti Node 11079 sebesar 296 MPa, Node 3962 sebesar 179 MPa, Node 5099 sebesar 317 MPa, dan Node 3160 sebesar 517 MPa.

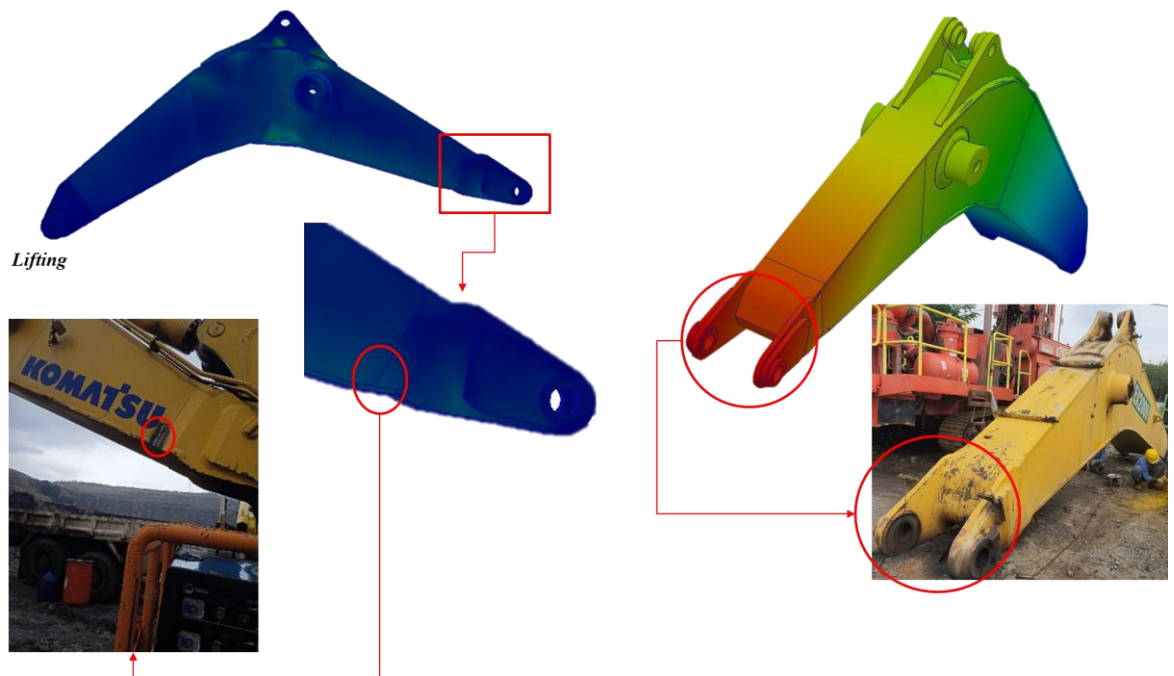


Gambar 4-59 Titik tegangan tertinggi pada *arm* saat *lifting* (*bucket upsize*)

Gambar 4-59 menunjukkan titik tegangan tertinggi pada komponen *arm* saat *lifting* dengan *bucket upsize*, seperti Node 11079 sebesar 287 MPa, Node 3962 sebesar 175 MPa, Node 5099 sebesar 310 MPa, dan Node 3160 sebesar 501 MPa.

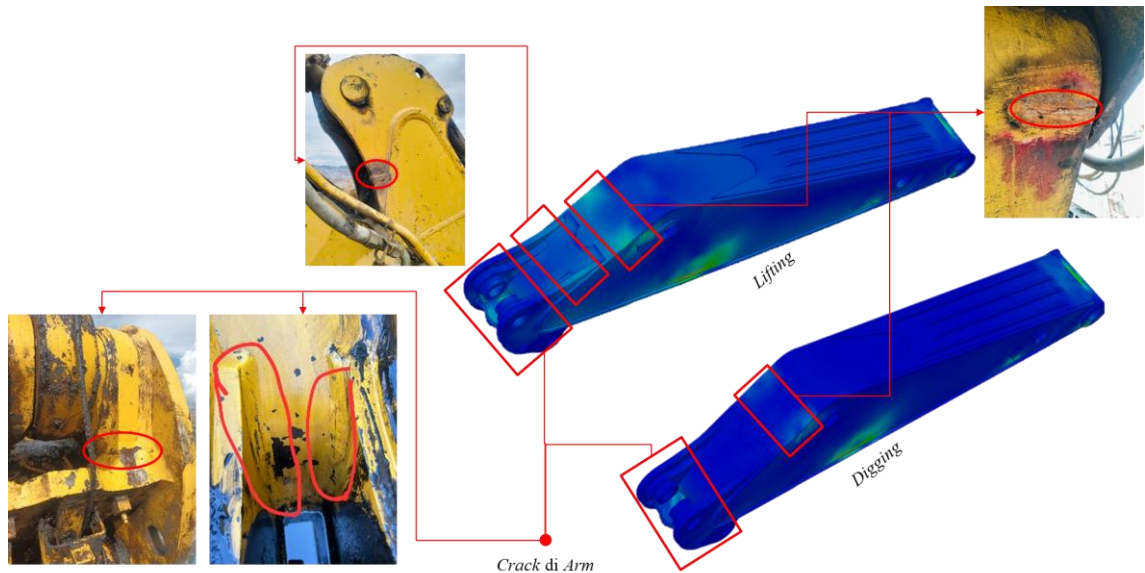
Nilai-nilai tegangan yang diperoleh dari hasil simulasi digunakan sebagai acuan dalam penambahan penguat pada komponen *boom* dan *arm*. Berdasarkan hasil simulasi, nilai tegangan tersebut dikategorikan sebagai area kritis karena melebihi atau mendekati kekuatan luluh material, yaitu 450 MPa. Oleh karena itu, diperlukan penguat pada area-area kritis guna menghindari kegagalan material saat kondisi kerja *digging* maupun *lifting*.

Setelah dilakukan simulasi dan diperoleh distribusi tegangan pada masing-masing komponen, selanjutnya dilakukan proses validasi. Validasi ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi sebelum dilakukan penguat terhadap kondisi di lapangan guna memastikan bahwa hasil simulasi sesuai dengan kondisi aktualnya. Proses validasi pada *boom* ditunjukkan pada Gambar 4-60 dan *arm* ditunjukkan pada Gambar 4-61.



Gambar 4-60 Perbandingan hasil simulasi dengan kondisi aktual (*boom*)

(Sumber : *File pribadi dan Tim Fabrikasi Site RANT*)



Gambar 4-61 Perbandingan hasil simulasi dengan kondisi aktual (*arm*)  
(Sumber : *File pribadi dan Tim Fabrikasi Site RANT*)

Berdasarkan hasil validasi, dapat diketahui bahwa simulasi yang telah dilakukan sudah sesuai dengan kondisi aktualnya. Pada komponen *boom*, ditunjukkan adanya deformasi dan retakan pada bagian *end boom* sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4-60. Sementara, pada komponen *arm* terlihat adanya retakan pada beberapa area sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4-61. Lokasi area tersebut sesuai dengan letak konsentrasi tegangan pada hasil simulasi saat kondisi kerja *digging* dan *lifting*. Kesesuaian antara hasil simulasi dengan kondisi aktual ini menunjukkan bahwa pemodelan dan pembebanan yang dilakukan pada simulasi telah merepresentasikan kondisi nyata.

## 4.5 Pembahasan

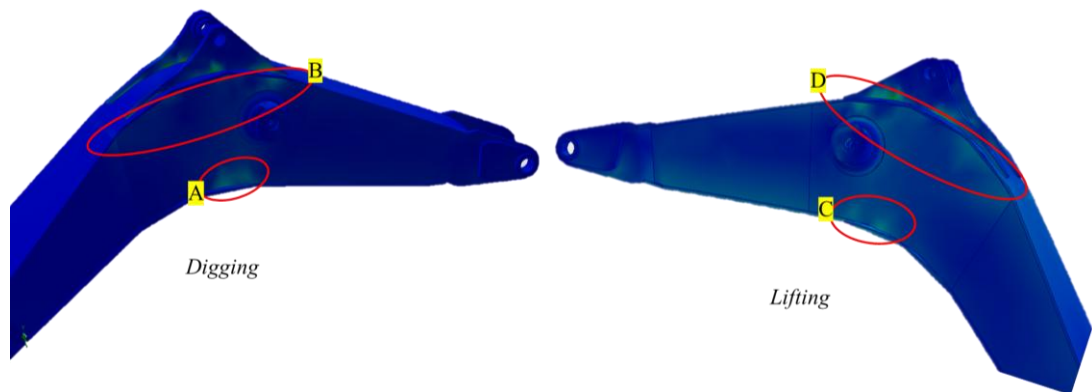
Setelah dilakukan simulasi dan validasi terhadap komponen *boom* dan *arm*, diperoleh hasil simulasi distribusi tegangan. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat beberapa area-area kritis yang mengalami tegangan melebihi kekuatan luluh material. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut terhadap area-area tersebut untuk menentukan perbaikan struktural.

Pembahasan ini difokuskan pada identifikasi area kritis yang berpotensi mengalami kerusakan dan perancangan penguat pada area kritis untuk meningkatkan kekuatan struktur terhadap beban kerja *digging* dan *lifting*.

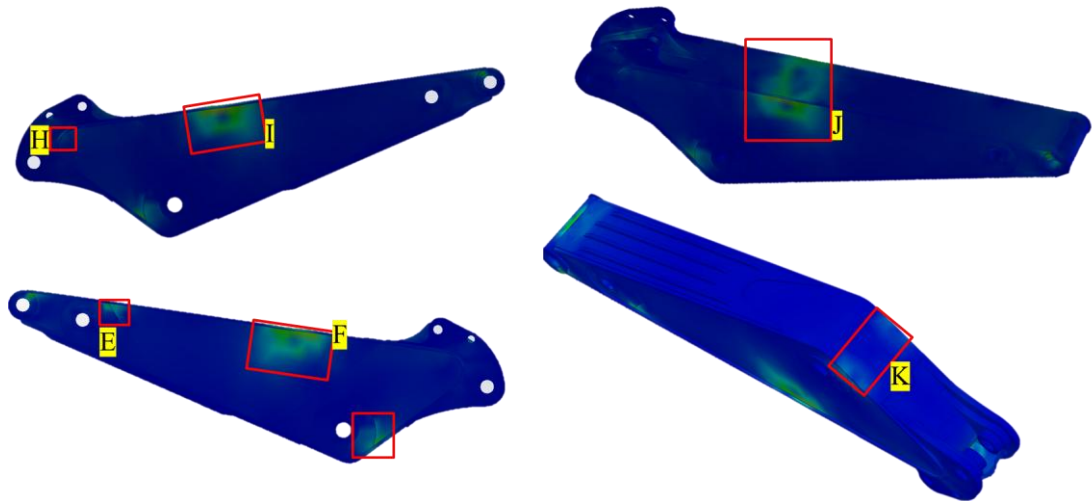
#### 4.5.1 Identifikasi Area Kritis

Identifikasi area kritis dilakukan berdasarkan hasil distribusi tegangan yang telah divalidasi terhadap kondisi aktual. Area kritis didefinisikan sebagai wilayah pada komponen yang mengalami konsentrasi tegangan tertinggi serta memiliki potensi kerusakan akibat beban kerja.

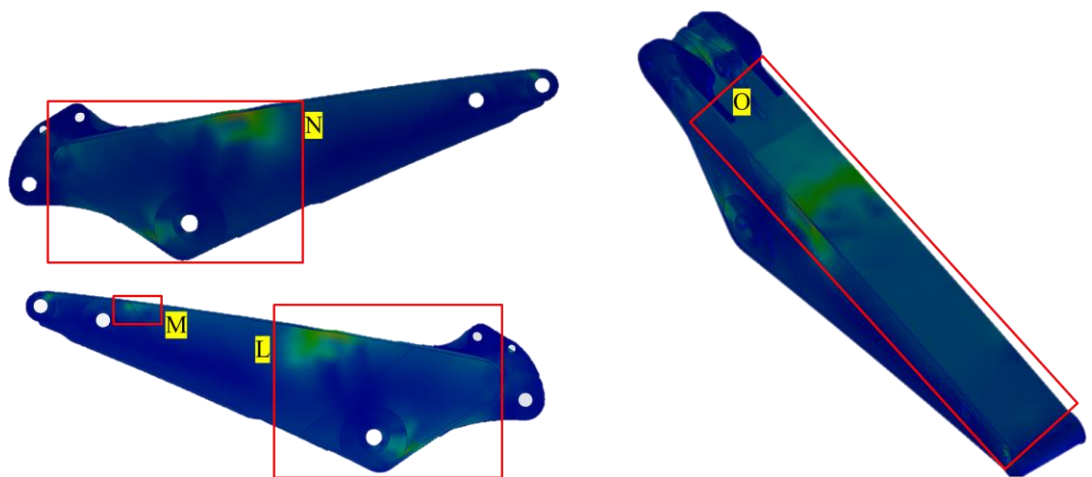
Area kritis pada komponen *boom* ditunjukkan Gambar 4-62, area tersebut ditunjukkan dengan warna hijau dalam visualisasi hasil simulasi. Sedangkan pada *arm*, area kritis terletak di pelat samping, atas, bawah, dan sekitar lubang pin penghubung. Area tersebut ditunjukkan dengan warna hijau dalam visualisasi hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4-63 saat *digging* dan Gambar 4-64 saat *lifting*. Maka dari itu, area-area tersebut menjadi fokus utama dalam perancangan penguatan struktur karena berpotensi mengalami kerusakan akibat beban berulang.



Gambar 4-62 Area kritis *boom* pada kondisi *digging* dan *lifting* terhadap *bucket* standar dan *upsized*



Gambar 4-63 Area kritis *arm* kondisi *digging* terhadap *bucket* standar dan *upsized*



Gambar 4-64 Area kritis *arm* pada kondisi *lifting* terhadap *bucket* standar dan *upsized*

#### 4.5.2 Perancangan Penguat Struktur

Perancangan penguat struktur dilakukan berdasarkan distribusi tegangan yang dihasilkan dari simulasi dan area kritis yang telah diidentifikasi sebelumnya. Sebelum menentukan desain akhir penguat, dilakukan beberapa tahapan eksplorasi desain pelat penguat dengan berbagai konfigurasi bentuk dan ketebalan. Setiap konfigurasi dianalisis menggunakan simulasi metode elemen hingga untuk menilai efektivitas dalam menurunkan tegangan pada area kritis. Hasil dari simulasi tiap konfigurasi dibandingkan untuk memperoleh desain yang

paling optimal berdasarkan dari berat, kemudahan fabrikasi, dan temuan permasalahan di lapangan.

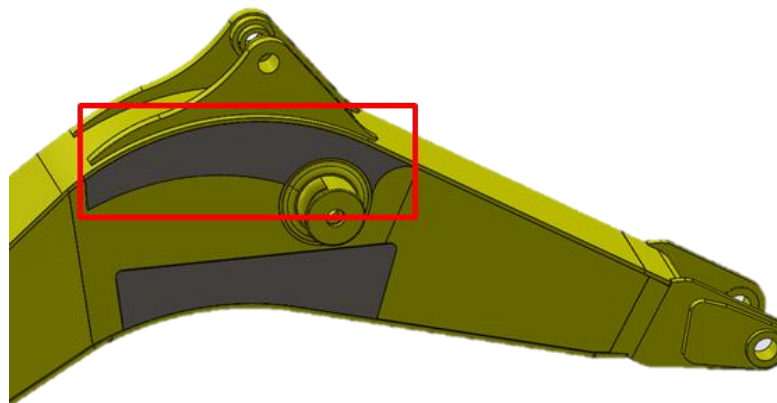
Material yang digunakan adalah ASTM A36 dengan ketebalan 12 mm, 15 mm, dan 30 mm. Material tersebut tergolong *mild steel* dengan mempertimbangkan ketersediaan material di *Supply Management Site* RANT, harga terjangkau, dan mudah dalam proses fabrikasi. Selain itu, material tersebut memiliki variasi ketebalan.

Selanjutnya dilakukan simulasi konfigurasi pelat penguat untuk menurunkan tegangan yang optimal. Bentuk penguat disesuaikan dengan bentuk komponen supaya tidak mengganggu operasional dan tetap menjaga kekuatan sambungan. Konfigurasi dan hasil simulasi penguat dilakukan pada masing-masing komponen sebagai berikut.

#### **4.5.2.1 Perancangan Penguat Pada Boom**

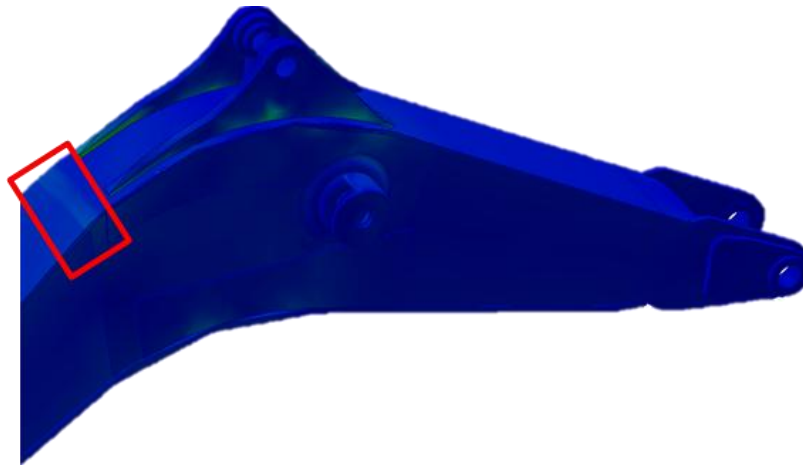
Perancangan penguat pada komponen *boom* dilakukan berdasarkan hasil identifikasi area kritis pada saat *lifting*. Terdapat dua area utama yang perlu dilakukan penguat, yaitu area A (bagian pelat samping bawah) dan B (bagian pelat samping atas atau di bawah *hydraulic cylinder bracket arm*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-62.

Konfigurasi penguat pertama dilakukan pada area B dengan menambahkan pelat penguat setebal 15 mm yang ditunjukkan pada Gambar 4-65.



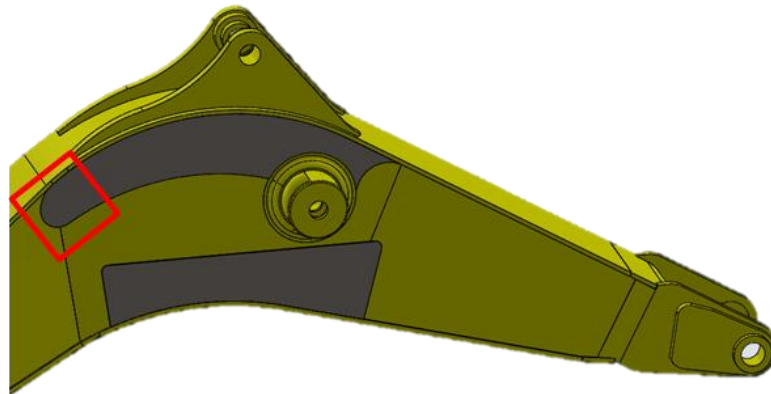
Gambar 4-65 Konfigurasi penguat 1 di area B

Hasil simulasi konfigurasi penguat pertama menunjukkan bahwa mampu menurunkan tegangan pada area tersebut, namun menyebabkan distribusi tegangan ke area lainnya yang ditunjukkan pada Gambar 4-66.



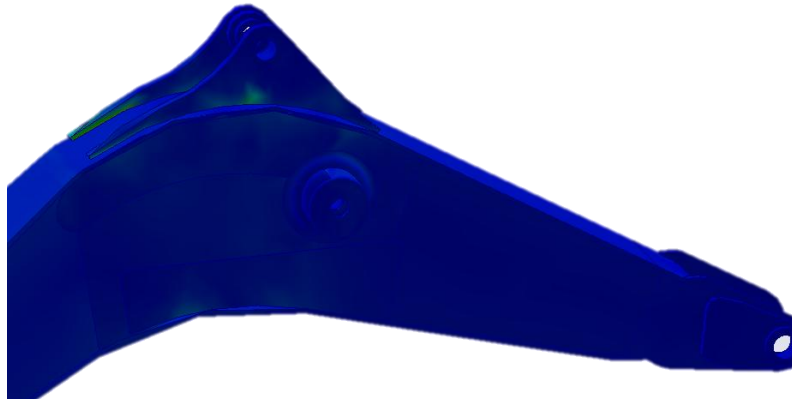
Gambar 4-66 Hasil simulasi penguat 1 di area B

Oleh karena itu, dilakukan modifikasi bentuk penguat dengan memperpanjang pelat ke arah belakang dan membuat *fillet* untuk mengurangi konsentrasi tegangan akibat sudut tajam yang ditunjukkan pada Gambar 4-67.



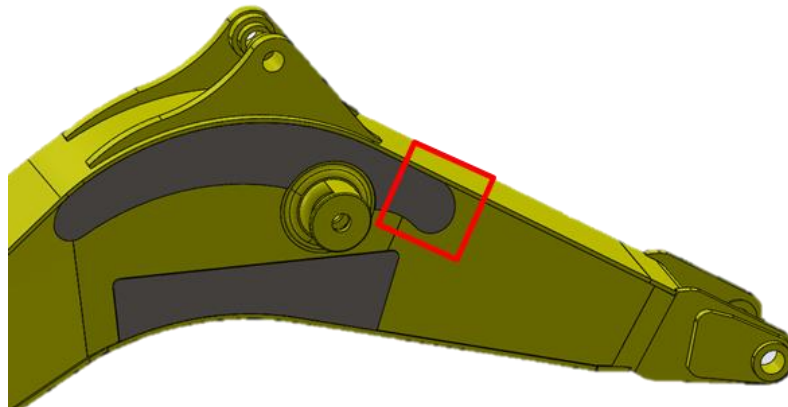
Gambar 4-67 Konfigurasi penguat 2 di area B

Hasil simulasi konfigurasi penguat kedua menunjukkan bahwa tegangan yang sebelumnya muncul pada konfigurasi penguat pertama telah berhasil diminimalkan yang ditunjukkan pada Gambar 4-68.



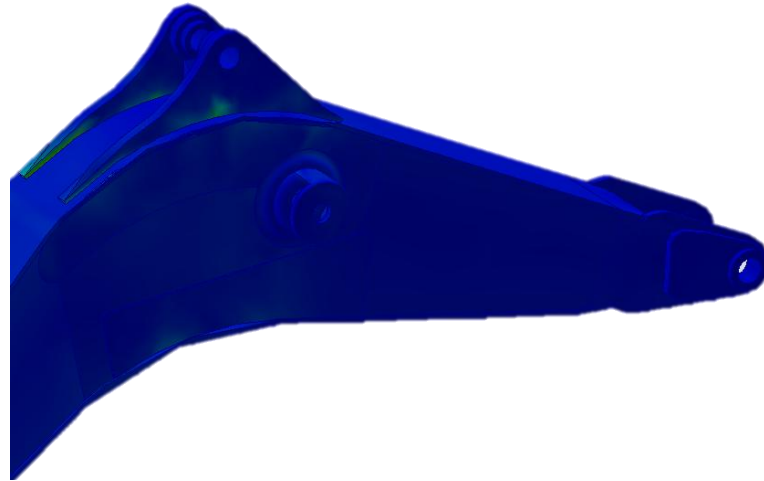
Gambar 4-68 Hasil simulasi penguat 2 di area B

Berdasarkan hasil ini, desain konfigurasi kedua dijadikan dasar pengembangan konfigurasi ketiga yang ditunjukkan pada Gambar 4-69. Hal tersebut dilakukan untuk memperkuat sambungan las antar pelat pada *boom*.



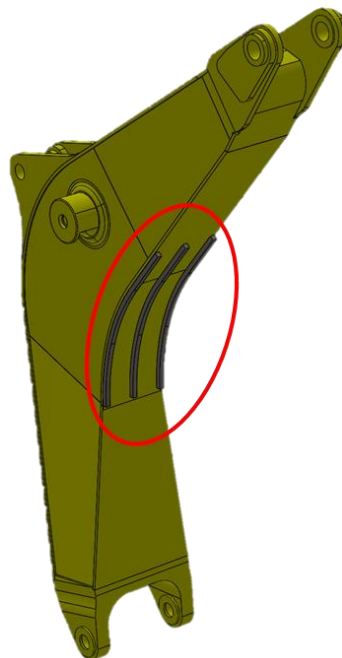
Gambar 4-69 Konfigurasi penguat 3 di area B

Hasil simulasi konfigurasi penguat ketiga menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada area B dapat diminimalkan secara signifikan yang ditunjukkan pada Gambar 4-70. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, konfigurasi ketiga dipilih sebagai desain penguat pada *boom* di area B.



Gambar 4-70 Hasil simulasi penguat 3 di area B

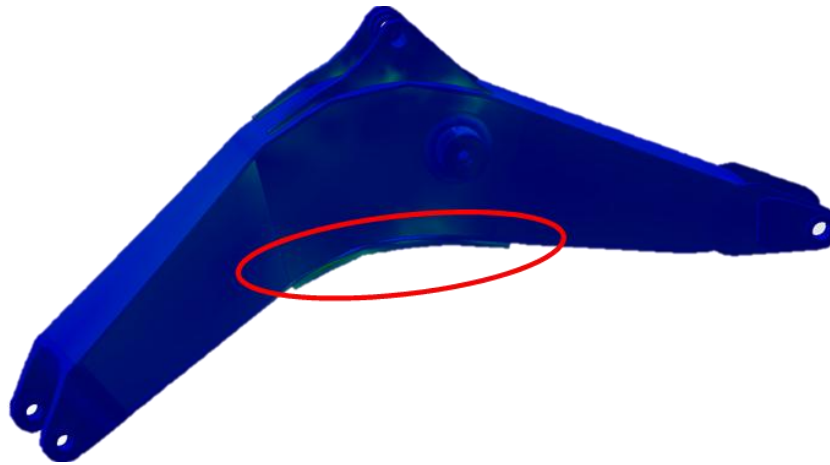
Selanjutnya perancangan penguat di area A. Pada area A, konfigurasi penguat pertama dilakukan dengan menambahkan elemen penguat berupa *rib* dengan penampang persegi berukuran  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ . *Rib* ini dibentuk mengikuti kontur lengkungan pada bagian bawah *boom* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-71.



Gambar 4-71 Konfigurasi penguat 1 di area A

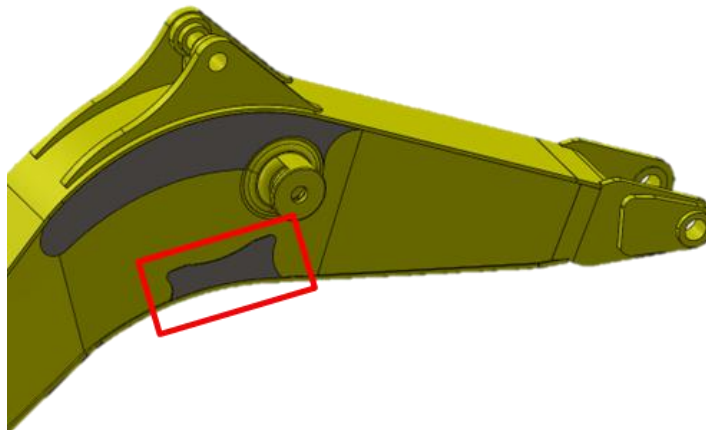
Hasil simulasi konfigurasi penguat pertama menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada area A belum mampu mereduksi tegangan yang terjadi.

Sehingga penguat tersebut kurang efektif dalam mengatasi tegangan yang terjadi pada area tersebut. Hasil simulasi dengan menggunakan penguat pertama ditunjukkan pada Gambar 4-72.



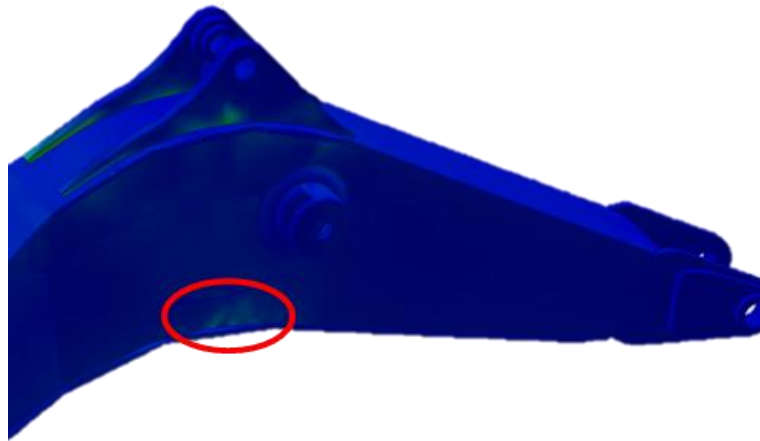
Gambar 4-72 Hasil simulasi penguat 1 di area A

Selanjutnya, dilakukan perancangan penguatan dengan menggunakan pelat setebal 10 mm. Adanya lengkungan dan *fillet* dipilih untuk meningkatkan kekuatan pengelasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-73.



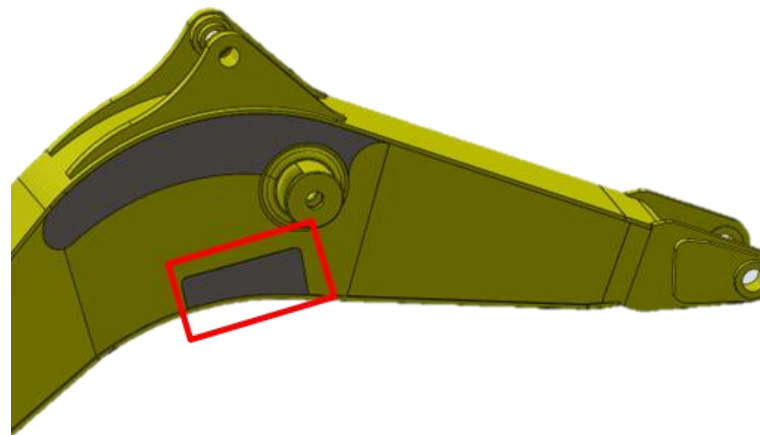
Gambar 4-73 Konfigurasi penguat 2 di area A

Hasil simulasi konfigurasi penguat kedua menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada area A belum mampu mereduksi tegangan yang terjadi yang ditunjukkan pada Gambar 4-74.



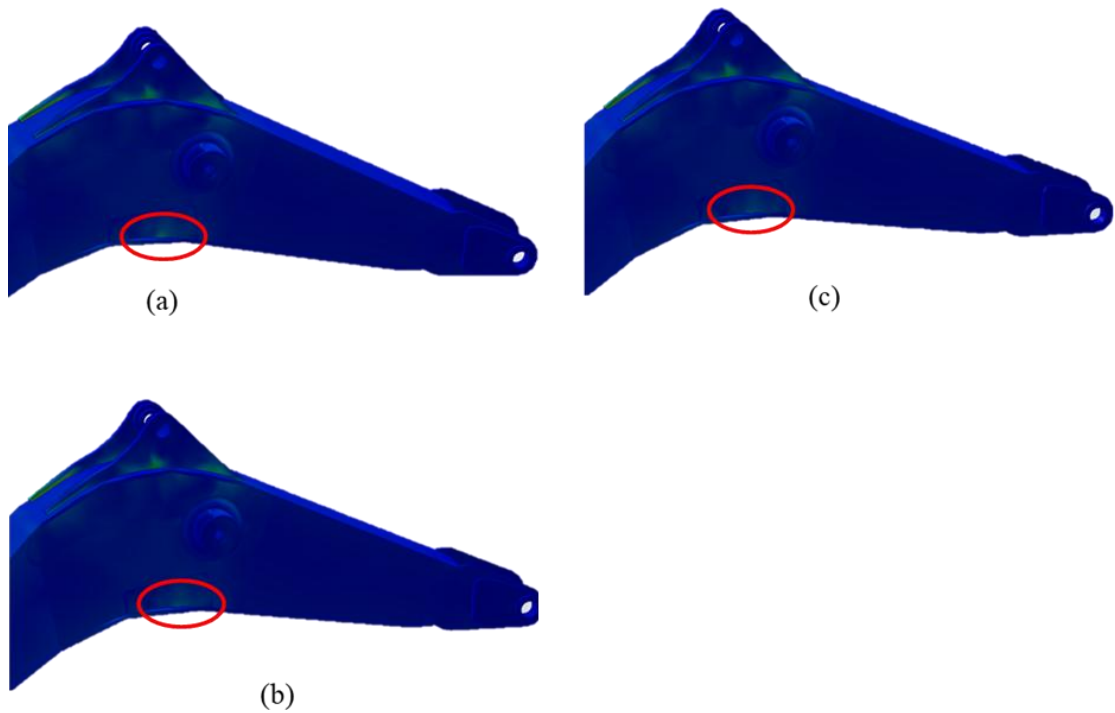
Gambar 4-74 Hasil simulasi penguat 2 di area A

Konfigurasi penguat ketiga, kemudian dilakukan modifikasi dengan menghilangkan lengkungan pada pelat, tetapi masih menggunakan *fillet* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-75.



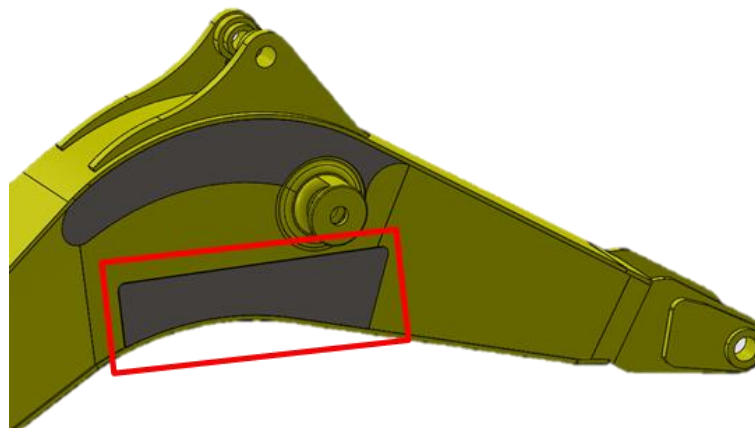
Gambar 4-75 Konfigurasi penguat 3 di area A

Pada konfigurasi penguat ketiga dilakukan simulasi dengan variasi ketebalan pelat 10 mm, 12 mm, dan 15 mm. Meskipun demikian, hasil simulasi menunjukkan bahwa pelat tersebut belum mampu mereduksi tegangan yang terjadi. Hasil simulasi dengan menggunakan konfigurasi penguat ketiga dengan variasi ketebalan ditunjukkan pada Gambar 4-76.



Gambar 4-76 Hasil simulasi penguat 3 di area A. (a) Tebal 10 mm; (b) Tebal 12 mm; (c) Tebal 15 mm

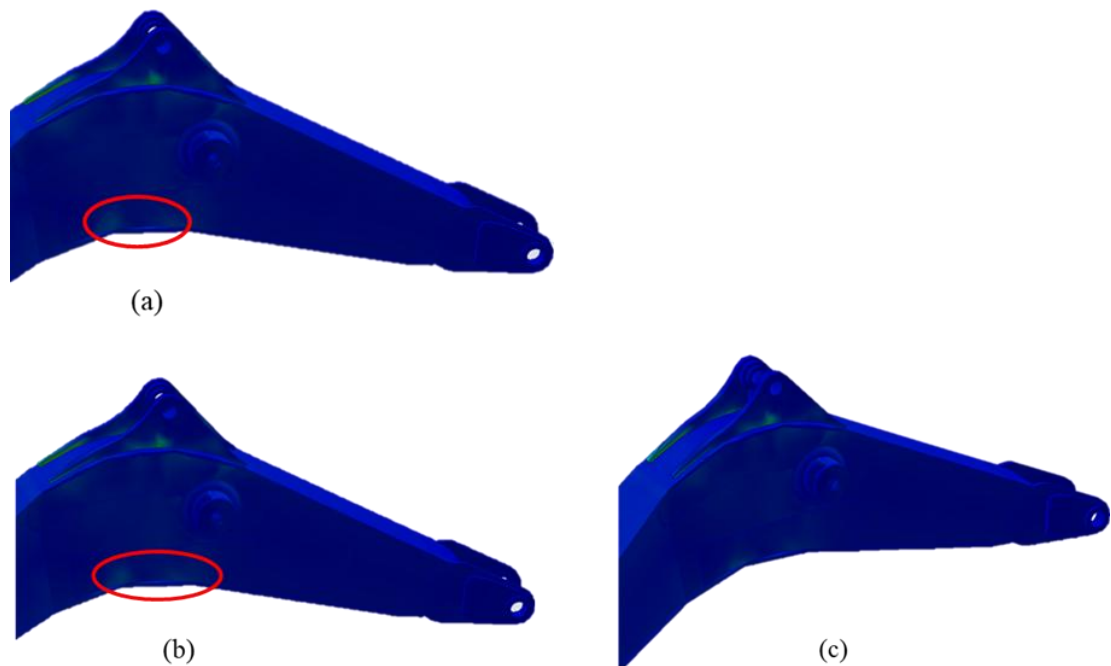
Setelah konfigurasi penguat ketiga belum mampu mereduksi tegangan yang terjadi, maka dilakukan modifikasi bentuk dengan penambahan dimensi panjang dan lebar pelat yang ditunjukkan pada Gambar 4-77.



Gambar 4-77 Konfigurasi penguat 4 di area A

Pada konfigurasi penguat keempat dilakukan simulasi dengan variasi ketebalan pelat 10 mm, 12 mm, dan 15 mm. Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi penguat keempat dengan ketebalan 15 mm dipilih sebagai desain

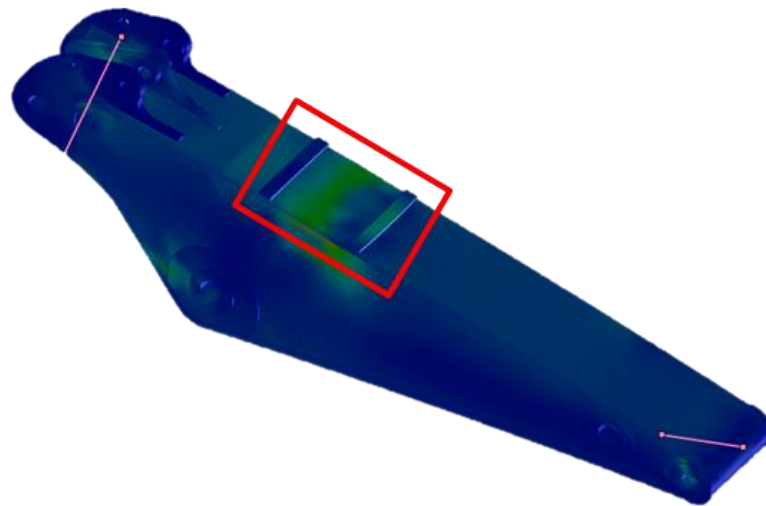
penguat pada area A, karena dapat menurunkan tegangan yang terjadi pada area tersebut. Hasil simulasi dengan menggunakan konfigurasi penguat keempat dengan variasi ketebalan ditunjukkan pada Gambar 4-78.



Gambar 4-78 Hasil simulasi penguat 4 di area A. (a) Tebal 10 mm; (b) Tebal 12 mm; (c) Tebal 15 mm

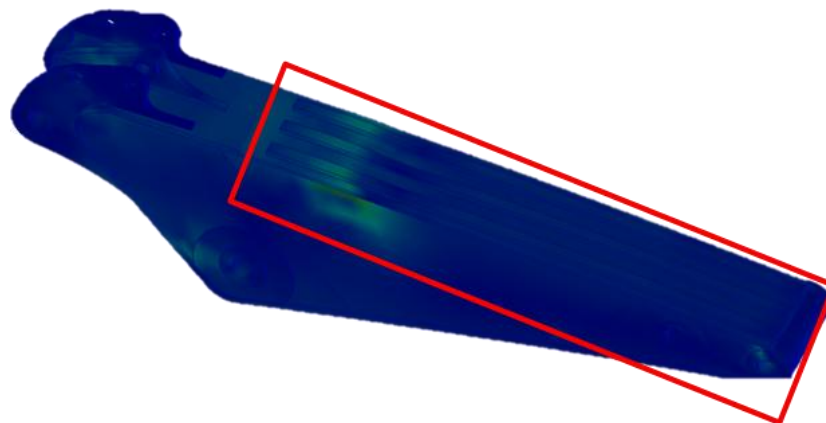
#### 4.5.2.2 Perancangan Penguat Pada *Arm*

Perancangan penguat pada komponen *arm* dilakukan berdasarkan hasil identifikasi area kritis yang ditunjukkan pada Gambar 4-63 saat *digging* dan Gambar 4-64 saat *lifting*. Proses perancangan dimulai dari kondisi *lifting*, karena distribusi tegangan yang lebih dominan dari kedua kondisi kerja tersebut. Area awal yang dianalisis adalah area O yang ditunjukkan pada Gambar 4-64. Pada area tersebut, diterapkan konfigurasi penguat pertama berupa pelat horizontal dengan dimensi  $610\text{ mm} \times 80\text{ mm}$  dan ketebalan 30 mm. Namun, hasil simulasi konfigurasi penguat pertama menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada area tersebut belum mampu direduksi yang ditunjukkan pada Gambar 4-79.



Gambar 4-79 Hasil simulasi penguat 1 di area O

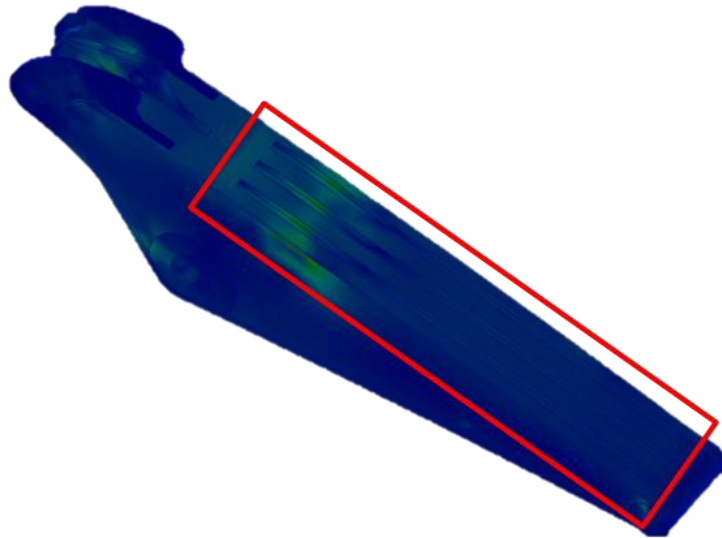
Konfigurasi penguat kedua berupa pelat vertikal yang memiliki dimensi  $3.250\text{ mm} \times 80\text{ mm}$  dengan ketebalan  $30\text{ mm}$ . Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi penguat kedua ini mampu mereduksi tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 4-80. Namun demikian, satu pelat memiliki berat  $61\text{ kg}$ , sedangkan pelat yang dibutuhkan sebanyak tiga pelat untuk mencapai hasil tersebut, sehingga total berat menjadi cukup besar. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan desain alternatif yang lebih ringan dengan efektivitas serupa.



Gambar 4-80 Hasil simulasi penguat 2 di area O

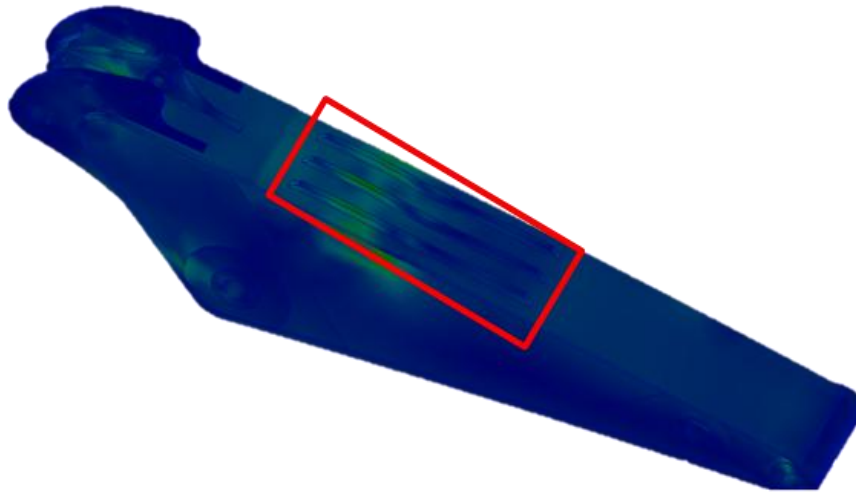
Konfigurasi penguat ketiga dengan posisi peletakan pelat yang tetap sama seperti konfigurasi penguat kedua yaitu vertikal. Namun, dilakukan modifikasi dimensi menjadi  $3.250\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ , sementara ketebalan tetap sama yaitu  $30\text{ mm}$ . Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4-81, konfigurasi

penguat ketiga menunjukkan performa yang setara dalam mereduksi tegangan dengan konfigurasi penguat kedua. Pelat ini memiliki berat sebesar 46 kg.



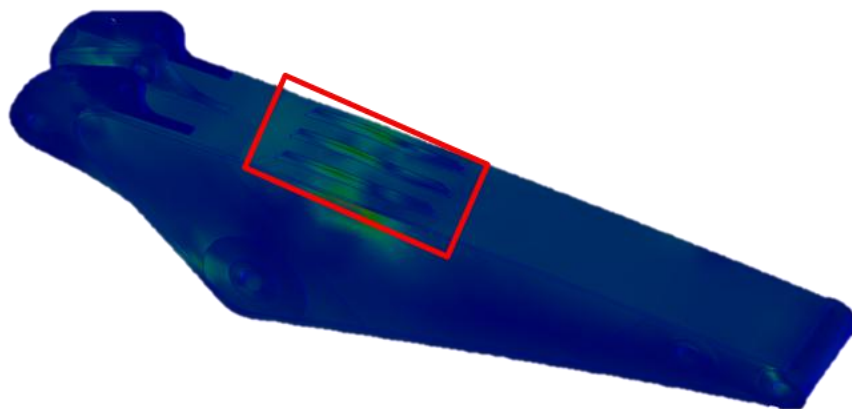
Gambar 4-81 Hasil simulasi penguat 3 di area O

Konfigurasi penguat keempat dengan dimensi  $1.500\text{ mm} \times 60\text{ mm}$  dan ketebalan 30 mm untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mereduksi tegangan yang terjadi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi ini masih mampu mereduksi tegangan yang terjadi. Hasil simulasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4-82. Penguat tersebut memiliki berat 20 kg per pelat. Penguat ini dianggap lebih efisien secara berat dan tetap memenuhi kebutuhan penguat struktur. Oleh karena itu, konfigurasi penguat keempat dijadikan sebagai acuan dalam perancangan pada area O.



Gambar 4-82 Hasil simulasi penguat 4 di area O

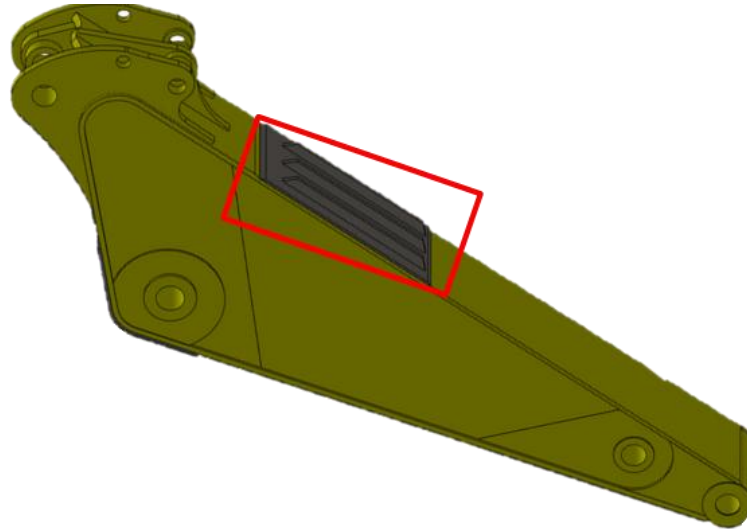
Selanjutnya, dilakukan konfigurasi penguat kelima dengan dimensi  $1.000\text{ mm} \times 60\text{ mm}$  dan ketebalan  $30\text{ mm}$ . Berdasarkan hasil simulasi, konfigurasi penguat kelima ini masih mampu mereduksi tegangan yang terjadi. Hasil simulasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4-83. Penguat tersebut memiliki berat sebesar  $13\text{ kg}$  per pelat. Konfigurasi penguat kelima dipilih sebagai desain penguat untuk diaplikasikan di area O, karena lebih efisien dari segi berat tanpa mengurangi efektivitas penguatan.



Gambar 4-83 Hasil simulasi penguat 5 di area O

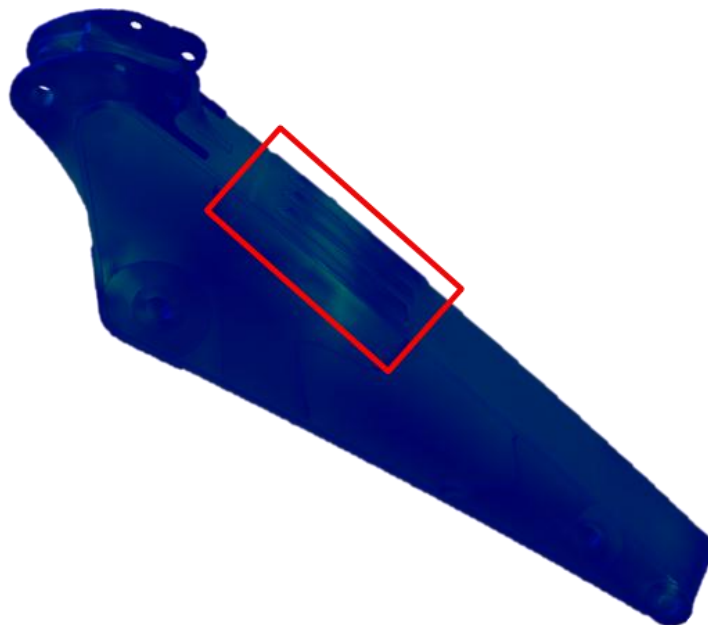
Selain menetapkan konfigurasi penguat kelima sebagai desain utama pada area tersebut, dilakukan pula simulasi konfigurasi penguat keenam dengan menggunakan pelat berukuran  $1.200\text{ mm} \times 610\text{ mm}$  dan ketebalan  $15\text{ mm}$ . Pelat

ini dirancang untuk ditempatkan di bawah penguat kelima yang ditunjukkan pada Gambar 4-84.



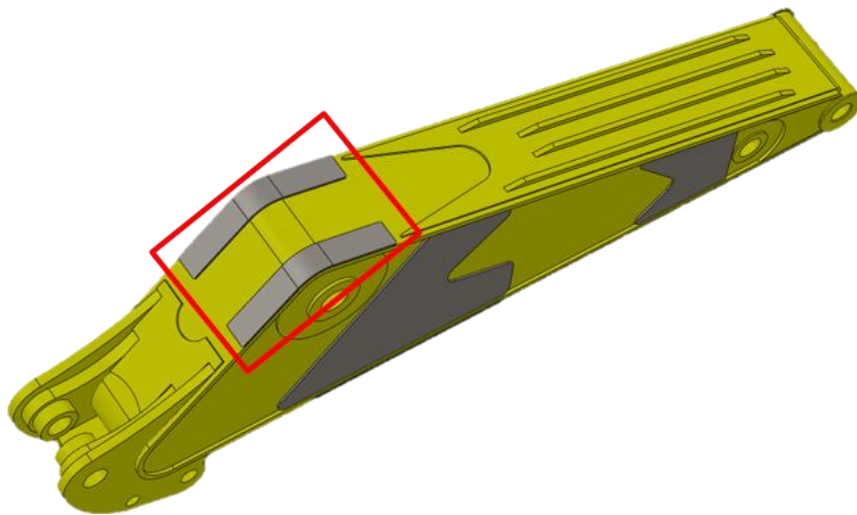
Gambar 4-84 Konfigurasi penguat 6 di area O

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi kedua pelat tersebut mampu bekerja secara sinergis dalam mereduksi tegangan pada area tersebut, sehingga memberikan penguatan struktural yang optimal. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4-85.



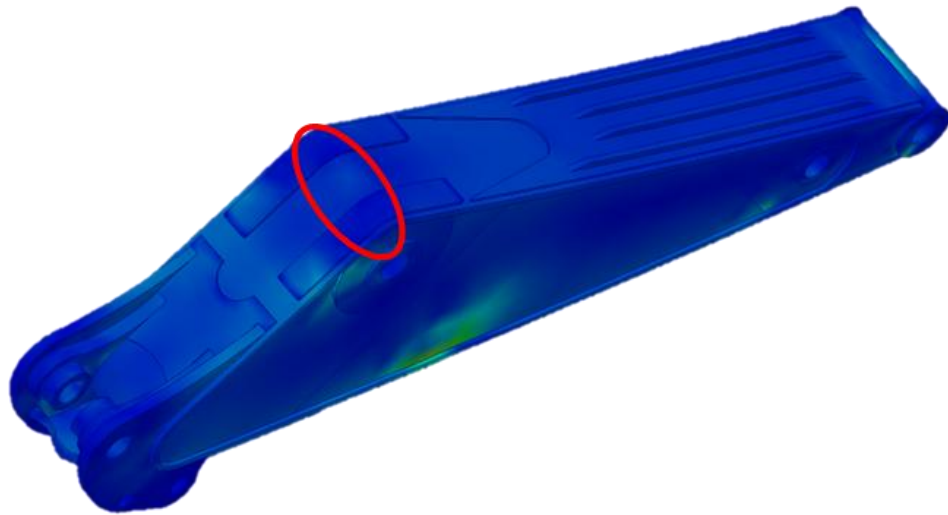
Gambar 4-85 Hasil simulasi penguat 5 dan 6 di area O

Setelah proses perancangan penguat di area O, tahap selanjutnya dilakukan pada titik K, yaitu area *boshing* pada komponen *arm* yang ditunjukkan pada Gambar 4-63. Penguatan pada area tersebut perlu dilakukan, karena berdasarkan temuan kerusakan berupa retakan yang terjadi di area tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 1-4. Konfigurasi penguat pertama dirancang dengan lebar 150 mm dan ketebalan 15 mm. Bentuk penguat tersebut menyesuaikan kontur area *boshing*. Penguat tersebut diletakkan di sisi pinggir, mengikuti posisi aktual retakan pada komponen yang ditunjukkan pada Gambar 4-86.



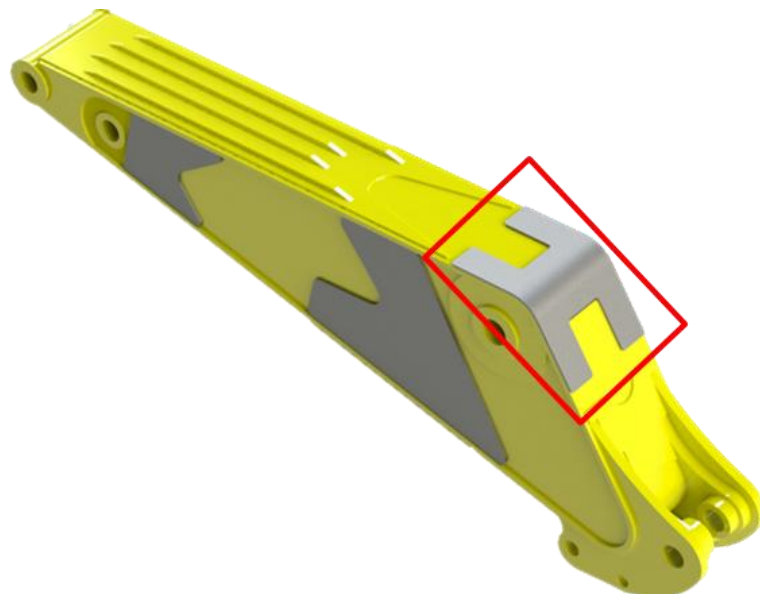
Gambar 4-86 Konfigurasi penguat 1 di area K

Namun, hasil simulasi dari konfigurasi penguat pertama menunjukkan bahwa pelat belum mampu mereduksi tegangan yang terjadi. Selain itu, muncul konsentrasi tegangan baru di sekitar area retakan yang sama, yang dapat mengindikasikan potensi terjadinya retakan lanjutan atau memperpanjang retakan yang telah terjadi apabila desain penguat tersebut tetap digunakan. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4-87.



Gambar 4-87 Hasil simulasi penguat 1 di area K

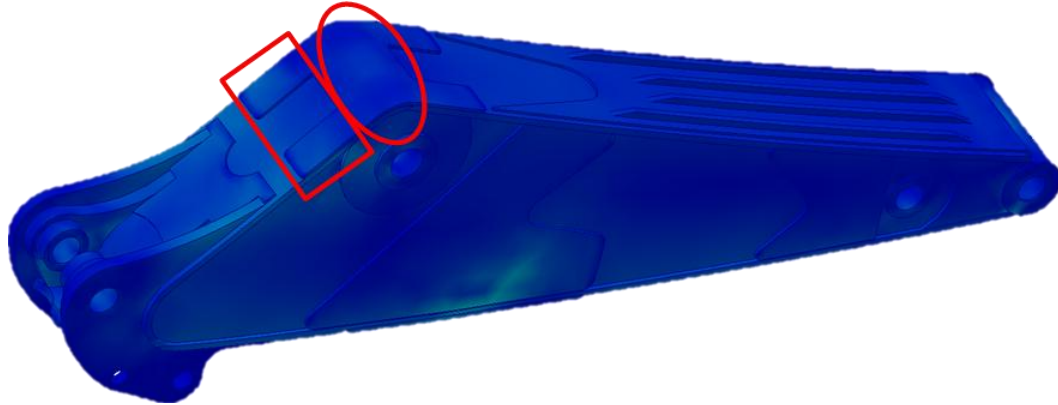
Selanjutnya dilakukan modifikasi pada pelat konfigurasi penguat pertama dengan mengubah bentuk penguat menjadi menyatu secara struktural guna tegangan dapat terdistribusikan secara merata yang ditunjukkan pada Gambar 4-88.



Gambar 4-88 Konfigurasi penguat 2 di area K

Pada konfigurasi penguat kedua dilakukan simulasi dengan berbeda ketebalan yaitu 12 mm dan 15 mm. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan dapat tereduksi pada area tersebut dan pelat tebal 12 mm mampu

mereduksi tegangan yang setara dengan pelat 15 mm. Oleh karena itu, pelat dengan ketebalan 12 mm dipilih sebagai desain penguat yang diterapkan pada area *boshing*, karena dinilai lebih efisien dari sisi berat tanpa mengurangi efektivitas penguatan struktur. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4-89.



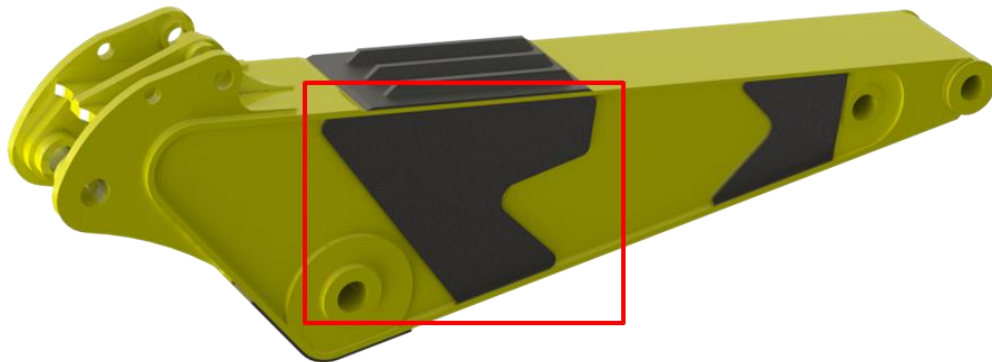
Gambar 4-89 Hasil simulasi penguat 2 di area K

Meskipun telah dilakukan penguatan, area tersebut perlu dilakukan inspeksi secara berkala guna memastikan tidak terjadi retakan baru ataupun berulang akibat tegangan terjadi.

Selanjutnya, perancangan penguat pada area N dilakukan dengan mengikuti distribusi tegangan yang terjadi dan mempertimbangkan kondisi retakan yang terjadi pada sambungan las, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-90. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dirancang pelat penguat yang menutupi area sambungan las guna meningkatkan kekuatan dan mencegah keretakan pada sambungan las yang ditunjukkan pada Gambar 4-91.

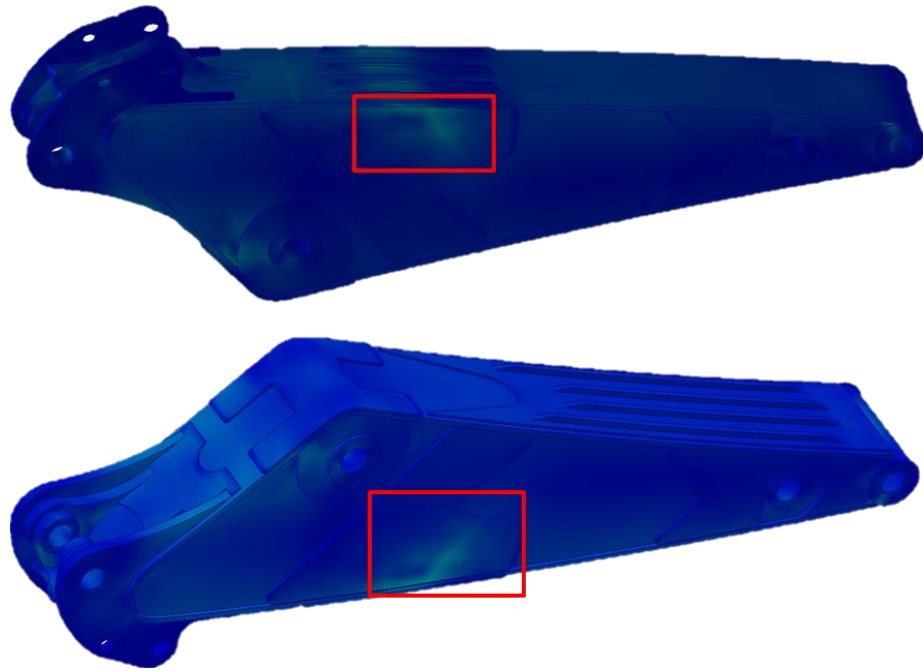


Gambar 4-90 Retakan di sambungan las pada *arm*  
(Sumber: Tim Fabrikasi *Site* RANT)



Gambar 4-91 Konfigurasi penguat 1 di area N

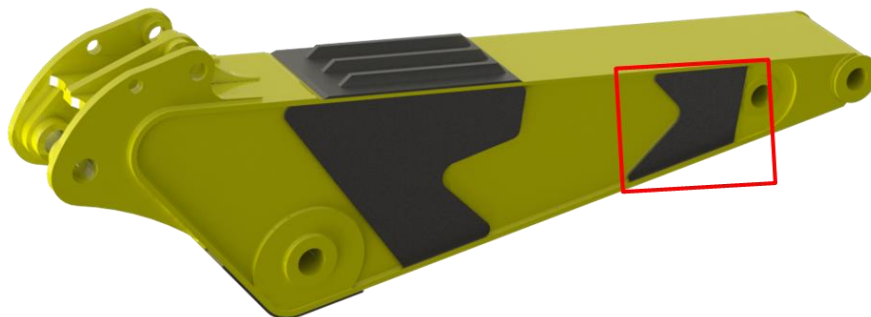
Pada konfigurasi penguat pertama dilakukan simulasi dengan berbeda ketebalan yaitu 12 mm dan 15 mm. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua ketebalan pelat mampu mereduksi tegangan terjadi. Oleh karena itu, pelat dengan ketebalan 12 mm dipilih sebagai desain penguat yang diterapkan pada area tersebut, karena dinilai lebih efisien dari sisi berat tanpa mengurangi efektivitas penguatan struktur. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4-92.



Gambar 4-92 Hasil simulasi penguat 1 di area N

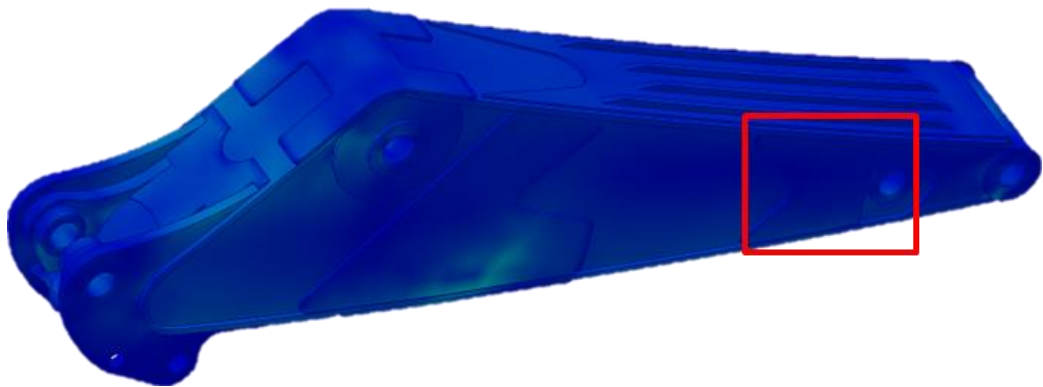
Meskipun telah dilakukan penguatan, area tersebut perlu dilakukan inspeksi secara berkala guna memastikan tidak terjadi retakan baru ataupun berulang akibat tegangan terjadi.

Setelah dilakukan perancangan penguat pada area N, selanjutnya perancangan penguat pada area M. Desain penguat di area ini dirancang mengikuti pola distribusi tegangan yang terjadi dan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang relevan (Chandra, 2017). Berdasarkan pertimbangan tersebut, konfigurasi penguat untuk area M seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-93 kemudian dilakukan simulasi dengan dua variasi ketebalan, yaitu 10 mm dan 12 mm.



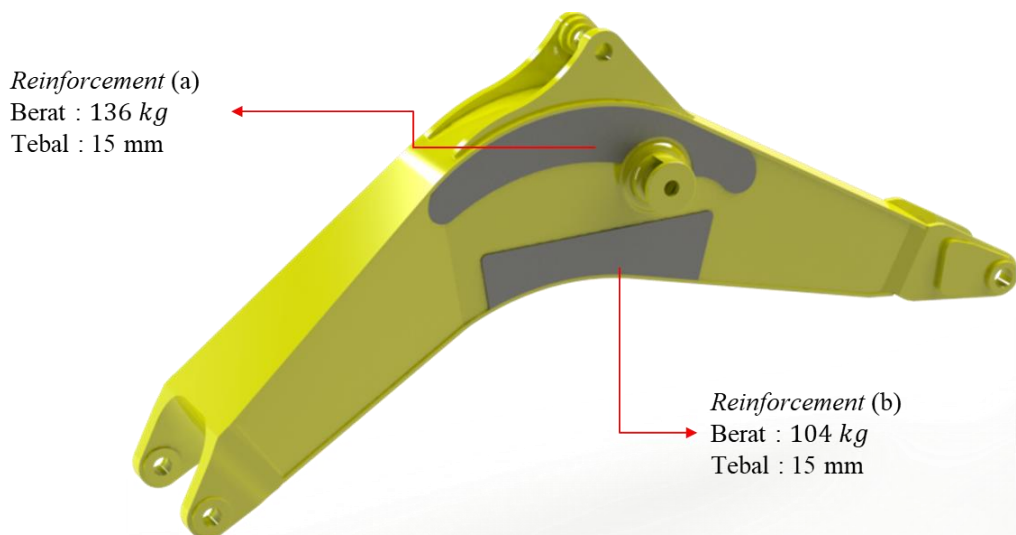
Gambar 4-93 Konfigurasi penguat di area M

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua ketebalan tersebut mampu mereduksi tegangan yang terjadi di area tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-94. Pelat dengan ketebalan 10 mm memiliki berat sebesar 22 kg, sedangkan pelat 12 mm memiliki berat sebesar 26 kg, sehingga terdapat selisih berat sebesar 4 kg. Meskipun perbedaan berat relatif kecil, pemilihan pelat dengan ketebalan 12 mm dipilih sebagai penguatan pada area M.

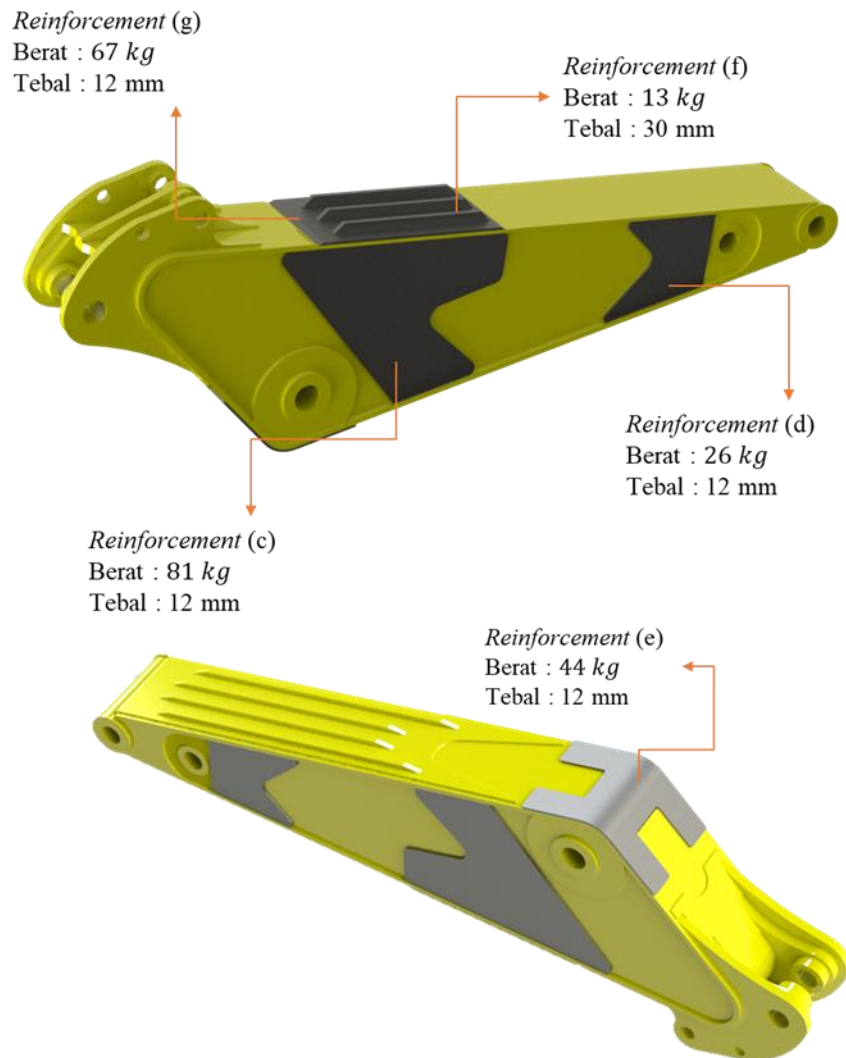


Gambar 4-94 Hasil simulasi penguat di area M

Keseluruhan desain penguat yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 4-95 untuk komponen *boom* dan Gambar 4-96 untuk komponen *arm*. Total berat dari penguat yang digunakan pada *boom* sebesar 480 kg dan *arm* sebesar 364 kg, sehingga total berat penguat *boom* dan *arm* sebesar 844 kg.

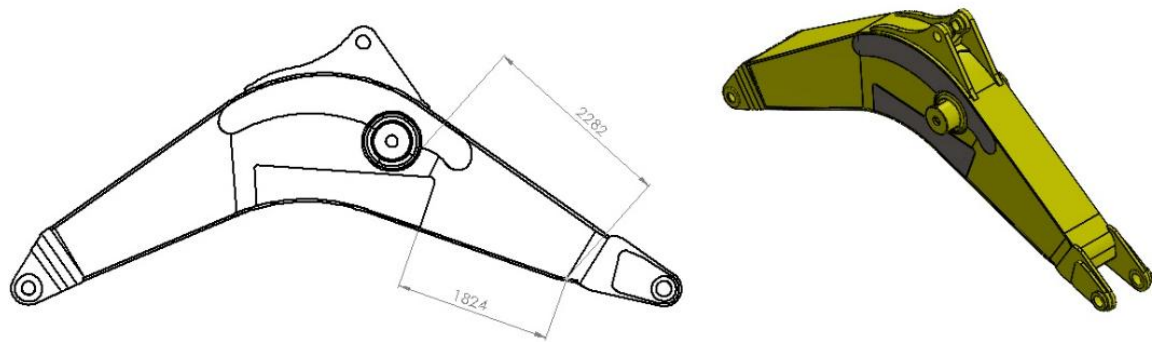


Gambar 4-95 Penguat struktur *boom*

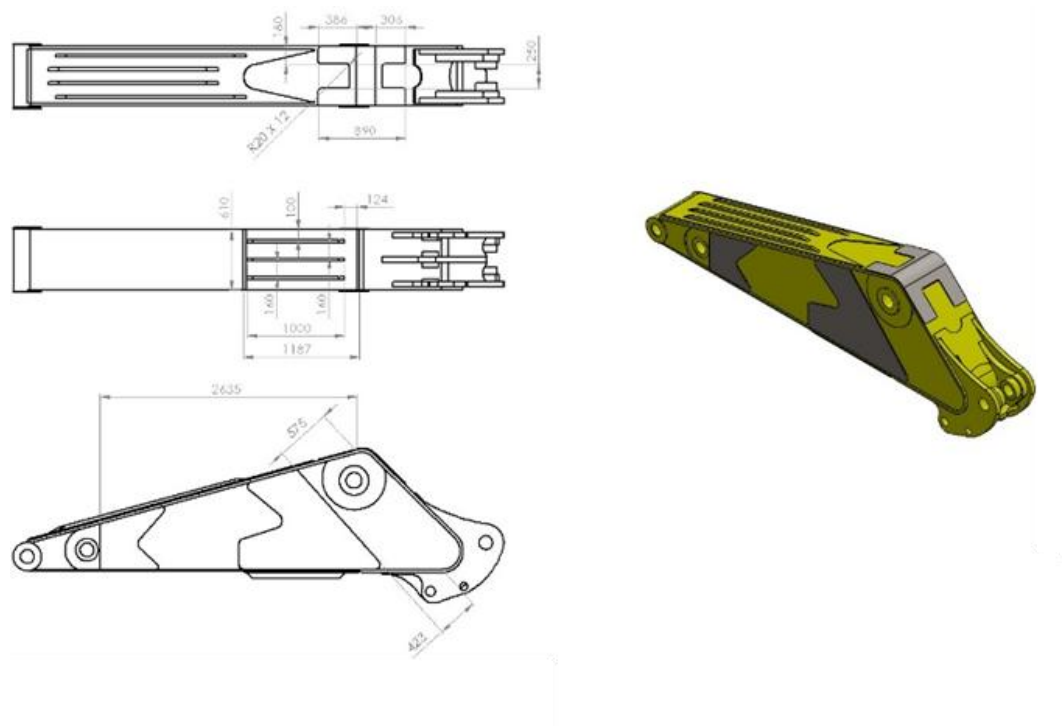


Gambar 4-96 Penguat struktur *arm*

Gambar teknik penguat pada *boom* dan *arm* ditampilkan untuk menunjukkan letak pelat penguat yang digunakan sebagai acuan dalam pemasangan pelat. Gambar 4-97 menunjukkan gambar teknik pada *boom* dan Gambar 4-98 gambar teknik pada *arm*.



Gambar 4-97 Letak pelat penguat pada *boom*



Gambar 4-98 Letak pelat penguat pada *arm*

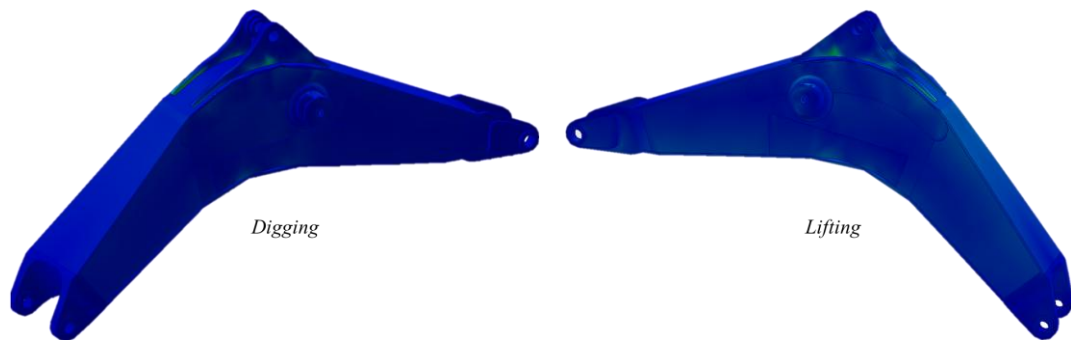
Setelah dilakukan penambahan penguat pada komponen *boom* dan *arm* di area kritis yang telah ditentukan, hasil simulasi menunjukkan adanya penurunan tegangan yang disajikan dalam Tabel 4-7.

Tabel 4-7 Perbandingan sebelum dan sesudah penguat pada komponen *boom* dan *arm* terhadap *bucket* standar dan *upsized*

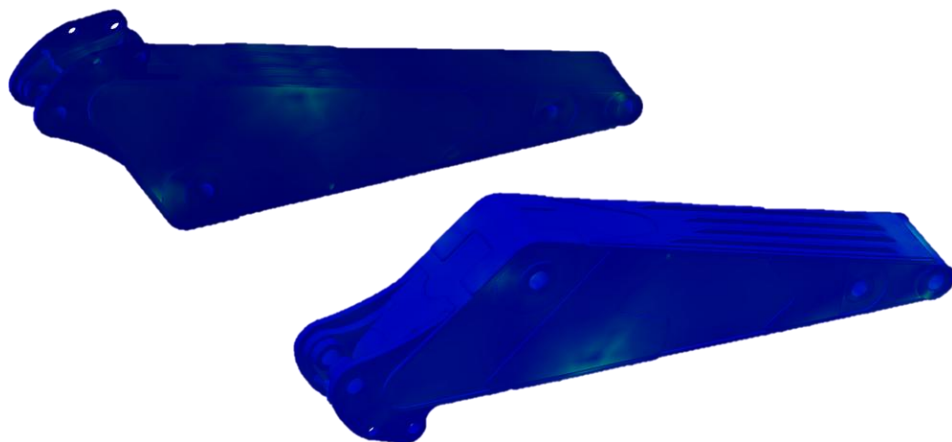
| Kondisi Kerja  | Jenis <i>Bucket</i> | Komponen    | Node  | Sebelum Penguatan | Sesudah Penguatan | %Penurunan |
|----------------|---------------------|-------------|-------|-------------------|-------------------|------------|
| <i>Digging</i> | Standar             | <i>Boom</i> | 16612 | 1.121 MPa         | 305 MPa           | 73%        |
|                |                     |             | 17839 | 3.196 MPa         | 114 MPa           | 96%        |
|                |                     |             | 17424 | 1.113MPa          | 555 MPa           | 50%        |
|                |                     | <i>Arm</i>  | 3933  | 262 MPa           | 121 MPa           | 54%        |
|                |                     |             | 11079 | 234 MPa           | 60 MPa            | 74%        |
|                |                     |             | 5053  | 140 MPa           | 61 MPa            | 57%        |
|                |                     |             | 3160  | 424 MPa           | 225 MPa           | 47%        |
|                | <i>Upsize</i>       | <i>Boom</i> | 16612 | 1.122 MPa         | 305 MPa           | 73%        |
|                |                     |             | 17839 | 3.198 MPa         | 114 MPa           | 96%        |
|                |                     |             | 17424 | 1.114 MPa         | 556 MPa           | 50%        |
|                |                     | <i>Arm</i>  | 3933  | 262 MPa           | 121 MPa           | 54%        |
|                |                     |             | 11079 | 234 MPa           | 60 MPa            | 74%        |
|                |                     |             | 5053  | 140 MPa           | 61 MPa            | 56%        |
|                |                     |             | 3160  | 424 MPa           | 225 MPa           | 45%        |
| <i>Lifting</i> | Standar             | <i>Boom</i> | 16612 | 267 MPa           | 123 MPa           | 54%        |
|                |                     |             | 17333 | 261 MPa           | 92 MPa            | 65%        |
|                |                     |             | 17515 | 153 MPa           | 85 MPa            | 44%        |
|                |                     | <i>Arm</i>  | 5099  | 317 MPa           | 196 MPa           | 38%        |
|                |                     |             | 11079 | 296 MPa           | 76 MPa            | 74%        |
|                |                     |             | 3962  | 179 MPa           | 89 MPa            | 50%        |
|                |                     |             | 3160  | 517 MPa           | 250 MPa           | 52%        |
|                | <i>Upsize</i>       | <i>Boom</i> | 17299 | 129 MPa           | 81 MPa            | 37%        |
|                |                     |             | 17334 | 264 MPa           | 99 MPa            | 63%        |
|                |                     |             | 17416 | 234 MPa           | 156 MPa           | 33%        |
|                |                     | <i>Arm</i>  | 5099  | 310 MPa           | 190 MPa           | 39%        |
|                |                     |             | 11079 | 287 MPa           | 76 MPa            | 74%        |
|                |                     |             | 3962  | 175 MPa           | 88 MPa            | 50%        |
|                |                     |             |       |                   |                   |            |

|  |  |  |      |         |         |     |
|--|--|--|------|---------|---------|-----|
|  |  |  | 3160 | 501 MPa | 243 MPa | 51% |
|--|--|--|------|---------|---------|-----|

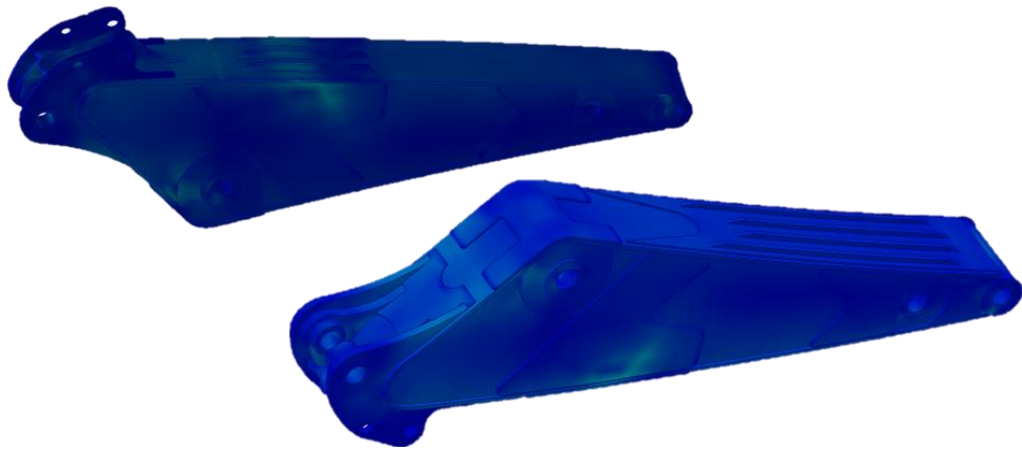
Setelah dilakukan penguatan pada struktur, nilai tegangan mengalami penurunan dari nilai sebelumnya yang melebihi kekuatan luluh material komponen. Hal ini menunjukkan bahwa perancangan penguatan yang dilakukan berhasil mereduksi konsentrasi tegangan secara efektif di sebagian besar area kritis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-99 merupakan hasil simulasi *boom* saat *digging* dan *lifting*, Gambar 4-100 merupakan hasil simulasi *arm* saat *digging*, dan Gambar 4-101 merupakan hasil simulasi *arm* saat *lifting*.



Gambar 4-99 Hasil simulasi *boom* sesudah penguatan (*digging* dan *lifting*)

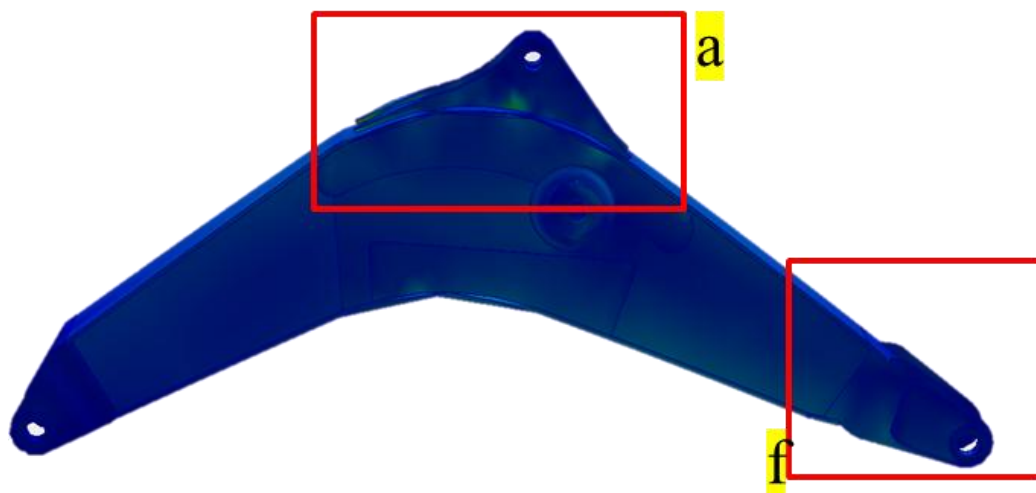


Gambar 4-100 Hasil simulasi *arm* sesudah penguatan (*digging*)

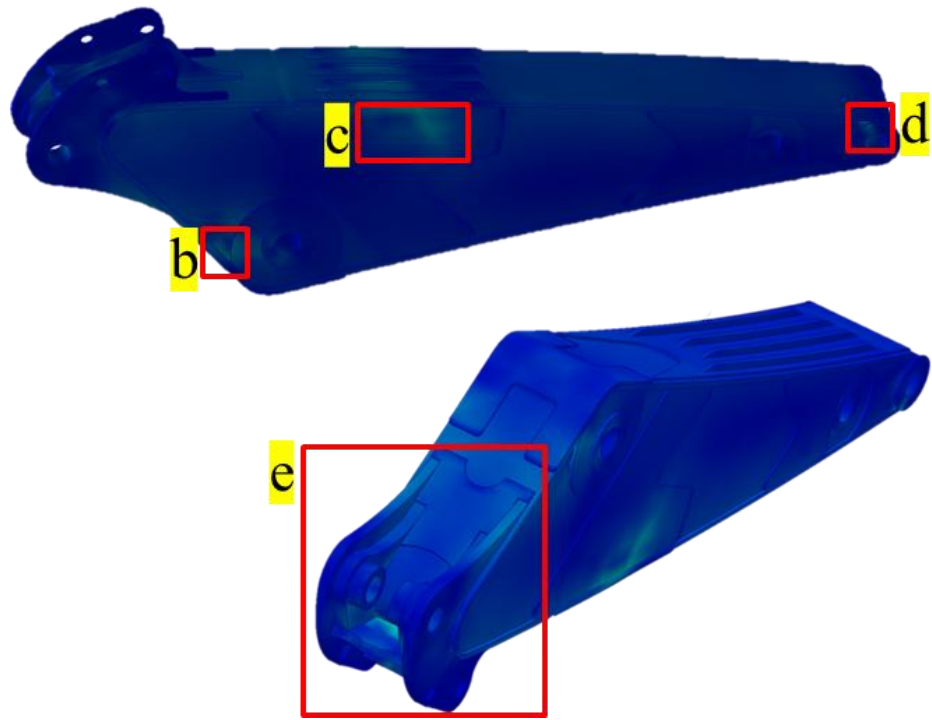


Gambar 4-101 Hasil simulasi *arm* sesudah penguatan (*lifting*)

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa area lokal yang menunjukkan konsentrasi tegangan. Terutama pada bagian *hydraulic cylinder bracket arm*, *end boom*, *seat arm*, *end arm*, *bushing*, dan sambungan pelat. Area-area ini tidak mengalami modifikasi. Oleh karena itu, untuk menjaga keandalan komponen pada saat beroperasi, maka dilakukan *preventive maintenance* (inspeksi secara berkala) pada area-area komponen *boom* dan *arm* guna mengantisipasi potensi kerusakan yang ditunjukkan pada Gambar 4-102 dan Gambar 4-103.



Gambar 4-102 Area *non reinforcement* pada boom. (a) *Hydraulic cylinder bracket arm*; (f) *End boom*



Gambar 4-103 Area *non reinforcement* pada *arm*. (b) *Boshing*; (c) Sambungan pelat; (d) *End arm*; (e) *Seat arm*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Area-area kritis pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R berhasil diidentifikasi melalui analisis distribusi tegangan dengan menggunakan simulasi perangkat lunak SolidWorks. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian dengan kondisi aktual di lapangan, di mana ditemukan retakan dan deformasi pada area yang sama, sehingga memvalidasi hasil analisis.
2. Desain penguat pada komponen *boom* dan *arm Excavator* Komatsu PC1250SP-11R dirancang berdasarkan hasil identifikasi area kritis melalui simulasi dan temuan retakan pada komponen di lapangan. Proses perancangan dilakukan melalui serangkaian konfigurasi bentuk dan variasi ketebalan pelat untuk memperoleh desain penguat yang paling efektif dalam mereduksi tegangan. Material yang digunakan adalah ASTM A36 dengan ketebalan pelat 15 mm untuk *boom*, sedangkan untuk *arm* menggunakan pelat 12 dan 30 mm. Desain disesuaikan dengan kontur komponen, proses pengelasan, dan mengacu pada ketersediaan material di lapangan.
3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain penguat mampu mereduksi tegangan yang terjadi mencapai sekitar 33% – 96% dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan penguat, baik saat *digging* maupun *lifting*. Hal ini membuktikan efektivitas dari desain penguat yang telah dibuat.

## **5.2 Saran**

Disarankan untuk mengkaji lebih lanjut area yang belum dan sudah dilakukan penguat, namun masih menunjukkan tegangan tinggi. Asumsi material komponen perlu divalidasi dan analisis dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan pembebanan dinamis, serta dampak berat penguat terhadap performa alat.

## DAFTAR PUSTAKA

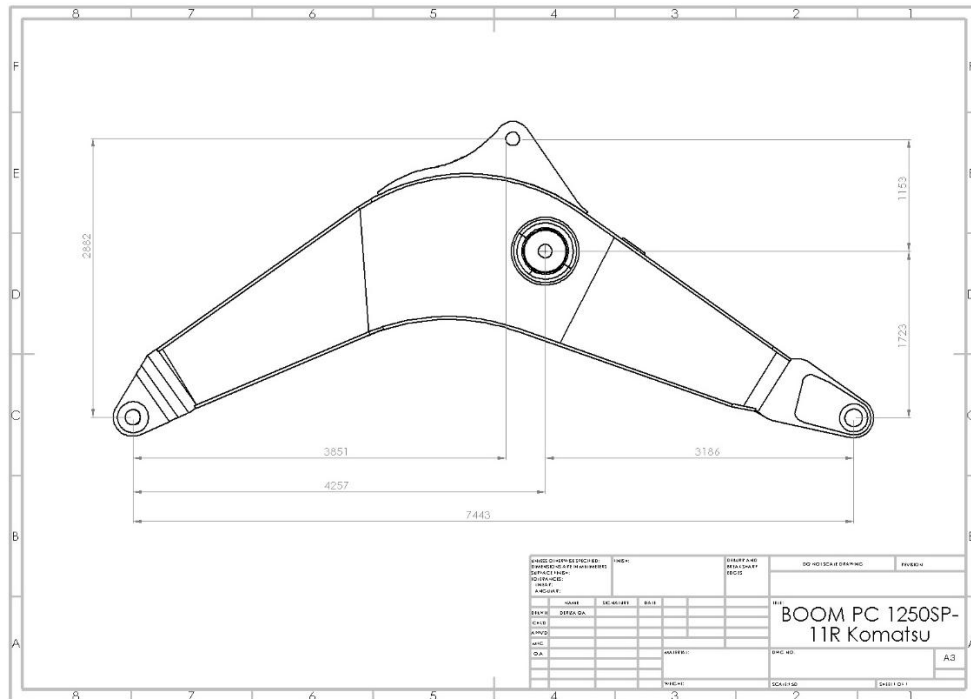
- Association, J. S. (1995). *JIS G 3160*.
- Burman, E., Hansbo, P., & Larson, M. G. (2017). *A simple approach for finite element simulation of reinforced plates* (arXiv:1706.01222). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.01222>
- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed). John Wiley & Sons.
- Chandra, I. A. (2017). *Analisis kekuatan pada desain arm excavator kelas 20 ton*.
- Fathurrahman, A., Suryo, S. H., & Muchammad. (2022). Analisis sifat mekanik dan optimalisasi struktur boom excavator VEC650BE menggunakan metode elemen hingga. *Undip E-Journal*, 10, 405.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1996). *Mechanics of material*.
- Khafidh, M. (Director). (2022). *Pertemuan 3\_tegangan dan regangan geser* [Video recording].
- Khakim, M. L. (2022). *Analisis dan optimasi desain underframe kereta langsir di PT INKA (PERSERO) menggunakan metode elemen hingga*. 28.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *Machine design*.
- Komatsu. (2021). *Shop manual PC1250-11R & PC1250SP-11R*.
- Komatsu. (2022, April). *Komatsu PC 1250SP-11R*. Komatsu.
- Laboratorium Geoteknik. (2024). *Summary of physical properties test*.
- Margaretha, C., & Ariatedja, J. B. (2020). Analisis kegagalan excavator arm pada kondisi operasi hard clay soil. *Jurnal Teknik ITS*, 9, E297.
- Meriam, J. L., & Kraige, L. G. (2012). *Engineering Mechanics Statics* (7th ed.).

- Molski, K. L., & Tarasiuk, P. (2021). Stress concentration factors for welded plate T-joints subjected to tensile, bending and shearing loads. *Materials*, 14(3), 546. <https://doi.org/10.3390/ma14030546>
- Molski, K. L., Tarasiuk, P., & Glinka, G. (2020). Stress concentration at cruciform welded joints under axial and bending loading modes. *Welding in the World*, 64(11), 1867–1876. <https://doi.org/10.1007/s40194-020-00966-4>
- Patel, B. P., Prajapati, DR. J. M., & Gadhvi, B. J. (2011). An excavation force calculations and aplications: An analytical approac. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3.
- Petrović, N., Bugarić, U., & Brkić, V. S. (2023). Reliability-based risk assessment of auxiliary machinery in open-pit mines: Case study of a hydraulic excavator. *Reserachgate*, 200–201.
- Prasetya, S., Sagala, S., & Suardi, S. (2008). *Excavator arm proses manufaktur dan pemilihan material*.
- Putra, D. A., Hisnaniah, Panjaitan, A., Firdaus, D., & Tamba, J. (2024). Analisa dan optimalisasi produktivitas Excavator Komatsu PC 1250-11R dan Dump Truck Komatsu HD785-7 di pit warute PT Bina Sarana Sukses. *Action Research Literate*, 8, 2.
- Solazzi, L., Buffoli, A., & Caresoli. (2022). *Fatigue evaluation for innovative excavator arms made of composite material*. 6–14.
- Su, D., Hou, L., Wang, S., & Bu, X. (2022). *Energy flow analysis of excavator system based on typical working condition load*.

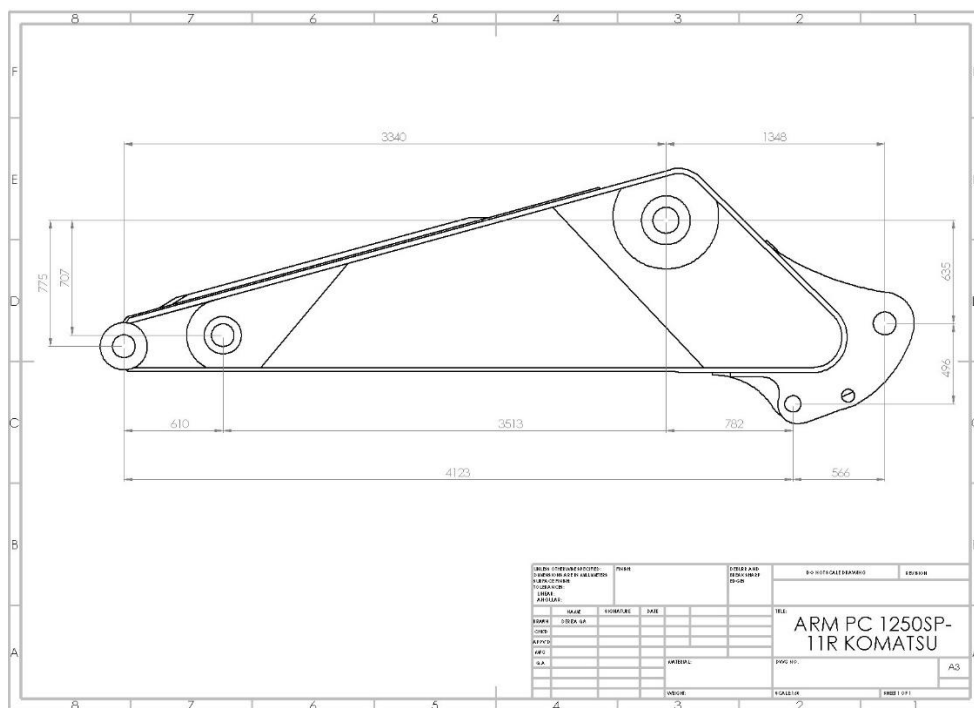
- Suryo, S. H., Hadijaya, H. S., & Fahrizal, Moch. F. (2017). *Analisis pengaruh rake angle terhadap distribusi tegangan pada excavator bucket teeth menggunakan metode elemen hingga*.
- Systemes, D. (2025). *Comparison of tresca and von mises criteria for plasticity* (Version 2025) [Computer software].
- Wijaya, A. A. (2017). *Analisis tegangan pada desain boom excavator kelas 20 ton*.
- Zhao, P., Yu, B., Wang, P., Liu, Y., & Song, X. (2023). Influence of repair welding on the fatigue behavior of S355J2 T-joints. *Materials*, 16(10), 3682. <https://doi.org/10.3390/ma16103682>

## LAMPIRAN

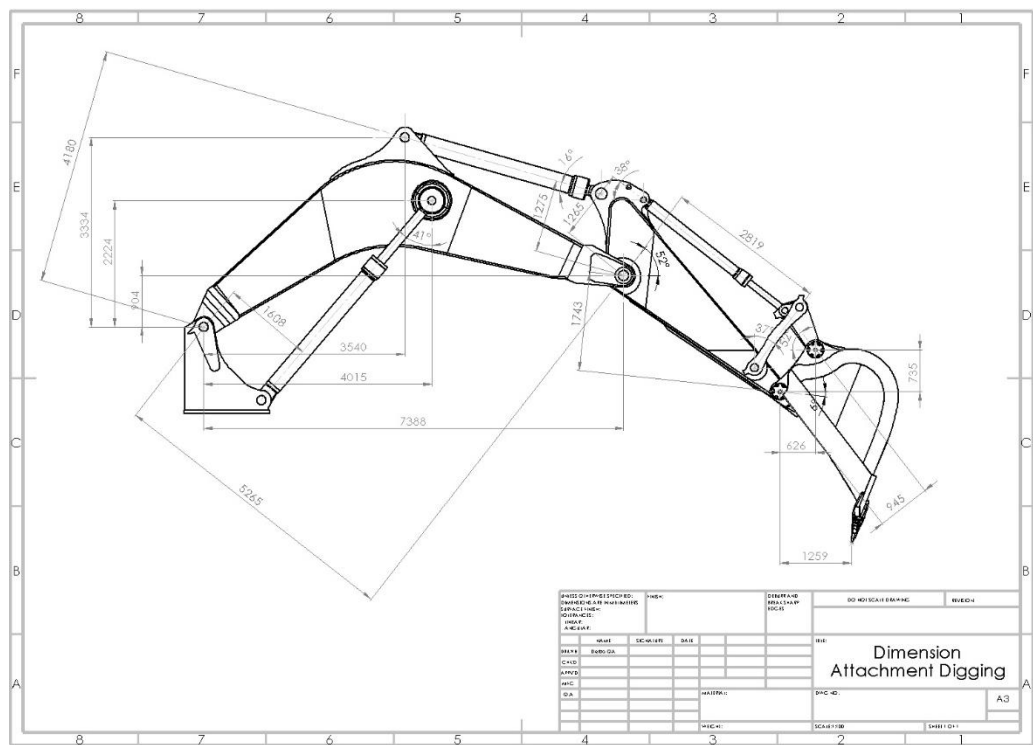
### Lampiran 1. Gambar teknik komponen *boom* Excavator Komatsu PC1250SP-11R



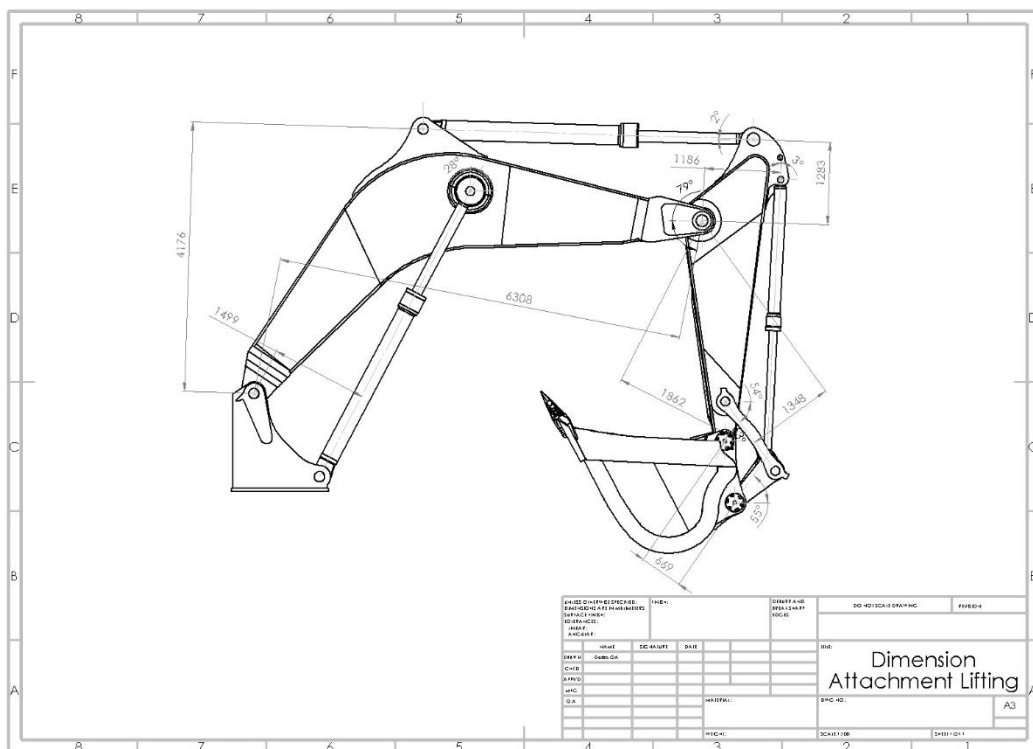
### Lampiran 2. Gambar teknik komponen *arm* Excavator Komatsu PC1250SP-11R



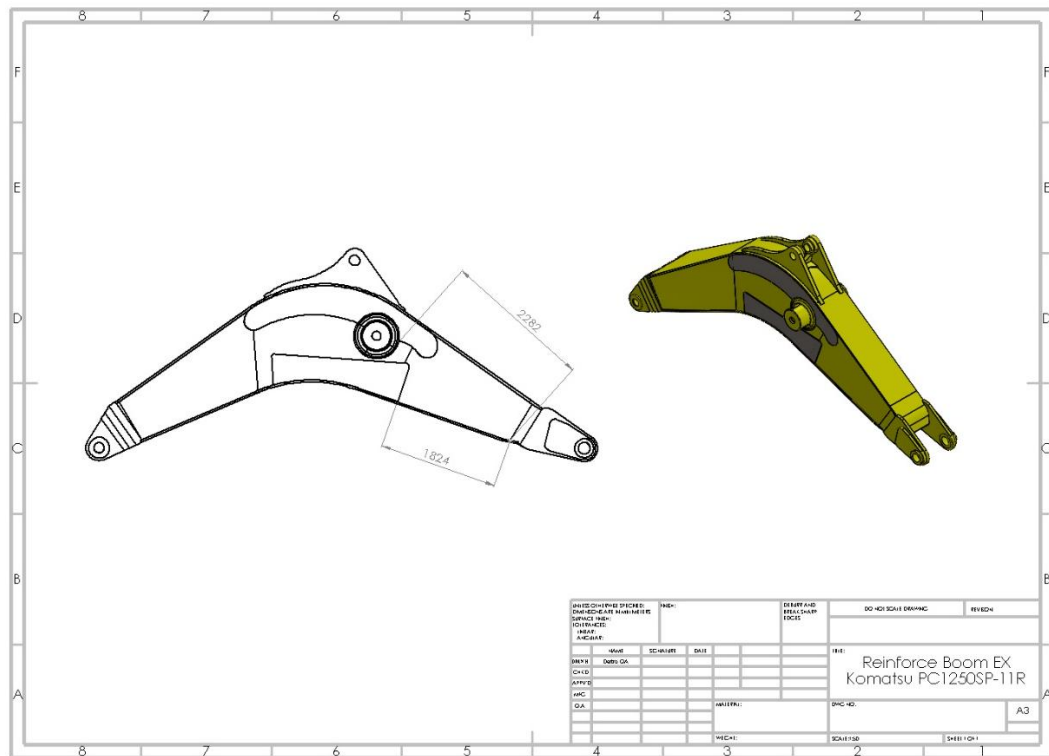
Lampiran 3. Gambar teknik komponen boom dan arm saat digging



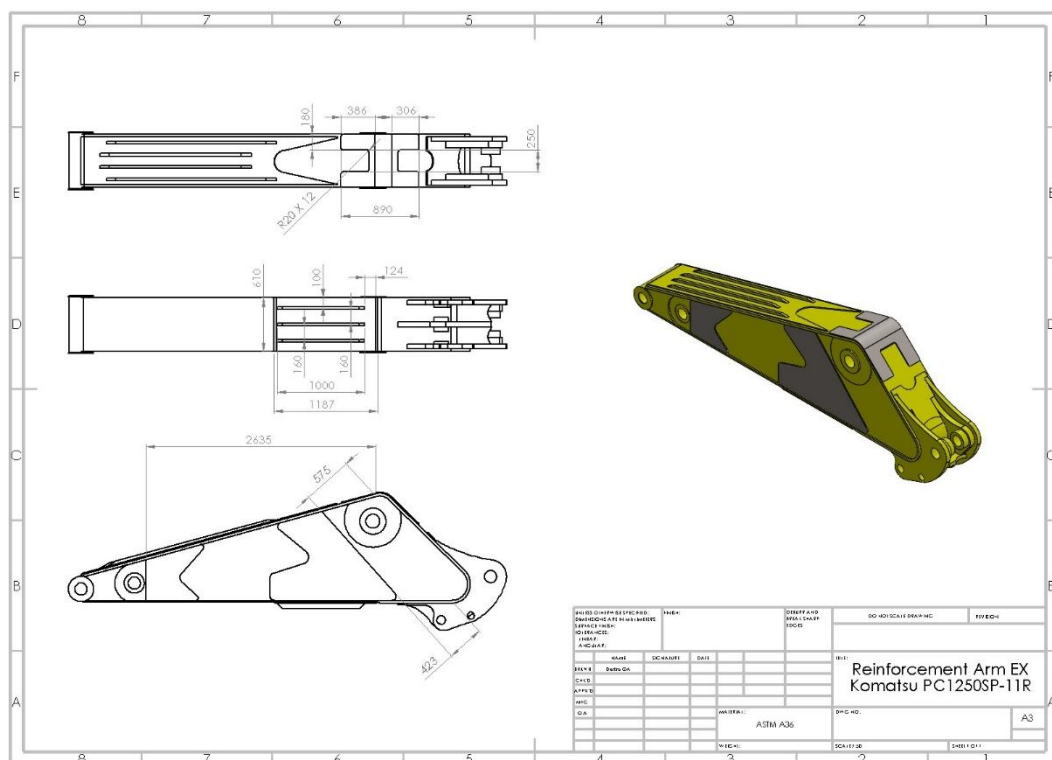
Lampiran 4. Gambar teknik komponen boom dan arm saat lifting



#### Lampiran 5. Gambar teknik letak *reinforcement* pada komponen *boom*

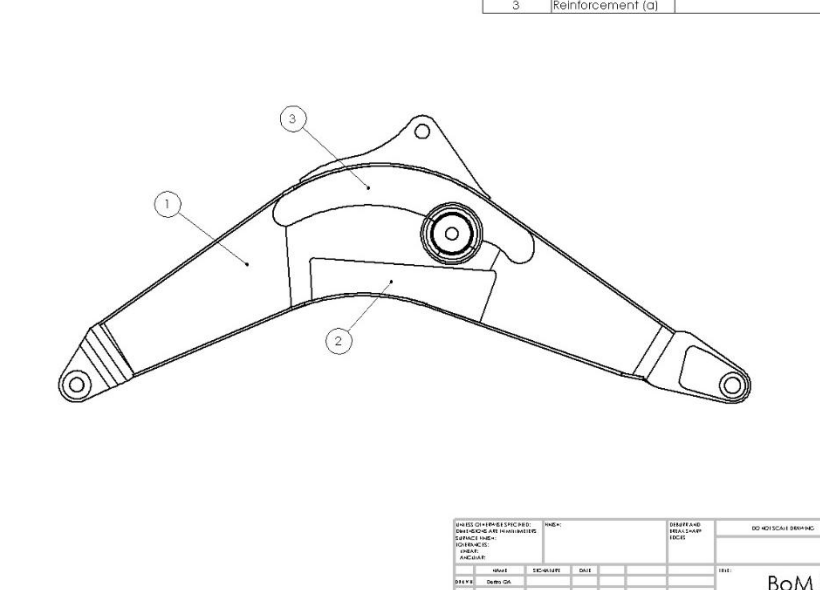


**Lampiran 6. Gambar teknik letak *reinforcement* pada komponen *arm***



## Lampiran 7. *Bill of materials boom*

| ITEM NO. | PART NUMBER       | DESCRIPTION | QTY. |
|----------|-------------------|-------------|------|
| 1        | boom              |             | 1    |
| 2        | Reinforcement (b) |             | 2    |
| 3        | Reinforcement (a) |             | 2    |

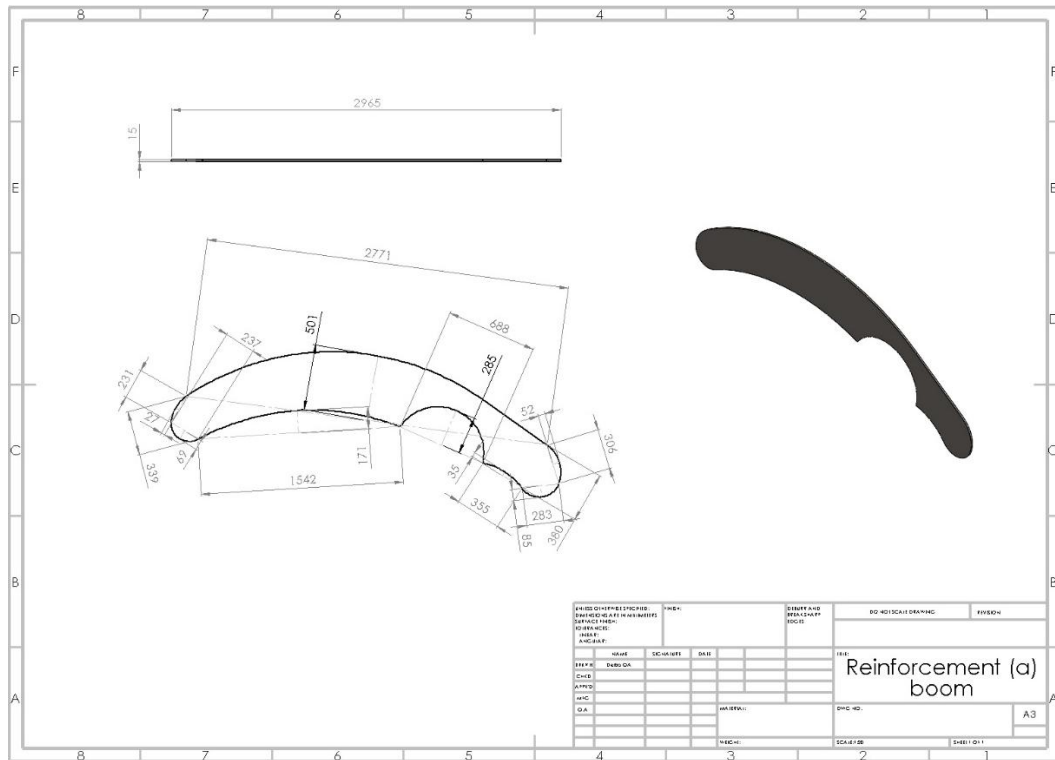


| SHEET CHANGES (SPECIFIED) |            |    |      | INDEX |            | DRAFTS AND REVISIONS |            | ISO 401 SCALE DRAWING |            | REVISED |            |
|---------------------------|------------|----|------|-------|------------|----------------------|------------|-----------------------|------------|---------|------------|
| NO.                       | DATE       | BY | CHKD | NO.   | DATE       | NO.                  | DATE       | NO.                   | DATE       | NO.     | DATE       |
| 1                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 1     | 2000-01-01 | 1                    | 2000-01-01 | 1                     | 2000-01-01 | 1       | 2000-01-01 |
| 2                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 2     | 2000-01-01 | 2                    | 2000-01-01 | 2                     | 2000-01-01 | 2       | 2000-01-01 |
| 3                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 3     | 2000-01-01 | 3                    | 2000-01-01 | 3                     | 2000-01-01 | 3       | 2000-01-01 |
| 4                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 4     | 2000-01-01 | 4                    | 2000-01-01 | 4                     | 2000-01-01 | 4       | 2000-01-01 |
| 5                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 5     | 2000-01-01 | 5                    | 2000-01-01 | 5                     | 2000-01-01 | 5       | 2000-01-01 |
| 6                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 6     | 2000-01-01 | 6                    | 2000-01-01 | 6                     | 2000-01-01 | 6       | 2000-01-01 |
| 7                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 7     | 2000-01-01 | 7                    | 2000-01-01 | 7                     | 2000-01-01 | 7       | 2000-01-01 |
| 8                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 8     | 2000-01-01 | 8                    | 2000-01-01 | 8                     | 2000-01-01 | 8       | 2000-01-01 |
| 9                         | 2000-01-01 | 1  | 1    | 9     | 2000-01-01 | 9                    | 2000-01-01 | 9                     | 2000-01-01 | 9       | 2000-01-01 |
| 10                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 10    | 2000-01-01 | 10                   | 2000-01-01 | 10                    | 2000-01-01 | 10      | 2000-01-01 |
| 11                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 11    | 2000-01-01 | 11                   | 2000-01-01 | 11                    | 2000-01-01 | 11      | 2000-01-01 |
| 12                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 12    | 2000-01-01 | 12                   | 2000-01-01 | 12                    | 2000-01-01 | 12      | 2000-01-01 |
| 13                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 13    | 2000-01-01 | 13                   | 2000-01-01 | 13                    | 2000-01-01 | 13      | 2000-01-01 |
| 14                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 14    | 2000-01-01 | 14                   | 2000-01-01 | 14                    | 2000-01-01 | 14      | 2000-01-01 |
| 15                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 15    | 2000-01-01 | 15                   | 2000-01-01 | 15                    | 2000-01-01 | 15      | 2000-01-01 |
| 16                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 16    | 2000-01-01 | 16                   | 2000-01-01 | 16                    | 2000-01-01 | 16      | 2000-01-01 |
| 17                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 17    | 2000-01-01 | 17                   | 2000-01-01 | 17                    | 2000-01-01 | 17      | 2000-01-01 |
| 18                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 18    | 2000-01-01 | 18                   | 2000-01-01 | 18                    | 2000-01-01 | 18      | 2000-01-01 |
| 19                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 19    | 2000-01-01 | 19                   | 2000-01-01 | 19                    | 2000-01-01 | 19      | 2000-01-01 |
| 20                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 20    | 2000-01-01 | 20                   | 2000-01-01 | 20                    | 2000-01-01 | 20      | 2000-01-01 |
| 21                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 21    | 2000-01-01 | 21                   | 2000-01-01 | 21                    | 2000-01-01 | 21      | 2000-01-01 |
| 22                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 22    | 2000-01-01 | 22                   | 2000-01-01 | 22                    | 2000-01-01 | 22      | 2000-01-01 |
| 23                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 23    | 2000-01-01 | 23                   | 2000-01-01 | 23                    | 2000-01-01 | 23      | 2000-01-01 |
| 24                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 24    | 2000-01-01 | 24                   | 2000-01-01 | 24                    | 2000-01-01 | 24      | 2000-01-01 |
| 25                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 25    | 2000-01-01 | 25                   | 2000-01-01 | 25                    | 2000-01-01 | 25      | 2000-01-01 |
| 26                        | 2000-01-01 | 1  | 1    | 26    | 2000-01-01 |                      |            |                       |            |         |            |

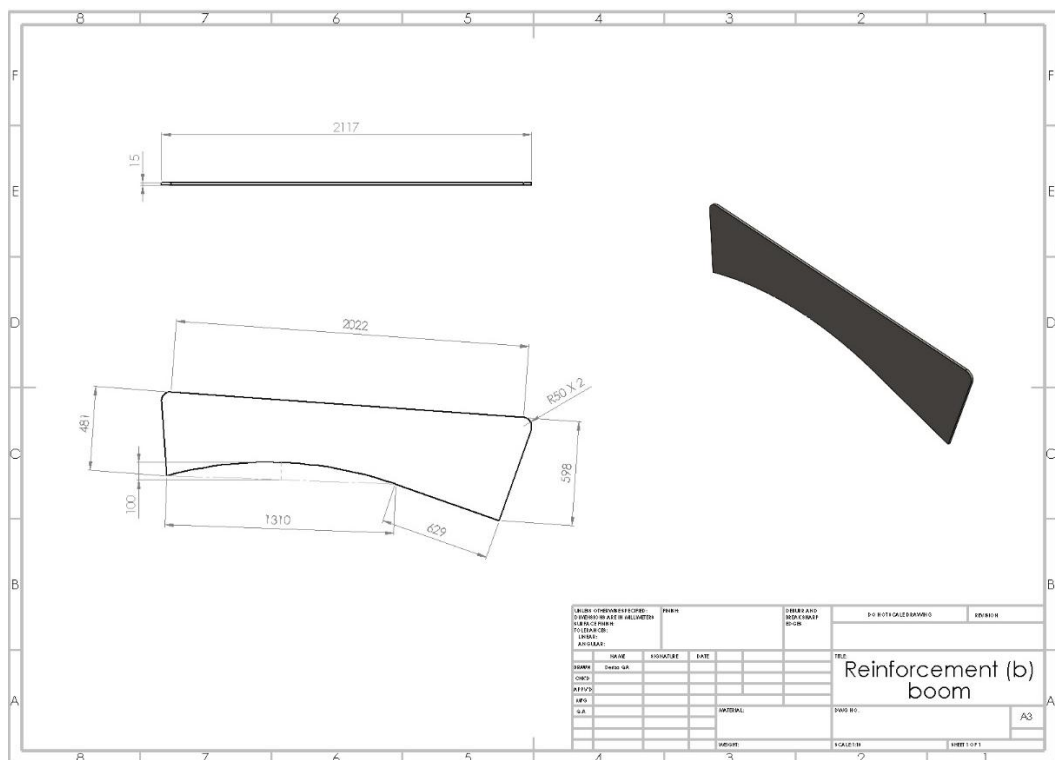
### Lampiran 8. *Bill of materials arm*

| ITEM NO. | PART NUMBER       | DESCRIPTION | QTY. |
|----------|-------------------|-------------|------|
| 1        | Arm               |             | 1    |
| 24       | Reinforcement (c) |             | 2    |
| 23       | Reinforcement (d) |             | 2    |
| 22       | Reinforcement (e) |             | 1    |
| 21       | Reinforcement (f) |             | 3    |
| 20       | Reinforcement (g) |             | 1    |

**Lampiran 9. Gambar teknik *reinforcement* (a) pada boom**



**Lampiran 10. Gambar teknik *reinforcement* (b) pada boom**

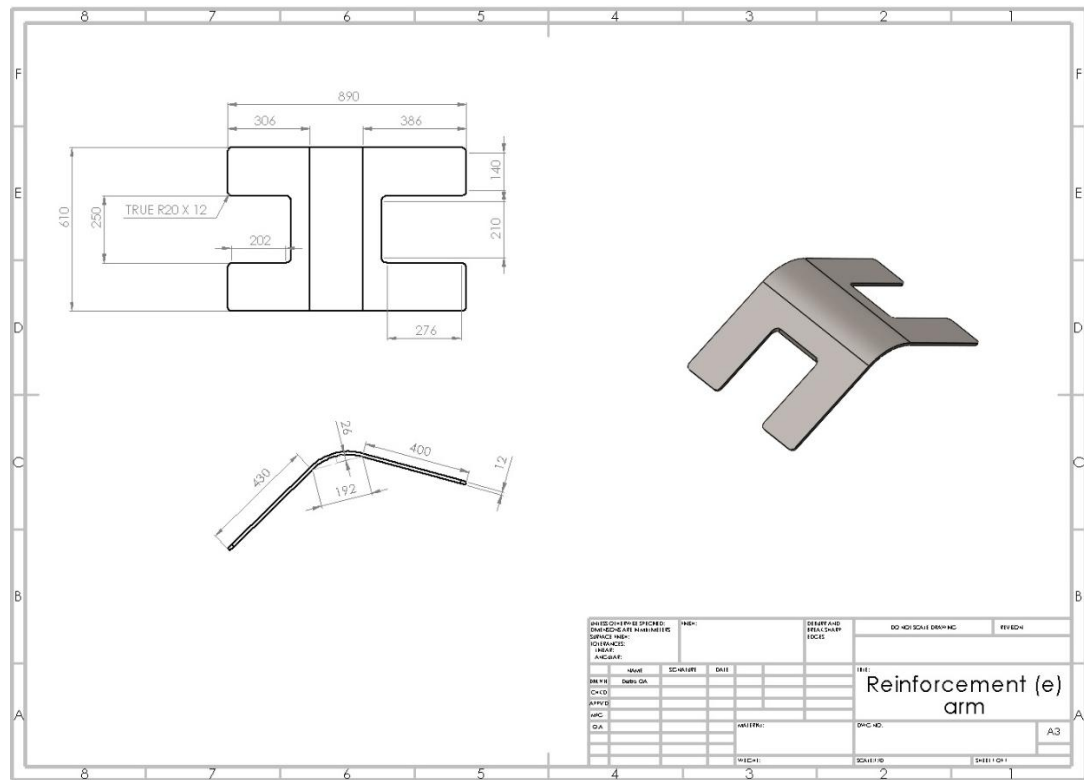


[illegible]

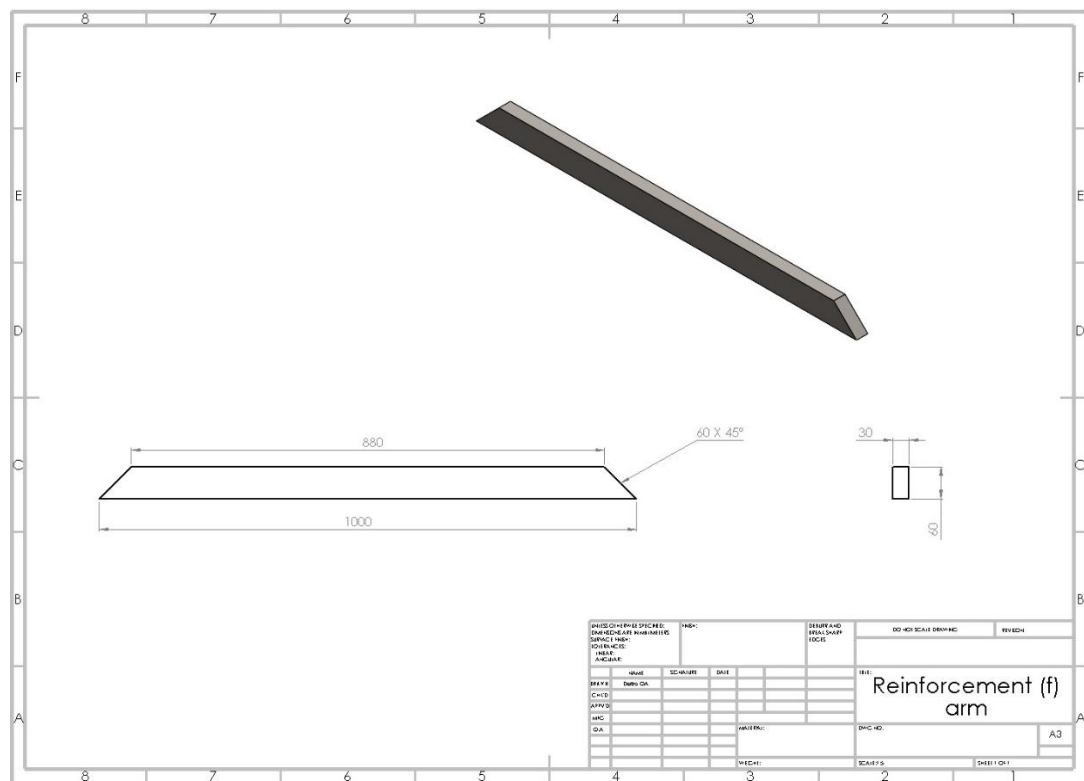
Technical drawing of a reinforcement (d) arm. The drawing includes a side view at the top showing a thickness of 12 and a length of 663. The main view is a top-down perspective of a Z-shaped arm with dimensions: 648, 23, 108, 467, 572, 113, 201, 362, and a fillet radius R30 X 2. A 3D isometric view of the part is shown to the right. A title block at the bottom right contains the following information:

|                       |  |          |  |              |  |
|-----------------------|--|----------|--|--------------|--|
| PART NAME             |  | SCALE    |  | SHEET        |  |
| REINFORCEMENT (d) ARM |  | 1:1      |  | 1 OF 1       |  |
| DATE                  |  | DRAWN BY |  | CHECKED BY   |  |
|                       |  |          |  |              |  |
| APPROVED              |  | DESIGNED |  | MANUFACTURED |  |
|                       |  |          |  |              |  |
| G.D.                  |  | MATERIAL |  | FINISH       |  |
|                       |  |          |  |              |  |
| SCALE                 |  | SHEET    |  | OF           |  |
| 1:1                   |  | 1        |  | 1            |  |

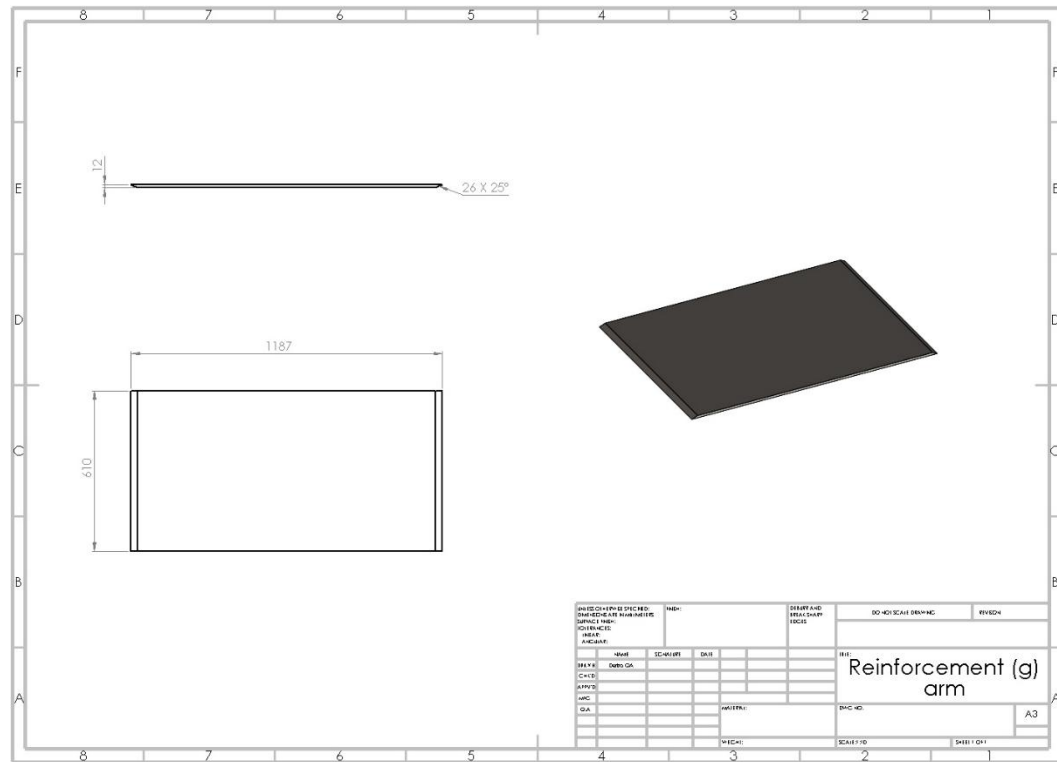
**Lampiran 12. Gambar teknik *reinforcement* (e) pada arm**



**Lampiran 13. Gambar teknik *reinforcement* (f) pada arm**



**Lampiran 14. Gambar teknik *reinforcement* (g) pada *arm***



**Lampiran 15. Berat *loading material* (*bucket upsize*)**

| Unit                         | Kode<br><i>heavy duty</i><br>(HD 785) | Jumlah<br><i>passing</i> | Berat material<br>per vessel<br>(ton) | Berat material<br>per bucket<br>(ton) |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| PC1250SP-<br>11R<br>(EX2044) | 7218                                  | 8                        | 104                                   | 13                                    |
|                              | 7290                                  | 7                        | 105                                   | 15                                    |
|                              | 7255                                  | 7                        | 102                                   | 14,6                                  |
|                              | 7218                                  | 8                        | 105                                   | 13                                    |
|                              | 7273                                  | 8                        | 110                                   | 13,7                                  |

**Lampiran 16. Berat *loading* material (*bucket* standar)**

| Unit                         | Kode<br><i>heavy duty</i><br>(HD 785) | Jumlah<br><i>passing</i> | Berat material<br>per <i>vessel</i><br>(ton) | Berat material<br>per <i>bucket</i><br>(ton) |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| PC1250SP-<br>11R<br>(EX2044) | 7291                                  | 9                        | 107                                          | 11,8                                         |
|                              | 7293                                  | 9                        | 106                                          | 11,7                                         |
|                              | 7218                                  | 9                        | 113                                          | 12,5                                         |
|                              | 7217                                  | 9                        | 110                                          | 12,2                                         |
|                              | 7113                                  | 9                        | 102,2                                        | 11,3                                         |