

**SIMULASI DESAIN KURSI RODA DENGAN FITUR BERDIRI
UNTUK PASIEN PASCA STROKE MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS WORKBENCH**

SKRIPSI



DISUSUN OLEH :

NAMA : RIZQI FATHURROHMAN

NIM : 1911108

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS 2023**

**SIMULASI DESAIN KURSI RODA DENGAN FITUR BERDIRI
UNTUK PASIEN PASCA STROKE MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS WORKBENCH**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST)

Program Studi Teknik Mesin

DISUSUN OLEH :

NAMA : RIZQI FATHURROHMAN

NIM : 1911108

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS 2023**

LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI
SIMULASI DESAIN KURSI RODA DENGAN FITUR BERDIRI
UNTUK PASIEN PASCA STROKE MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS WORKBENCH



DISUSUN OLEH :


NAMA : RIZQI FATHURROHMAN
NIM : 1911108

Malang, 09 Agustus 2023

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Mesin S-1

Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.
NIP.Y.1030400405

Diperiksa / Disetujui
Dosen Pembimbing


Sibut.ST.,MT.
NIP.Y.1030300379



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang


**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

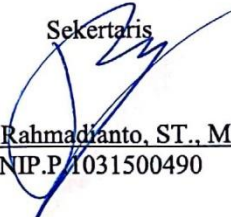
Nama : Rizqi Fathurrohman
NIM : 1911108
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul : SIMULASI DESAIN KURSI RODA DENGAN FITUR BERDIRI
UNTUK PASIEN PASCA STROKE MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS WORKBENCH

Dipertahankan di hadapan Tim Ujian Skripsi Jenjang Program Studi Strata Satu (S-1)


Hari/Tanggal : Rabu, 09 Agustus 2023
Tempat : Lab CNC dan Ruang I.2.I
Dengan Nilai : 86,25 (A)

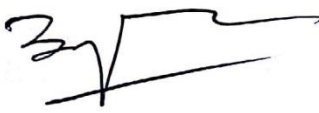
Panitia Penguji Skripsi

Ketua

Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.
NIP.Y.1030400405

Sekretaris

Febi Rahmadianto, ST., MT.
NIP.P.1031500490

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. Soeparno Djiwo, MT.
NIP.Y. 1018600128

Penguji II

Bagus Setyo Widodo, ST., M.MT.
NIP.P. 1032100599

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rizqi Fathurrohman
NIM : 1911108
Program Studi : Teknik Mesin S – 1
Fakultas : Teknologi Industri
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang
Judul : Simulasi Desain Kursi Roda Dengan Fitur Berdiri Untuk Pasien
Pasca Stroke Menggunakan Software Ansys Workbench

Menyatakan

Bahwa skripsi yang saya buat ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain serta tidak mengutip sebagian atau sepenuhnya dari karya orang lain, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan keaslian ini saya buat dengan data yang sebenarnya.

Malang, 09 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,




Rizqi Fathurrohman

NIM. 1911108

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Rizqi Fathurrohman
NIM : 1911108
Progam Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : Simulasi Desain Kursi Roda Dengan Fitur Berdiri Untuk Pasien Pasca Stroke Menggunakan Software Ansys Workbench
Dosen Pembimbing : Sibut,ST.,MT.

No.	Materi Bimbingan	Waktu Bimbingan	Paraf Dosen Pembimbing
1	Pengajuan Judul Skripsi	10 Maret 2023	
2	Konsultasi BAB I	12 Maret 2023	
3	Konsultasi BAB II	17 Maret 2023	
4	Konsultasi BAB III	23 Maret 2023	
5	Daftar Seminar Proposal	3 April 2023	
6	Seminar Proposal	4 April 2023	
7	Proses Perancangan Desain	8 April 2023	
8	Proses Simulasi Desain	15 April 2023	
9	Proses Pengambilan Data	11 Juni 2023	
10	Konsultasi BAB IV	6 Juli 2023	
11	Konsultasi BAB V	20 Juli 2023	
12	Daftar Seminar Hasil	24 Juli 2023	
13	Seminar Hasil	25 Juli 2023	
14	Daftar Ujian Sidang Akhir	04 Agustus 2023	
15	Sidang Ujian Skripsi	09 Agustus 2023	

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Rizqi Fathurrohman

NIM : 1911108


Progam Studi : Teknik Mesin S-1

Judul Skripsi : **SIMULASI DESAIN KURSI RODA DENGAN FITUR BERDIRI
UNTUK PASIEN PASCA STROKE MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS WORKBENCH**

Dosen Pembimbing : Sibut,ST.,MT.


Tanggal Pengajuan Skripsi : 10 Maret 2023

Tanggal Penyelesaian Skripsi : 9 Agustus 2023

Telah Diselesaikan Dengan Nilai : 

Diperiksa / Disetujui

Dosen Pembimbing


Sibut.ST.,MT.
NIP.Y.1030300379

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya. Saya sebagai mahasiswa Progam Studi Teknik Mesin S-1 yang menempuh tugas akhir atau skripsi di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam melaksanakan tugas skripsi ini, penulis banyak mengalami hambatan-hambatan dalam proses penyusunannya. Oleh karena itu, penulis banyak mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan dan bimbingan dari :

1. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang,
2. Bapak Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang,
3. Bapak Dr. I Komang Astana Widi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
4. Bapak Sibut, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi, Progam Studi Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
5. Bapak Dosen Penguji I dan Penguji II Progam Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
6. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan baik melalui doa maupun kebutuhan finansial penulis
7. Dan rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin S-1 yang telah banyak membantu terkait dengan penyusunan skripsi maupun dalam penelitian.

Saya berharap dengan membaca skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka penulis mengharapkan kritik dan saran dari Bapak/Ibu Dosen demi kebaikan menuju ke arah yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi pembaca dalam melakukan penelitian dan studi.

Malang, 09 Agustus 2023

Penulis



Rizqi Fathurrohman

SIMULASI DESAIN KURSI RODA DENGAN FITUR BERDIRI UNTUK PASIEN PASCA STROKE MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS WORKBENCH

Rizqi Fathurrohman¹⁾ Sibut²⁾ Rosadila Febritasari³⁾

Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur
Email : rohmanrizqi9@gmail.com

ABSTRAK

Kursi roda merupakan suatu alat bantu yang digunakan oleh orang yang memiliki keterbatasan dalam bergerak seperti salah satu contoh yaitu pasien pasca stroke. Seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat maka kursi roda telah dikembangkan menjadi kursi roda dengan fitur berdiri dengan tujuan supaya pengguna merasakan sensasi layaknya orang normal. Melalui penelitian kali ini dilakukan perancangan desain kursi roda menggunakan CAD software yaitu *Solidworks 2018*. Material yang digunakan dalam perancangan desain kursi roda yaitu menggunakan material *stainless steel* tipe 316L yang kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan software *ANSYS Workbench* untuk mendapatkan parameter distribusi tegangan, total deformasi, dan faktor keamanan. Dari hasil pengujian terhadap rangka kursi roda fitur berdiri telah didapatkan nilai *equivalent stress* maksimal sebesar 178,39 MPa, nilai *equivalent stress* minimal sebesar 1,2979e-004 MPa, dan nilai *equivalent stress* rata-rata sebesar 2,7962 MPa. Nilai *total deformation* maksimal sebesar 1,4952 mm, nilai *total deformation* minimal sebesar 0 mm dan nilai *total deformation* rata-rata sebesar 0,30354 mm. Nilai *safety factor* maksimal sebesar 15, nilai *safety factor* minimal sebesar 1,1492 dan nilai *safety factor* rata-rata sebesar 14,946. Maka dapat disimpulkan bahwa simulasi dari rangka kursi roda fitur berdiri masih berada pada tahap aman karena hasil simulasi indikasi warna merah hampir tidak tampak.

Kata kunci : Kursi roda, *ANSYS workbench*, Fitur berdiri, pasien pasca stroke

DESIGN SIMULATION OF WHEELCHAIR WITH STANDING FEATURE FOR POST-STROKE PATIENTS USING ANSYS WORKBENCH SOFTWARE

Rizqi Fathurrohman¹⁾ Sibut ²⁾ Rosadila Febritasari ³⁾

Mechanical Engineering S-1, National Institute of Technology Malang
Jl. Raya KarangloKM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Malang City, East Java
Email : rohmanrizqi9@gmail.com

ABSTRACT

A wheelchair a tool used by people who have limitations in movement such as, one example, post-stroke patients. Along with the rapid development of technology, wheelchairs have been developed into wheelchairs with standing features with the aim that users feel the sensation like normal people. This study designs a wheelchair design using CAD software, namely Solidworks 2018. The material used in the designing the wheelchair design is 316L type stainless steel, which is then simulated using ANSYS Workbench software to obtain stress distribution parameters, total deformation, and safety factors. From the test results of the standing feature wheelchair frame, the maximum equivalent stress value of 178.39 MPa, the minimum equivalent stress value is 1.2979e-004 MPa, and the average equivalent stress value is 2.7962 MPa. The maximum total deformation value is 1.4952 mm, the minimum total deformation value is 0 mm and the average total deformation value is 0.30354 mm. The maximum safety factor value is 15, the minimum safety factor value is 1.1492 and the average safety factor value is 14.946. It can be concluded that the simulation of the standing feature wheelchair frame is still at a safe stage because the simulation results of the red color indication are almost not invisible.

Keywords : Wheelchair, Ansys workbench, Standing feature, post stroke-patient

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI	v
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metode Pengumpulan Data	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Desain.....	8
2.3 Kursi Roda.....	10
2.3.1 Komponen Kursi Roda	11
2.3.2 Jenis – Jenis Kursi Roda	12

2.4	Karakteristik Rangka Kursi Roda	14
2.5	Tegangan Pada Rangka	14
2.6	Daya Motor	15
2.7	Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	16
2.8	Penggunaan Material	16
2.9	<i>Stainless Steel</i>	17
2.10	Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Analysis</i>)	17
2.11	<i>Solidworks</i>	18
2.12	<i>ANSYS Workbench</i>	18
2.13	Proses <i>Meshing</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		22
3.1	Diagram Alir Penelitian	22
3.2	Penjelasan Diagram Alir Penelitian	23
3.2.1	Studi Literatur dan Lapangan	24
3.2.2	Desain Rangka Kursi Roda Fitur Berdiri	25
3.2.3	Penentuan Material Rangka	25
3.2.4	Penentuan Variabel	26
3.2.5	<i>Pre-Processing</i>	27
3.2.6	<i>Simulation Processing</i>	27
3.2.7	<i>Post-Processing</i>	28
3.2.8	Analisis Data dan Pembahasan	29
3.2.9	Kesimpulan dan Saran	29
3.3	Perangkat Penelitian	29
3.4	Tempat dan Waktu	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Proses Perancangan Desain	32

4.1.1	Desain Rangka 2D Kursi Roda Posisi Duduk.....	33
4.1.2	Desain Rangka 2D Kursi Roda Posisi 45°	31
4.1.3	Desain Rangka 2D Kursi Roda Posisi Berdiri	34
4.1.4	<i>Design Of Assembly</i>	35
4.2	Pemberian Beban/Load	37
4.2.1	Berat Pengendara	39
4.2.2	Berat Komponen Rangka	41
4.2.3	Perhitungan Beban Rangka.....	42
4.3	Simulasi Metode Elemen Hingga.....	42
4.3.1	Proses pemograman simulasi.....	43
4.4	Parameter yang dihasilkan	49
4.4.1	Simulasi kursi roda posisi duduk	49
4.4.2	Simulasi kursi roda posisi 45°	51
4.4.3	Simulasi kursi roda posisi berdiri.....	53
4.5	Hasil Simulasi	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan proses desain teknik.....	8
Gambar 2.2 Komponen kursi roda.....	11
Gambar 2.3 Kursi roda manual.....	12
Gambar 2.4 Kursi roda elektrik.....	13
Gambar 2.5 Kursi roda olahraga.....	13
Gambar 2.6 Kursi roda dengan fitur berdiri.....	14
Gambar 2.7 Logo <i>ANSYS Workbench</i>	19
Gambar 2.8 Proses <i>Meshing</i>	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 3.2 Rangka kursi roda fitur berdiri menggunakan <i>software Solidwork 2018</i>	25
Gambar 3.3 <i>Stainless steel</i>	25
Gambar 3.4 Laptop.....	29
Gambar 3.5 Tampilan <i>software Solidworks</i>	30
Gambar 3.6 Tampilan <i>software ANSYS Workbench</i>	30
Gambar 3.7 Laboratorium Komputer ITN Malang.....	31
Gambar 4. 1 Desain 3D kursi roda.....	32
Gambar 4. 2 Dimensi rangka kursi roda posisi duduk.....	33
Gambar 4. 3 Dimensi rangka kursi roda posisi 45°.....	33
Gambar 4. 4 Dimensi rangka kursi roda posisi berdiri.....	34
Gambar 4. 5 Rangka kursi roda dan <i>Armrest</i> sesudah di <i>Assembly</i>	35
Gambar 4. 6 Desain hidrolis sesudah di <i>Assembly</i>	35
Gambar 4. 7 Desain roda depan sesudah di <i>Assembly</i>	36
Gambar 4. 8 Bantalan pada kursi roda sesudah di <i>Assembly</i>	36
Gambar 4. 9 Titik pembebanan rangka kursi roda posisi duduk.....	38
Gambar 4. 10 Titik pembebanan rangka kursi roda posisi 45°.....	39
Gambar 4. 11 Titik pembebanan pada rangka kursi roda posisi berdiri.....	40
Gambar 4. 12 <i>Mass properties</i> rangka <i>Stainless steel 316L</i>	41
Gambar 4. 13 Tampilan awal progam <i>ANSYS Workbench</i>	43
Gambar 4. 14 Tampilan <i>Geometry</i> menggunakan <i>Design Modeler</i>	44
Gambar 4. 15 Tampilan <i>Meshing</i> pada rangka.....	45
Gambar 4. 16 Tampilan <i>Mesh</i> secara <i>Zoom in</i>	45

Gambar 4. 17 Tampilan <i>Mesh Zoom in</i> tampak samping	46
Gambar 4. 18 Letak pembebanan pada kursi roda duduk.....	46
Gambar 4. 19 Letak pembebanan pada kursi roda 45°	47
Gambar 4. 20 Letak pembebanan pada kursi roda berdiri	48
Gambar 4. 21 Data nilai distribusi tegangan rangka kursi roda duduk.....	49
Gambar 4. 22 Data nilai total deformasi rangka kursi roda duduk	50
Gambar 4. 23 Data nilai faktor keamanan rangka kursi roda duduk	50
Gambar 4. 24 Data nilai distribusi tegangan rangka kursi roda berdiri 45° derajat.....	51
Gambar 4. 25 Data nilai total deformasi rangka kursi roda berdiri 45° derajat	52
Gambar 4. 26 Data nilai faktor keamanan rangka kursi roda berdiri 45° derajat.....	52
Gambar 4. 27 Data nilai distribusi tegangan rangka kursi roda berdiri	53
Gambar 4. 28 Data nilai total deformasi rangka kursi roda berdiri	54
Gambar 4. 29 Data nilai faktor keamanan rangka kursi roda berdiri.....	54
Gambar 4. 30 Deformasi maksimum	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi <i>Stainless steel 316L</i>	18
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik <i>Stainless steel 316L</i>	18
Tabel 3. 1 Ukuran pipa <i>Stainless steel</i>	26
Tabel 4. 1 Tabel Estimasi Setiap <i>Segment Massa</i>	37
Tabel 4. 2 Berat Komponen Kursi Roda.....	41
Tabel 4. 3 Nilai titik pembebanan kursi roda posisi duduk.....	47
Tabel 4. 4 Nilai titik pembebanan kursi roda posisi 45°	47
Tabel 4. 5 Nilai titik pembebanan kursi roda posisi berdiri.....	48
Tabel 4. 6 Data hasil simulasi ke-1	55
Tabel 4. 7 Data hasil simulasi ke-2	55
Tabel 4. 8 Data hasil simulasi ke-3	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat ini, kursi roda telah dikembangkan menjadi kursi roda dengan fitur berdiri. Tujuan dari penambahan fitur berdiri ini supaya pengguna dapat berdiri atau meraih benda yang lebih tinggi dari posisi duduknya. Perancangan produk kursi roda dari waktu ke waktu terus mengalami kemajuan yang signifikan. Walaupun demikian setelah dilakukan uji coba pada kursi roda terdapat beberapa kelemahan dalam pemilihan komponen diantaranya ban depan (*caster*) dan belakang yang tidak sesuai standard kursi roda, seat kursi roda yang terlalu tinggi sehingga membuat dudukan tidak ergonomis, kebutuhan torsi rotari motor tidak sesuai dengan beban torsi yang dibutuhkan dan linear tidak optimal karena pada saat pembebanan maksimal kecepatan linear aktuator mengalami penurunan (Huddin.,2019). Selain hal tersebut, penahan atau pengaman tubuh pada saat berdiri tidak bekerja dengan baik sehingga tidak bisa menahan badan pengguna pada saat dalam posisi berdiri (Nugroho.,2020).

Pasien pasca stroke memiliki penyakit penyerta yang dialami oleh penderitanya hal itu juga disebabkan oleh gaya hidup yang kurang sehat atau disebabkan oleh usia. Lansia merupakan periode kemunduran fisik, kelemahan fungsi tubuh secara menyeluruh terutama fleksibilitas pembuluh darah sehingga mudah terkena penyakit degeneratif (Karunia.,2016). Peneliti menemukan bahwa sebagian besar pasien pasca stroke mampu memposisikan dan mempertahankan posisi tubuh dengan tepat saat duduk di kursi roda tapi hal itu juga ditakutkan karena jika terus-terusan duduk di kursi roda pasien akan mengalami depresi. Depresi setelah stroke merupakan perasaan sedih yang berlarut-larut yang membuat pasien pasca stroke tidak mau diajak bicara, nafsu makan berkurang, susah tidur yang terjadi sekurang-kurangnya selama 2 minggu (Dharma.,2018). Dari depresi tersebut akan membuat pasien merasa tidak bersemangat dan hilang harapan untuk melakukan aktivitas hidup sehari-hari.

Wheelchair atau kursi roda merupakan alat bantu yang digunakan oleh orang yang memiliki keterbatasan dalam bergerak khususnya pada tubuh bagian bawah. Keterbatasan ini dapat disebabkan oleh cacat sejak lahir maupun karena cedera maupun penyakit yang menyerang manusia. Kursi roda telah digunakan oleh beberapa orang dikarenakan ketidakmampuannya untuk melakukan rutinitas sehari-hari bagi orang-orang dengan tubuh

normal, seperti berdiri, berjalan dan berlari, serta aktifitas lainnya (Abdul Ghani dan Tokhi, 2016).

Menilai dari beberapa kondisi di atas maka penulis mencoba merancang desain produk kursi roda dengan fitur berdiri (*standing*). Perancangan ini menggunakan CAD *software* yaitu *Solidworks*. Selanjutnya dilakukan simulasi pada desain menggunakan *Ansys Workbench* dengan adanya simulasi desain ini diharapkan kursi roda dengan fitur berdiri (*standing*) dapat diaplikasikan secara nyata di dunia kedokteran agar menjadi lebih maksimal dan optimal baik dari segi mekanik maupun elektriknya sehingga dengan harapan produk tersebut dapat membantu bagi pasien pasca stroke.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan permasalahan yang ada yaitu :

1. Bagaimana perancangan desain kursi roda dengan fitur berdiri ?
2. Bagaimana distribusi tegangan yang terjadi setelah kursi roda disimulasikan dengan cara berubah bentuk ke posisi berdiri menggunakan *software Ansys Workbench* ?
3. Bagaimana deformasi yang terjadi setelah kursi roda disimulasikan dengan cara berubah bentuk ke posisi berdiri menggunakan *software Ansys Workbench* ?
4. Bagaimana pengaruh faktor keamanan terhadap kursi roda yang disimulasikan setelah berubah bentuk ke posisi berdiri ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dibuat untuk membatasi jenis topik yang dapat diteliti dan dibahas dalam penelitian ini, sehingga tidak menimbulkan masalah atau pernyataan di luar ruang lingkup penelitian dan fokus pada masalah utama.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Spesifikasi rangka kursi roda dengan fitur berdiri :

Ukuran rangka kursi roda yaitu panjang 122,643 cm, lebar rangka 62 cm dan berat rangka 277 kg dengan muatan maksimum 75 kg. Material yang digunakan adalah *Stainlees steel* tipe 316L karena material ini merupakan tipe yang sering beredar di pasaran (Aszul K, 2020). Penggunaan material ini bertujuan untuk memberikan struktur yang kuat namun ringan yang kekuatan materialnya sudah diuji karena sifatnya yang tahan lama dan tidak mudah berkarat maka membuat kursi roda menjadi lebih awet dalam penggunaannya.

2. Tempat dan pelaksanaan simulasi :
 - Tempat pengujian simulasi dilaksanakan di Laboratorium Komputer Progam Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri kampus 2 ITN Malang
 - Pelaksanaan simulasi tanggal 15 April – 2 Juni 2023
3. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi statis structural menggunakan *software Ansys Workbench*.
4. Standarisasi simulasi yang digunakan adalah Metode Elemen Hingga dengan menggunakan *software Ansys Workbench* untuk mengetahui hasil dari nilai distribusi tegangan, nilai total deformasi, dan nilai faktor keamanan
5. Variabel dalam penelitian :
 - Variabel terikat :
 - a) Nilai distribusi tegangan
 - b) Nilai deformasi
 - c) Nilai faktor keamanan.
 - Variabel terkontrol :
 - a) Beban pengguna kursi roda maks. 75 kg
 - Variabel bebas :
 - a) Desain kursi roda dengan posisi duduk
 - b) Desain kursi roda dengan posisi 45° derajat
 - c) Desain kursi roda dengan posisi berdiri
6. Pengolahan data menggunakan metode kuantitatif, dengan melakukan analisis data nilai hasil dari simulasi pada *software Ansys Workbench* yang kemudian diolah menjadi informasi.
 - Munawar Syamsudin Aan. 2013. *METODE RISET KUANTITATIF KOMUNIKASI*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar
 - Syahrums., Salim. 2012. *METODOLOGI PENELITIAN KUANTITATIF*. Bandung : Citapustaka Media.
 - Ulber Silalahi., Nurul Falah Atif. 2015. *METODE PENELITIAN SOSIAL KUANTITATIF*. Bandung : Refika Aditama

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penyusunan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan desain rangka kursi roda dengan fitur berdiri
2. Untuk mengetahui hasil nilai distribusi tegangan dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software Ansys Workbench*
3. Untuk mengetahui nilai total deformasi yang terjadi ketika kursi roda berubah ke bentuk berdiri
4. Untuk mengetahui nilai faktor keamanan dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software Ansys Workbench*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini, antara lain :

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk peningkatan kompetensi dalam bidang desain manufaktur
2. Memberikan informasi dari perancangan desain menggunakan *software Solidworks* dan *software Ansys Workbench* untuk dijadikan sumber referensi di masa yang akan datang
3. Sebagai informasi mengenai penghitungan nilai distribusi tegangan, total deformasi, dan faktor keamanan terhadap simulasi menggunakan *software Ansys Workbench*
4. Untuk meningkatkan kreatifitas dan keterampilan yang diharapkan serta dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian yang lebih lanjut.

1.6 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan skripsi ini penulis memperoleh data dengan menggunakan metode-metode sebagai berikut :

1. Metode Observasi

Yaitu metode pengumpulan data secara langsung dengan memperhatikan dan menganalisa rangka pada kursi roda. Dalam metode ini penulis melihat cara mendesain konstruksi rangka kursi roda dan juga bagaimana cara memprogram software dengan baik dan benar

2. Metode Wawancara

Yaitu metode pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab secara langsung dengan dosen pembimbing dan juga rekan-rekan mahasiswa lainnya mengenai proses

pengoperasian *software Solidworks* dan *software Ansys Workbench* yang akan digunakan pada simulasi ini

3. Metode Kepustakaan

Yaitu metode pengumpulan data yang diambil dari jurnal, modul dan juga penelitian yang sebelumnya sudah pernah dilakukan. Dengan metode ini dapat menunjang data-data yang didapat agar lebih spesifik.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam menyusun skripsi ini, secara garis besar sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Latar belakang rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tentang teori-teori dasar yang digunakan dan berkaitan dengan pengambilan judul skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, diagram alir penelitian, dan Langkah-langkah pada proses penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan uraian data hasil dan pembahasan yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian dari pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi berbagai referensi yang dikutip untuk menjadi penguat skripsi yang disusun

LAMPIRAN

Berisi biodata pribadi dengan gambar, dan juga foto-foto atau gambar yang dipakai dalam penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Paul L. Coe, Jr., (1979). Dari hasil penelitiannya yang berjudul “*AERODINAMIC CHARACTERISTICS OF WHEELCHAIRS*” bahwa pengaruh hambatan aerodinamis pada total gaya dan daya yang dibutuhkan bagi seseorang untuk mengatasi angin kencang yang stabil yaitu dengan mengasumsikan stabil kecepatan kursi roda, relatif terhadap tanah, sebesar 0,894 m/detik (2 mph) pada permukaan horizontal. Asumsi berat gabungan individu dan kursi roda adalah 890 N (200 ibf). Asumsi tekanan ban adalah 275.790 pa (40 ibf/in²). Berdasarkan metode, gaya gesek ditentukan menjadi 7,784 N (1,75 ibf). Hasil ini sangat sesuai dengan pengukuran yang tidak dipublikasikan diperoleh di Pusat Teknik Rehabilitasi dari Universitas Virginia.

IML Batan, (2006). Dari hasil penelitiannya yang berjudul “PENGEMBANGAN KURSI RODA SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN RUANG GERAK PENDERITA CACAT KAKI” . Hasil kuisioner yang disebarkan ke pemakai kursi roda di kota Surabaya pada akhir 2005 dan awal 2006 menunjukkan bahwa 70% responden tidak menginginkan lagi didampingi oleh seorang pemandu pada saat mereka beraktifitas di dalam maupun di luar rumah maka dari itu perlu bahwa analisa tegangan material dan risiko cedera tubuh yang mungkin timbul pada pemakai kursi roda bahwa rancangan kursi roda dapat direalisasi untuk dikembangkan sebagai sarana transportasi yang dapat dipakai oleh penderita cacat kaki dalam beraktifitas secara aman, baik di dalam maupun di luar rumah. Dengan simulasi tegangan material rangka serta simulasi RULA, maka kursi roda yang dikembangkan adalah aman terhadap beban statis 150 kg dan nyaman, sehingga sesuai dengan permintaan pemakai kursi roda.

Iksal, I & Darmo, (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI KURSI RODA ELEKTRIK EKONOMIS SEBAGAI SARANA REHABILITASI MEDIK” Mengungkapkan bahwa fakta yang ada di Indonesia, kursi roda elektrik ini terbatas penggunaannya bagi masyarakat berkebutuhan khusus kalangan menengah keatas karena harganya yang relatif mahal, oleh karena itu dilakukan perancangan dan implementasi sebuah kursi roda elektrik ekonomis yang sesuai dengan kebutuhan pengguna sebagai solusi permasalahan tersebut.

N. M Abdul Ghani & M.O. Tokhi (2016), Penelitiannya yang berjudul “PERANCANGAN SISTEM CONTROL PERGERAKAN DUDUK-BERDIRI DARI KURSI RODA ELEKTRIK DENGAN DUA RODA”. Penelitian ini mentransformasikan kursi roda elektrik dengan empat roda saat posisi duduk menjadi dua roda untuk posisi berdiri. Untuk mempertahankan posisi berdiri dengan dua roda pada kursi roda elektrik menggunakan konsep *double-inverted pendulum*. Penelitian ini menggunakan FLC *controller* dengan memanfaatkan *fuzzy logic* untuk mengeksekusi perintah.

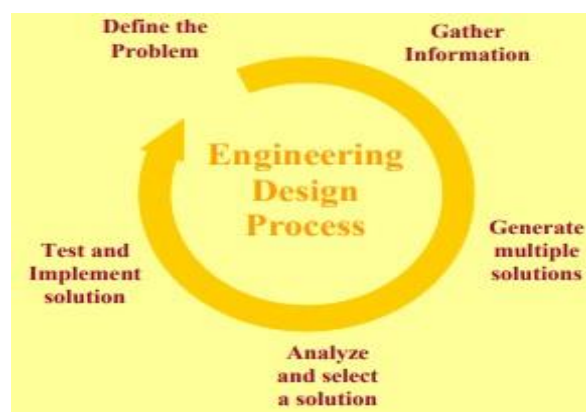
Surya Alhadi (2018) dalam penelitiannya tentang “MODIFIKASI ELEKTRIK KURSI RODA BERDIRI” bahwasannya kursi roda elektrik dengan fitur berdiri yang telah didesain olehnya ini menggunakan arduino uno sebagai sistem kendali kursi bergerak yang kemudian dilakukan pembuatan prototype oleh Faqi Huddin (2019) dan Setyo Nugroho (2020) berupa *prototype* kursi roda dengan fitur berdiri yang menggunakan mikrokontroler Arduino ATmega 32. Penelitian ini dilakukan untuk peningkatan kinerja dan kenyamanan dari perancangan kursi roda elektrik dengan fitur berdiri, khususnya dengan melakukan modifikasi dengan menambahkan fitur tambahan untuk menahan tubuh pada saat berdiri yang berupa *saddle* dan *safety belt*.

Ari Setiawan (2020) dalam jurnalnya yang berjudul “DESAIN KURSI RODA BAGI PENDERITA STROKE” Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah belum tersedianya kursi roda berkayuh untuk merehabilitasi kaki penderita stroke oleh karena itu akan dilakukan perancangan dengan biaya yang terjangkau. Tujuan dari penelitian ini adalah tersedianya alat desain kursi roda bagi penderita *stroke* sebagai indikator utamanya telah teruji, maka dari itu langkah awal penelitian ini dimulai dari pembuatan alat, Kalibrasi, dan pengujian serta yang terakhir yaitu menganalisis uji kelayakan dari desain kursi roda tersebut.

2.2 Desain

Desain merupakan suatu proses yang sudah ada sejak lama dan mungkin sudah ada sejak awal keberadaan manusia di dunia. Definisi desain sendiri berdasarkan pada perspektif dan konteks itu sendiri. Desain adalah proses pemecahan masalah dengan target atau objektif yang jelas (Archer, 1965). Untuk mendesain perlu merumuskan rencana untuk memenuhi kebutuhan atau memecahkan masalah tertentu. Apabila desain tersebut menghasilkan suatu produk, maka produk tersebut harus fungsional, aman, handal, kompetitif, dapat difabrikasi dan digunakan, maupun dapat dipasarkan (Shigley, 2010). Oleh karena itu desain selalu membutuhkan perbaikan dan perkembangan sehingga dapat terus berkembang. Perbaikan dan perkembangan tersebut dapat berupa inovasi dan modifikasi dari desain asli tanpa menghilangkan tujuan utama dalam suatu produk. Inovasi merupakan suatu ide, rencana, atau suatu objek yang dapat direalisasikan dan diterima menjadi sesuatu produk yang baru untuk masyarakat maupun instansi tertentu. Inovasi selalu berhubungan dengan desain karena desain merupakan suatu perwujudan dari suatu inovasi (Alhadi, 2018).

Dalam melakukan suatu desain diperlukan suatu proses yang disebut dengan *engineer design process* atau proses desain teknik, pada hal tersebut terdapat 5 tahapan dasar yang biasanya digunakan sebagai pemecah masalah yang terjadi pada saat mendesain. Masalah pada saat mendesain biasanya terdefinisikan sebagai samar-samar atau tidak jelas dan memiliki banyak jawaban yang dianggap benar, proses tersebut diperlukan suatu menelusuri kembali dan pengulangan (Seyyed Khandani, 2005) Berikut 5 tahapan dasar proses desain teknik diantaranya.



Gambar 2. 1 Tahapan proses desain teknik

(Sumber : Yousef Haik & Sangarappillai Sivaloganathan.,2015)

1) Identifikasi Masalah

Dalam mengidentifikasi masalah perlu memulai solusi untuk masalah desain dengan definisi yang jelas dan tidak ambigu, hal tersebut sering kali dimulai dengan ketidakjelasan dan ide abstrak didalam benak desainer. Membuat suatu definisi yang jelas dari masalah desain lebih sulit karena hal tersebut dapat berkembang melalui serangkaian langkah saat mengembangkan pemahaman tentang masalah tersebut lebih lengkap. Aktifitas desain teknik sering muncul terhadap respon kebutuhan manusia. sebelum dapat mengembangkan suatu definisi permasalahan pada masalah desain, perlunya mengenali kebutuhan untuk produk baru, sistem, atau mesin. Terdapat beberapa kriteria awal yang harus diperhatikan dalam melakukan identifikasi masalah pada saat akan memulai mendesain, diantaranya :

- a. Desain harus murah pada saat diproduksi
- b. Desain harus aman, terutama kepada anak kecil.
- c. Desain tidak boleh merugikan alam sekitar.
- d. Desain harus mudah digunakan dengan usaha seminimal mungkin.

2) Merumuskan Informasi Masalah

Sebelum melangkah jauh dalam melakukan proses desain, perlunya mengumpulkan semua informasi yang berkaitan dengan masalah yang ada. Menghabiskan waktu untuk mencari informasi tentang masalah yang ada akan terbayarkan dalam melakukan proses desain. Merumuskan informasi masalah dapat mengungkapkan fakta tentang masalah yang terdapat pada identifikasi masalah, karena hal tersebut memungkinkan untuk dapat mengetahui kesalahan awal yang terjadi pada desainer sebelumnya. Merumuskan masalah selalu dimulai dengan beberapa pertanyaan, jika masalah bertujuan untuk suatu kebutuhan yang baru, maka tidak ada solusi yang ada, jadi jelas beberapa pertanyaan tentang masalah tersebut tidak perlu untuk ditanyakan.

3) Menentukan Alternatif Solusi

Langkah selanjutnya pada proses desain dimulai dengan kreatifitas dalam menghasilkan suatu ide baru yang dapat memecahkan masalah yang ada. Kreatifitas lebih dari sekedar aplikasi sistematis dalam aturan dan teori untuk memecahkan masalah teknis. Dimulai dengan solusi yang ada kemudian memecah bagian demi bagian untuk mencari tahu kesalahan pada solusi tersebut dan fokus pada kelemahan yang ada untuk memperbaiki. Secara terus menerus mengkombinasikan ide baru, peralatan, dan metode untuk menghasilkan suatu solusi permasalahan yang unik.

4) Analisa dan Memilih Alternatif Masalah

Sebelum memutuskan solusi desain yang digunakan, perlu dilakukan analisis setiap alternatif solusi dengan beberapa tipe analisis pada setiap desain. Analisis yang perlu diperhatikan dalam penentuan desain yaitu ergonomis, analisis kekuatan, sistem kelistrikan, kemampuan pengujian, keamanan produk, dan analisis pasar.

5) Penerapan dan Uji Coba Desain

Tahap terakhir dari proses desain adalah penerapan yang mengacu pada konstruksi, proses pembuatan dan uji coba pada solusi desain yang dipilih untuk masalah desain. Perlu memperhatikan beberapa metode penerapan seperti pembuatan prototype dan mendokumentasikan solusi tersebut.

2.3 Kursi Roda

Kursi roda atau dalam bahasa Inggris dikenal dengan istilah (*wheelchair*) merupakan alat bantu yang dikhususkan untuk orang penyandang disabilitas atau kurangnya kemampuan berjalan dengan menggunakan kaki yang disebabkan oleh penyakit, cedera maupun bawaan dari lahir. Alat tersebut digerakkan dengan bantuan orang lain, digerakkan dengan tangan, ataupun menggunakan penggerak eksternal dengan motor elektrik. Umumnya kursi roda sering kali digunakan oleh para penyandang cacat fisik (khususnya penyandang cacat kaki), orang tua (manula), penderita paraplegia, dan lainnya (Mawardi & Lianda, 2018). Saat ini terdapat banyak tipe kursi roda yang tersedia di pasaran yang didesain berdasarkan perbedaan bentuk dan fungsinya. Selain itu kursi roda juga digunakan untuk kegiatan olahraga. Kursi roda dibagi menjadi dua jenis, yaitu kursi roda manual dan kursi roda elektrik. Kursi roda manual dibagi menjadi kursi roda standard dan sport wheelchair. Kursi roda elektrik sendiri dibagi menjadi beberapa model, antara lain traditional, platform, dan round base model (Batan, 2006).

Seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat terdapat beberapa jenis kursi roda yang ada di pasar. Hal tersebut didesain berdasarkan pada bentuk dan fungsi yang berbeda. Adapun jenis kursi roda dapat dibedakan seperti kursi roda manual, kursi roda elektrik dan kursi roda di bidang olahraga. Setiap kursi roda memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda, tetapi diskusi dalam penelitian ini pada kursi roda dengan fitur berdiri (*standing*).

2.3.1 Komponen Kursi Roda



Gambar 2.2 Komponen kursi roda

(Sumber : Ellyana Sungkar & Hasan Sadikin.,2011)

Seperti terlihat pada gambar 2.2 berikut adalah bagian-bagian komponen dari kursi roda dan penjelasannya :

- *Push Handle* : *Push Handle* terletak dibagian belakang kursi roda. Pada bagian untuk pegangan dipasang karet untuk membuat lebih nyaman saat digunakan untuk mendorong.
- *Armrest* : *Armrest* adalah sandaran tangan. Diletakkan didua bingkai dari kursi roda dan dirancang sangat kokoh untuk menahan beban saat digunakan untuk bersandar.
- *Backseat* : *Backseat* adalah tempat punggung pengguna diletakkan.
- *Frame* : *Frame* adalah struktur yang berbentuk tabung untuk menopang jok dan roda.
- *Seat* : *Seat* adalah tempat duduk untuk pengguna. Untuk membuat lebih nyaman, ditambahkan bantal/busa.
- *Wheel* : *wheel* adalah roda belakang yang digunakan untuk menjalankan kursi roda oleh penggunanya sendiri tanpa bantuan dari orang lain.
- *Brake* : *brake* adalah rem yang berfungsi untuk mengatur kecepatan saat kursi roda di jalankan oleh pengguna. Rem juga berfungsi untuk mengunci kursi roda agar tidak bergerak jika tidak diinginkan.
- *Fork* : *fork* adalah garpu penghubung antara rangka utama dengan roda depan.
- *Heel loop* : *Hell Loop* terletak pada bagian belakang tumit, bertujuan untuk menjaga posisi kaki agar tetap berada di tengah.
- *Footplate* : *Footplate* dapat bergerak ke atas dan ke bawah, bertujuan untuk mengatur posisi kaki saat sedang istirahat untuk mendapatkan kenyamanan.

- *Caster wheels* : *Chaster Wheels* adalah roda yang terletak dibagian depan dan mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan roda bagian belakang. Ukuran dari roda depan ini berdiameter 8 inci.
- *Footrest* : *Footrest* adalah tempat pijakan kaki, dapat disesuaikan dengan jenis kaki yang berbeda.

2.3.2 Jenis – Jenis Kursi Roda

Adapun jenis-jenis kursi roda selain digunakan sebagai alat medis, kursi roda juga digunakan pada aktifitas dibidang olahraga. Karena setiap kursi roda memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda, tetapi diskusi dalam penilitan ini pada kursi roda dengan fitur berdiri (*standing*). Berikut macam – macam kursi roda :

1. Kursi Roda Manual



Gambar 2.3 Kursi roda manual

(Sumber : Ellyana Sungkar & Hasan Sadikin.,2011)

Kursi roda manual seperti pada gambar 2.3 merupakan kursi roda yang paling sering digunakan terutama oleh masyarakat Indonesia. Perangkat ini juga menyediakan *velg* yang memungkinkan pengguna mendorong roda secara mandiri ke arah depan dan belakang. Selain itu juga memungkinkan pengguna melakukan berputar. Kursi roda ini dapat dioperasikan dengan bantuan orang lain maupun oleh penggunanya sendiri dengan cara mendorong komponen pushrim. Kursi roda ini umumnya digunakan oleh pasien dengan kondisi cedera atau patah kaki sebagian. Penggunaan kursi roda manual secara terus menerus dapat menyebabkan masalah kesehatan. Hal ini terjadi jika penggunanya tidak meluangkan waktu untuk sekadar berdiri.

2. Kursi Roda Elektrik



Gambar 2.4 Kursi roda elektrik

(Sumber : Ellyana Sungkar & Hasan Sadikin.,2011)

Kursi roda elektrik seperti gambar 2.4 merupakan suatu alat bantu mobilitas yang digunakan oleh penyandang disabilitas dengan penggerak *external* dari motor elektrik berarus searah atau *Direct Current (DC)*. Kursi roda elektrik dibagi menjadi 3 kategori yaitu *electrically powered wheelchairs*, *electrically powered push*, dan *scooters*. Dalam penggunaannya 3 kategori tersebut dibagi sesuai dengan penggunaannya yaitu *indoor*, *indoor/outdoor* dan *outdoor* (Woerden, 2001).

3. Kursi Roda Olahraga



Gambar 2.5 Kursi roda olahraga

(Sumber : Ellyana Sungkar & Hasan Sadikin.,2011)

Kursi roda olahraga atau biasa dikenal seperti pada gambar 2.5 sebagai kursi roda sport ini digunakan oleh atlet disabilitas untuk berkompetisi dalam beberapa cabang olahraga yang membutuhkan kecepatan dan kelincahan. Kursi roda ini memiliki fitur dan spesifikasi yang berbeda untuk beberapa cabang olahraga, dengan ciri – ciri kemiringan yang tajam pada roda tersebut.

4. Kursi Roda dengan Fitur Berdiri



Gambar 2.6 Kursi roda dengan fitur berdiri

(Sumber : Ellyana Sungkar & dr. Hasan Sadikin.,2011)

Kursi roda dengan fitur berdiri seperti pada gambar 2.6 merupakan salah satu inovasi dalam teknologi kursi roda, kursi roda ini dibuat dengan tujuan supaya pengguna dapat merasakan sensasi dapat berdiri selayaknya orang normal. Kursi roda ini didesain berdiri supaya pengguna dapat terangkat pada posisi yang lebih tinggi. Mekanisme pengangkatan dilakukan dengan menggunakan sistem hidrolik. Selain dengan sistem hidrolik bisa juga digunakan motor linier untuk mekanisme pengangkatan.

2.4 Karakteristik Rangka Kursi Roda

Bagian utama dari kursi roda adalah rangka atau *frame*. Rangka kursi roda merupakan pondasi untuk memasang dan menopang elemen-elemen yang lain hingga membentuk kursi roda secara utuh. Rangka memiliki fungsi buat mempertahankan bentuk dari kendaraan serta menahan beban tubuh selama pengguna memakainya. Karakteristik rangka terdiri dari tebal rangka, bentuk rangka dan material rangka yang digunakan. karakteristik setiap kursi roda berbeda- beda, tergantung dari jenis kursi rodanya, dan yang pasti juga berpengaruh terhadap harga berasal kursi roda tersebut.

2.5 Tegangan Pada Rangka

Tegangan adalah besaran fisika yang mengukur besarnya gaya yang diterapkan pada suatu objek per satuan luasnya. Tegangan dapat dihitung menggunakan Rumus sebagai berikut :

$$\sigma = P/A$$

(Sumber : Khurmi, *Machine Design Book*.,2005)

Keterangan :

- P = gaya yang bekerja (N)
- A = luas penampang (m^2)
- σ = tegangan (N/m^2 atau Pa)

2.6 Daya Motor

Daya motor yang dibutuhkan diperoleh dengan mengalikan beban total (F_t) dengan kecepatan (V)

$$P_t = F_t \times V$$

(Sumber : Khurmi, *Machine Design Book*.,2005)

Salah satu kebutuhan dalam memilih *wheelchair* fitur *standing* adalah spesifikasi teknis dari sistem yang tersedia dan didasarkan pada nilai fisik seperti medan, kemiringan dan massa pengguna dan juga variasi medan seperti pasir tanah dan rumput. Oleh karena itu, dalam penentuan rancangan kursi roda dengan fitur berdiri ini hal yang harus diperhitungkan adalah hambatan tenaga penggerak (*propulsion*) yang digunakan untuk memperkirakan daya motor listrik yang sesuai. Adapun gaya hambat total terdiri dari gaya hambat *aerodynamic resistance* (*drag*), gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat tanjakan/*slope resistance*.

a) *Aerodynamic resistance*

Untuk mengetahui nilai gaya hambat aerodinamis dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan :

$$RA = 0,5 \times \rho \times A_f \times Cd \times v^2$$

(Sumber : Khurmi, *Machine Design Book*.,2005)

Dimana : R_A = Gaya hambat angin

ρ = massa jenis udara (m^3)

A_f = luas frontal (m^2)

Cd = Koefisien hambatan

v^2 = Kecepatan relative (km/h)

b) Rolling resistance

Gaya ini merupakan gesekan pada roda yang berhubungan dengan jalan. Hal ini dipengaruhi oleh kualitas rangka, roda, permukaan jalan, tekanan roda, berat pengguna.

$$R_R = m_t \times g \times C_r$$

(Sumber : Khurmi, *Machine Design Book*.,2005)

Dimana : R_r = Gaya *rolling resistance*

m_t = massa total

g = percepatan gravitasi

C_r = Koefisien *rolling resistance*

c) Slope resistance

Ketika menanjak, kursi roda (*wheelchair*) membutuhkan daya yang cukup untuk membawa beban sendiri ditambah berat pengguna. Ini merupakan pengaruh dari kemiringan jalan dan kecepatan. Semakin bertambahnya ketinggian, maka energi potensial juga meningkat.

$$R_s = m_t \times g \times \sin \theta$$

(Sumber : Khurmi, *Machine Design Book*.,2005)

Dimana : R_s = Gaya *slope resistance*

m_t = massa total

g = percepatan gravitasi

$\sin \theta$ = gradien kemiringan jalan

2.7 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keselamatan atau *factor of safety (FoS)* merupakan ketentuan untuk mendiskripsikan kapasitas beban pada sistem di atas perkiraan atau beban aktual. Pada dasarnya, FoS merupakan seberapa kuat suatu sistem dari yang biasanya dibutuhkan untuk beban yang diinginkan. FoS biasa dihitung menggunakan analisis mendetail karena pengujian komprehensif dilakukan secara tidak praktis pada beberapa proyek, seperti jembatan dan bangunan, tetapi kemampuan struktur untuk menahan atau mengangkat beban harus diperhitungkan secara akurat. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung FoS dapat dilihat pada persamaan.

$$FoS = \frac{Ys}{Ds}$$

(Sumber : Khurmi, *Machine Design Book*.,2005)

Dimana : FoS = Faktor keselamatan

Ys = Kekuatan material

Ds = Beban yang diterima

2.8 Penggunaan Material

Pemilihan material yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kekuatan rangka pada kursi roda. Menurut Ahmad GW Rahman (2017), material yang umum digunakan untuk membuat rangka kursi roda adalah aluminium dan *Stainless steel*. Pada proses simulasi desain ini material yang saya gunakan adalah *Stainless steel* tipe 316L karena tipe ini merupakan tipe yang sering beredar di pasaran. Penggunaan material ini bertujuan untuk memberikan struktur yang kuat namun ringan yang kekuatannya sudah diuji karena sifatnya yang tahan lama dan tidak mudah berkarat maka membuat kursi roda menjadi lebih awet dalam penggunaannya.

2.9 *Stainless Steel 316L*

Stainless steel merupakan *steel alloy* dengan penambahan kromium yang membuat sifat bahan tersebut menjadi tahan terhadap karat (*stainlees*). Berdasarkan komposisinya *stainless steel* dibagi atas *martensitic*, *ferritic*, dan *austenitic*. *Stainless steel 316L* adalah salah satu varian *molybdenum alloy austenitic* dengan komposisi rendah karbon yang digunakan didalam berbagai industri dengan kebutuhan spesifikasi logam yang tahan korosi. Kodifikasi dari penamaan tipe 316L merupakan salah satu tipe *Stainless steel* yang dipakai didalam pembuatan implant karena material tersebut memiliki komposisi karbon rendah sehingga dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi sama halnya *molybdenum* pada material tersebut (Ikmal Hafizi 2016). Dengan kandungan kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi oksidasi besi membuat baja ini tidak bisa berkarat (Fikri Hanif, 2020). Perawatan *stainless* sangat mudah tidak seperti besi yang harus dicat atau *dichrome*. *Stainlees* hanya perlu dilap untuk mengembalikan kilapnya seperti baru, tetapi apabila terjadi penggoresan pada *stainlees steel*, hanya perlu dipoles untuk menjadikan kilap seperti semula. Pada proses pembuatan prototype kursi roda ini kerangka yang akan digunakan adalah material berjenis *Stainless steel*.

Keuntungan penggunaan *Stainless steel* adalah sebagai berikut :

- Memiliki tahan korosi yang tinggi serta tahan terhadap api dan panas sehingga material dapat bertahan jika ditempatkan pada temperatur yang tinggi.
- Estetika penampilan, memberikan penampilan yang menarik dan modern.
- Mudah dibersihkan, dibandingkan dengan jenis logam lain, stainless steel bersifat isolator sehingga tidak mudah ditemeli oleh bahan lain. Hal ini sekaligus memudahkan dalam merawatnya.
- Sangat kuat, *Stainless steel* terbuat dari logam yang sangat rapat sehingga tidak mengandung pori-pori.
- Tahan lama, sifat dari *stainless steel* ini adalah tahan lama dan tidak mudah rusak.

Tabel 2.1 Komposisi *Stainless Steel 316L*

C	SI	S	P	MN	NI	CR	MO	FE
0,029	0,390	0,035	0,050	1,648	9,930	16,860	2,057	-

Sumber : Arga Jeremia Sinaga,.2020

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Stainless Steel 316L*

<i>Tensile</i> (MPa)	<i>Yield</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%in50mm)	<i>Hardness</i> <i>Rocwell</i> (HRB)	<i>Density</i> (kg/m ³)	<i>Elastic</i> <i>Modulus</i> (GPa)	<i>Specific</i> <i>Heat</i> (J/Kg.K)	<i>Electric</i> <i>Resistivity</i> (nΩ.m)
485	170	40	95	8000	193	500	740

Sumber : Arga Jeremia Sinaga,.2020

2.10 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*)

Metode elemen hingga merupakan alat canggih yang dapat digunakan sebagai penyelesaian berbagai persoalan teknik dan dipakai secara luas juga diterima di bidang industri. Perkembangan metode elemen hingga antara lain dapat diaplikasikan dalam pembuatan industri kendaraan. Tahapan analisis dan evaluasi secara menyeluruh dapat dilakukan secara aktual. Metode ini dilakukan dengan menganalisa suatu benda kerja yang dibagi dalam bagian-bagian kecil untuk dianalisis (Amir Hamzah, 2021).

Metode elemen hingga termasuk salah satu metode numerik yang cocok diterapkan untuk menghitung gaya dalam (*internal forces*) pada berbagai kasus dibidang rekayasa. Proses Analisa dilakukan yang disajikan dalam formulasi matriks. Metode elemen hingga

dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain sistem dengan memprediksi bagaimana perubahan pada desain akan mempengaruhi perilaku sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu metode ini juga dapat digunakan untuk menemukan titik lemah dalam suatu sistem dan untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi sistem.

2.11 *Solidworks*

Solidworks adalah *software design engineering* khususnya design model 3D yang diproduksi oleh *DASSAULT SYSTEMES*. Software ini biasanya digunakan dalam mendesign model 3D. SolidWorks merupakan perangkat lunak yang dapat memprogram rancangan bangun yang baik digunakan untuk mengerjakan desain produk, desain mesin, desain *mould*, desain konstruksi, ataupun keperluan teknik lain. (Ajiman, 2022)

Sebagai *software CAD Solidworks* dipercaya sebagai *software* yang memfasilitasi perancangan suatu objek. Di Indonesia sendiri sudah banyak perusahaan yang mengimplementasikan *software solidworks*. Keunggulan *software* ini dibandingkan software CAD lainnya adalah dapat membuat sketsa 2D yang dapat diupdate menjadi 3D. Selain itu juga dilengkapi *tool* yang digunakan untuk menghitung dan analisis hasil desain seperti getaran, tegangan, regangan, maupun pengaruh suhu angin dan lebih mudah digunakan karena dirancang khusus menggambar objek yang sederhana atau bahan kompleks. Ini membuat *solidworks* populer dan mengubah popularitas perangkat lunak CAD lainnya.

2.12 *ANSYS Workbench*



Gambar 2.7 Logo *Ansys Workbench*

(Sumber : Ajei S.Gopal.,2020)

ANSYS merupakan perangkat lunak yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk didalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktural baik linier maupun non linier, masalah fluida, dan masalah perpindahan panas dan sebagainya.

ANSYS workbench juga dapat berintegrasi dengan *software CAD* sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai software CAD. *Ansys* juga dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*). Program

Ansys juga dapat digunakan dalam Teknik sipil, Teknik listrik, fisika dan kimia. Secara umum penyelesaian FEA (*Finite Element Analysis*) atau elemen hingga menggunakan *Ansys Workbench* dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

1. *Pre-processing*

Pre-processing adalah langkah awal dalam proses Metode Elemen Hingga (MEH). Pada *pre-processing* terdapat beberapa fungsi, dimana kita harus men-set secara detail fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi tersebut terdiri dari :

- *Modelling*
- *Element Type*
- *Material Properties*
- *Meshing*
- *Entities*

Adapun langkah umum dalam *Pre-processing* yaitu :

- Mesh lines/ areas/ volumes dan mendefinisikan tipe element / sifat geometric

2. *Simulation processing*

Pada tahap ini perlu menentukan beban (titik atau tekanan), *constraints* (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diatur. Pada tahapan ini MEH telah mendekati proses akhir, yaitu proses analisa dan perhitungan otomatis yang dilakukan *ANSYS*, tetapi sebelum mencapai proses perhitungan dan analisa ada beberapa langkah dalam proses *solutions* yang harus dilalui terlebih dahulu.

Langkah-langkah tersebut adalah :

- *Constrain*
- *Initial velocity*
- *Loading option*
- *Time control*
- *Solven*

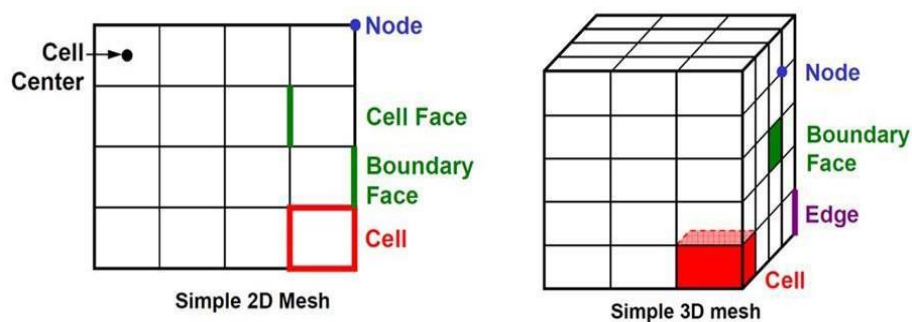
3. *Post-processing*

Post-processing merupakan tahap akhir dari simulasi yaitu merupakan tahap penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang diperoleh. Pada bagian *post-processing* ini merupakan hasil dari tahap *simulation* yang akan ditampilkan seperti daftar pergeseran nodal, gaya elemen dan momentum, *plot deflection*, dan diagram kontur tegangan (*stress*) atau pemetasan suhu.

2.13 Proses *Meshing*

Meshing adalah proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit (Yusra, 2008). Semakin baik kualitas *mesh* maka akan semakin tinggi tingkat konvergensinya. Apabila semakin kecil nilai *meshing* maka semakin kecil pula pembagian elemen pada model. Sehingga hasilnya semakin akurat dan sebaliknya untuk nilai *meshing* yang semakin membesar maka pembagian elemen pada model juga hasilnya akan kurang akurat. *Meshing* adalah bagian penting dari analisa sebab jika hasil *meshing* kurang baik maka akan menghasilkan hasil yang berbeda bahkan bisa saja tidak mendekati kondisi yang sebenarnya.

Pembuatan mesh atau yang lebih dikenal dengan istilah *meshing*, adalah salah satu langkah dalam *pre-processing* sebuah simulasi. Mesh ini sendiri berguna untuk membagi geometry dari model menjadi banyak elemen yang nantinya digunakan oleh solver untuk membangun volume kontrol. Kualitas *meshing* bisa dikatakan baik apabila memiliki nilai rata – rata antara 0.0 – 0.4 mm, dan dikatakan sedang jika mempunyai nilai rata – rata 0.5 – 0.7 mm, dan dikatakan buruk jika mempunyai nilai rata – rata 0.8 – 1.0 mm. *meshing* merupakan representasi dari metode elemen hingga. Dalam metode *meshing* yang dilakukan untuk menganalisa struktur kerangka mesin ini yaitu *hex dominant method*.



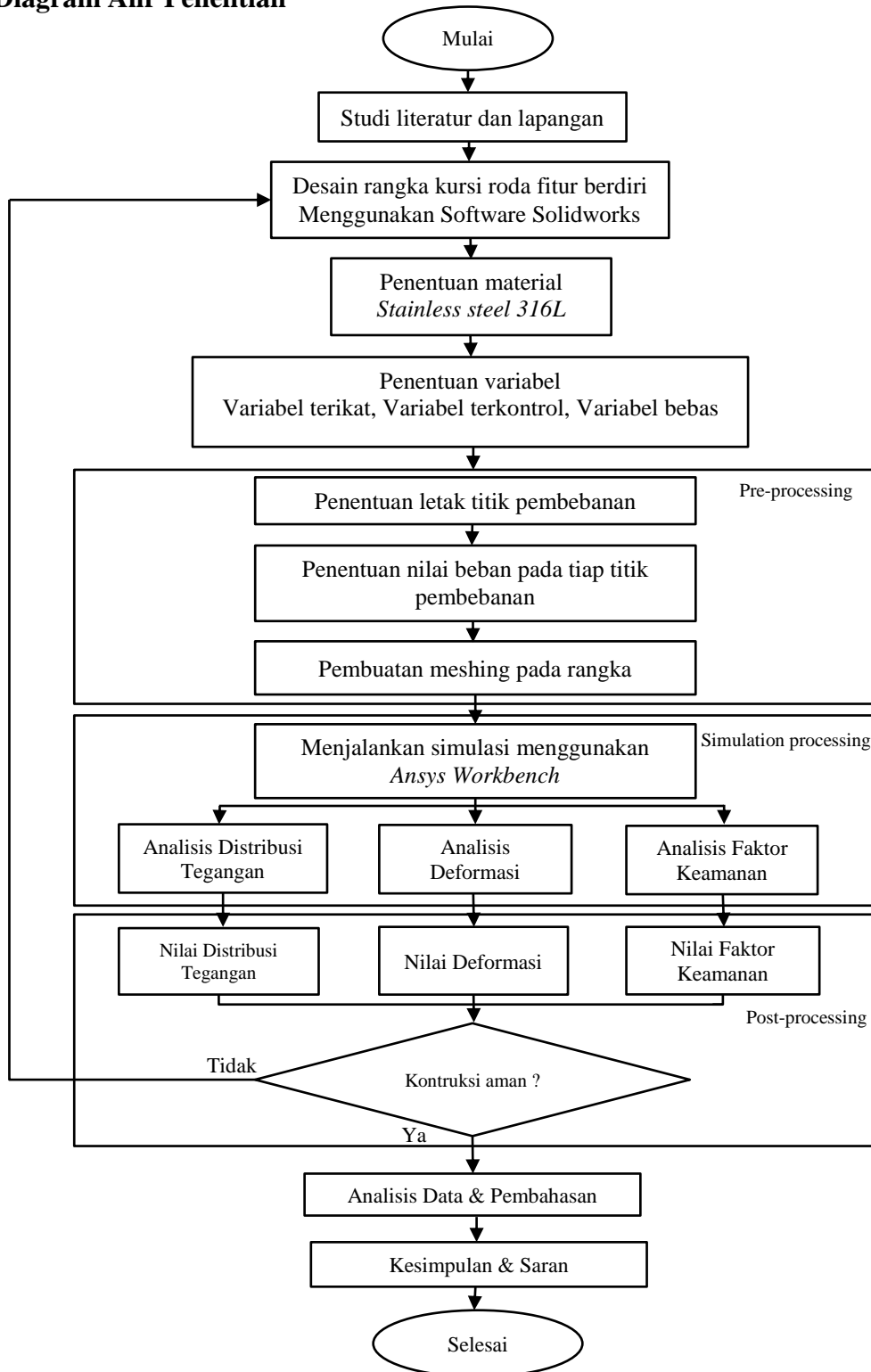
Gambar 2.8 Proses Meshing

(Sumber : Yusra.,2008)

Pada MEH (Metode Elemen Hingga), dalam pengaturan pembuatan mesh, dijumpai *opsi fine* (halus) dan *coarse* (kasar). *Fine mesh* akan mengandung lebih banyak *cell* sehingga membentuk model yang halus. *Fine mesh* tentunya akan menghasilkan hasil perhitungan yang lebih akurat, karena persamaan dihitung pada jarak *cell* yang lebih rapat. Ini berguna untuk menghasilkan mesh yang baik dan proporsional (d disesuaikan dengan *gradient* parameter yang bekerja pada *cell/noda* tersebut, misal untuk : gradien kecepatan, densitas, tekanan, dan lain-lain).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Untuk menjelaskan alur dari diagram alir diatas maka perlu diperinci mulai dari Studi literatur dan lapangan kemudian lanjut ke tahap Desain rangka kursi roda, dalam proses desain ini menggunakan *software Solidworks 2018* setelah desain dilakukan maka menentukan material yang akan dipakai, dalam hal penentuan material yang digunakan adalah material Stainless steel tipe 316L karena material ini sangat umum digunakan dalam pembuatan kursi roda selain itu jenis material ini juga sangat mudah didapatkan karena banyak beredar dipasaran. Setelah penentuan material tahap selanjutnya yaitu penentuan variabel, dalam penentuan variabel yang dilakukan ada 3 variabel yaitu variabel terikat meliputi : distribusi tegangan, total deformasi, faktor keamanan, kemudian variabel terkontrol meliputi : beban pengguna kursi roda maks. 75 kg, dan variabel bebas meliputi : desain kursi roda posisi duduk, desain kursi roda posisi 45°, dan desain kursi roda posisi berdiri.

Kemudian setelah 3 variabel ditentukan maka langkah selanjutnya yaitu ada 3 tahap yang harus dilakukan yaitu *pre-processing*, *simulation processing*, dan *post-processing*. Ketiga tahap ini merupakan proses rangkaian simulasi menggunakan *software ANSYS Workbench*.

- *Pre-processing* : penentuan letak titik pembebanan, penentuan nilai beban pada tiap beban pada tiap titik pembebanan, pembuatan meshing pada rangka
- *Simulation processing* : Menjalankan simulasi *ANSYS Workbench* untuk menentukan Distribusi Tegangan, Total Deformasi, Faktor Keamanan
- *Post-Processing* : Mengetahui hasil nilai dari distribusi tegangan, nilai deformasi, dan nilai faktor keamanan

Setelah ketiga rangkaian tahap simulasi selesai maka langkah selanjutnya kita dapat mengetahui bahwa hasil dari nilai-nilai yang didapatkan apakah sudah termasuk ke dalam (kontruksi yang aman ?) jika kontruksi tidak aman maka yang kita lakukan adalah kembali lagi ke bagian desain rangka kursi roda yang sudah kita buat sebelumnya dan jika kontruksi sudah aman maka yang kita lakukan yaitu melanjutkan tahap penelitian lanjut mulai menganalisis data dan pembahasan kemudian yang terakhir membuat kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah kita lakukan tersebut.

3.2.1 Studi Literatur dan Lapangan

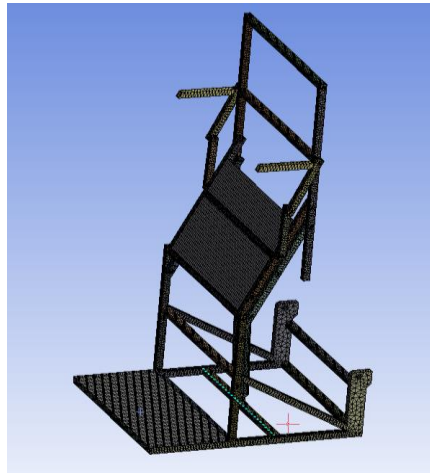
Studi literatur ini dilakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi dengan mempelajari beberapa buku, *e-book*, artikel, jurnal yang ada kaitannya dengan perancangan dan pengembangan produk. Serta mempelajari software program *Solidworks* dan simulasi pengujian dengan *software Ansys Workbench*. Pada tahap ini studi lapangan dilakukan dengan pengumpulan data mengenai kursi roda dengan fitur berdiri yang akan dirancang dan dikembangkan. Studi literature bertujuan untuk memahami topik penelitian dengan lebih baik, mengevaluasi pengetahuan yang ada, mengidentifikasi kesenjangan dalam peneletian, dan mencari solusi atau rekomendasi yang dapat diterapkan dalam konteks praktis. Studi literature dapat dilakukan sebagai riset yang mandiri atau sebagai bagian dari penelitian yang lebih besar (Darmadi.,2011)

Referensi :

- A.Harahap (2020) **“Simulasi Pembebanan Pada Shackle Menggunakan Perangkat Lunak Ansys”** APDL 15.0. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY,” vol. 4, no. 1, pp. 74–84.
- Nugroho, S. (2020). **“Pembuatan Prototype Kursi Roda Elektrik Dengan Fitur Berdiri Untuk Disabilitas Di Indonesia”** (Doctoral dissertation, universitas islam indonesia).
- AJIMAN, B. (2022). **“Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench”** (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- Dharma, K. K. (2018). **“Pemberdayaan keluarga untuk mengoptimalkan kualitas hidup pasien paska stroke”**. Deepublish
- Huddin, F. (2019). **“Sistem Kendali Kursi Roda Elektrik dengan Fitur Berdiri menggunakan Arduino”** (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Long-Chang Hsieh¹, T.-H. C.-J. (2016). **Desain Inovatif Kursi Roda dengan Lifting dan Fungsi Berdiri**. Proceedings of Engineering and Technology Innovation, vol. 4, 2016, 4, 10-12.

3.2.2 Desain Rangka Kursi Roda Fitur Berdiri

Langkah berikutnya yaitu melakukan pembuatan detail rangka kursi roda fitur berdiri. Dalam hal ini proses desain rangka yaitu menggunakan *software Solidworks 2018*.



Gambar 3.2 Rangka kursi roda fitur berdiri menggunakan *software Solidworks 2018*

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

3.2.3 Penentuan Material Rangka

Setelah mendapatkan rancangan rangka kursi roda dengan fitur berdiri, tahap selanjutnya dengan menentukan material rangka yang dibutuhkan yaitu menggunakan *Stainless steel type 316L*, karena bahan ini sesuai dengan standar ASME/ANSE.



Gambar 3.3 *Stainless Steel*

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Ukuran yang digunakan dalam bentuk pipa adalah $\frac{3}{4}$ inchi atau berdiameter luar 1,05 inchi sama dengan 26,7 mm dan memiliki ketebalan 0,109 inchi atau 2,87 mm. Sedangkan untuk bahan berbentuk kotak yang digunakan berukuran 25 mm x 25 mm dan memiliki ketebalan 2 mm. Untuk detailnya dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3. 1 Ukuran pipa *Stainless steel*

Stand ar Ukura n Pipa (inchi)	Diameter Luar		Schedule											
			5s		10s		10		20		30		STD	
	(mm)	(inche s)	mm (in)	kg/600 0 mm	mm (inchi)	kg/600 0 mm	mm (inchi)	kg/600 0 mm	mm (inchi)	kg/600 0 mm	mm (inchi)	kg/600 0 mm	mm (inchi)	kg/600 0 mm
1/8	10,3	0,405	-	-	1,25 (0,04 9)	1,68	1,25 (0,04 9)	1,68	-	-	-	-	1,73 (0,06 8)	2,22
1/4	13,7	0,540	-	-	1,66 (0,06 5)	2,94	1,66 (0,06 5)	2,94	-	-	-	-	2,24 (0,08 8)	3,78
3/8	17,2	0,675	-	-	1,66 (0,06 5)	3,84	1,66 (0,06 5)	3,84	2,0 (0,078)	4,56	-	-	2,32 (0,09 1)	5,10
1/2	21,3	0,840	1,65 (0,06 5)	4,86	2,11 (0,08 3)	6,06	2,11 (0,08 3)	6,06	2,5 (0,098)	6,96	-	-	2,77 (0,10 9)	7,62
3/4	26,7	1,050	1,65 (0,06 5)	6,12	2,11 (0,08 3)	7,68	2,11 (0,08 3)	7,68	2,5 (0,098)	9,11	-	-	2,87 (0,113)	10,08
1	33,4	1,315	1,65 (0,06 5)	7,80	2,77 (0,10 9)	12,54	2,77 (0,10 9)	12,54	3,0 (0,118)	13,62	-	-	3,38 (0,13 3)	15,20
1 1/4	42,2	1,660	1,65 (0,06 5)	9,96	2,77 (0,10 9)	16,14	2,77 (0,10 9)	16,14	3,15 (0,124)	18,66	-	-	3,56 (0,14)	20,34

(Sumber : *Schedule size Stainless steel book*.,2007)

3.2.4 Penentuan Variabel

1) Variabel Terikat

Variabel terikat (*Dependent variable*) adalah dalam suatu penelitian atau eksperimen yang nilainya bergantung pada variabel bebas atau faktor yang sedang diamati atau dimanupulasi. Oleh sebab itu variabel terikat juga dikatakan sebagai variabel terpengaruh. Berikut variabel terikat dalam penelitian adalah :

- Distribusi tegangan pada rangka kursi roda saat berubah menjadi berdiri (*standing*)
- Deformasi pada rangka kursi roda saat berubah menjadi berdiri (*standing*)
- Faktor keamanan pada rangka kursi roda saat berubah menjadi berdiri (*standing*)

2) Variabel terkontrol

Variabel terkontrol (*Controlled variable*) adalah variabel yang sengaja diatur atau dikendalikan agar nilai tetap konstan atau tidak berubah selama suatu eksperimen atau penelitian dilakukan. Variabel terkontrol juga disebut sebagai variabel control atau faktor terkontrol. Berikut variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

- Beban pengguna kursi roda maks. 75 kg

3) Variabel bebas

Variabel bebas (*Independent variabel*) adalah variabel yang diberikan atau manipulasi dalam suatu eksperimen. Variabel bebas juga biasa disebut sebagai variabel input atau faktor prediktor. Variabel bebas termasuk variabel yang berdiri sendiri atau

variabel yang tidak dipengaruhi variabel lainnya. Berikut variabel bebas dalam penelitian ini :

- Desain kursi roda dengan posisi duduk
- Desain kursi roda dengan posisi 45°
- Desain kursi roda dengan posisi berdiri

3.2.5 Pre-Processing

Pre-processing adalah tahap awal dalam menganalisis data model structural hal ini dilakukan bertujuan untuk mempersiapkan data, sebelum data tersebut diolah lebih lanjut agar supaya menghasilkan data yang lebih akurat. Dalam tahap ini desain kursi roda dengan fitur berdiri sudah dibuat menggunakan software Solidworks dan kemudian diimpor ke *Ansys Workbench* untuk di lakukan simulasi. Ada beberapa tahapan sebelum melakukan tes simulasi seperti di bawah ini :

a) Penentuan letak titik pembebanan

Penentuan letak titik beban pada struktur frame akan sangat penting dalam desain struktur bagaimana hal itu dapat mempengaruhi kekuatan dan keamanan struktur. Tujuan dari peletakan titik beban dalam simulasi ini adalah untuk mengetahui jika posisi titik terletak pada keadaan sebenarnya serta untuk memastikan bahwa beban pada struktur merata sehingga tidak ada bagian dari struktur yang kelebihan beban.

b) Penentuan nilai beban pada tiap titik pembebanan

Penentuan nilai beban pada tiap titik pembebanan merupakan nilai besaran beban yang akan diinput pada tiap letak titik pembebanan pada struktur.

c) Pembuatan meshing pada rangka

Pembuatan meshing pada rangka merupakan proses pembagian volume model menjadi bagian bagian kecil. Tujuan dari pembagian volume menjadi bagian bagian kecil adalah untuk ketelitian hasil daya komputasi analisisnya. Semakin kecil atau halus mesh yang akan dibuat maka hasil yang akan didapatkan akan semakin teliti, namun dibutuhkan daya komputasi yang semakin besar.

3.2.6 Simulation Processing

Simulation processing merupakan sebuah tahapan yang harus dilakukan karena berkaitan dengan penentuan kondisi batas dalam sebuah simulasi structural sebab data dan hasil dari simulasi ini untuk menghasilkan informasi yang berguna dan dapat digunakan untuk pengembangan sistem.

1) Analisis Distribusi Tegangan

Analisis distribusi tegangan merupakan perhitungan tegangan *equivalent* pada sistem, yang merupakan kombinasi dari tiga jenis tegangan, yaitu tegangan normal, tegangan geser dan tegangan hubungan.

2) Analisis Deformasi

Deformasi merupakan pergeseran atau perpindahan yang terjadi pada material akibat pembebanan yang diberikan. hal ini untuk membantu menjelaskan keamanan terutama umur penggunaan material dalam suatu konstruksi, dimana semakin besar tegangan maka deformasinya pun semakin besar maka tingkat keamanannya semakin kecil begitu juga sebaliknya.

3) Analisis Faktor Keamanan

Analisis faktor keamanan ialah hasil dari perbandingan tegangan luluh sesungguhnya terhadap tegangan maksimum yang terjadi dan sangat tergantung pada berbagai parameter. Parameter-parameter utama yang harus diperhatikan adalah jenis material, tipe dan mekanisme aplikasi beban, keadaan diberi tegangan, jenis komponen dan lain- lain.

3.2.7 Post-Processing

Post-Processing merupakan tahap terakhir dalam tahap simulasi structural, dimana proses pengolahan data yang didapat dari hasil simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang lebih spesifik dan terperinci dari data yang telah terkumpul dari penelitian.

1) Nilai Distribusi Tegangan

Nilai distribusi tegangan adalah nilai tegangan pada setiap titik dalam suatu struktur data tegangan setelah simulasi selesai. Analisis distribusi tegangan dapat memberikan informasi tentang nilai maksimum tegangan, nilai minimum tegangan, dan lokasi dimana tegangan tersebut terjadi. Informasi ini dapat membantu dalam perancangan pada rangka kursi roda.

2) Nilai Deformasi

Nilai deformasi mengacu pada perubahan bentuk yang terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Informasi tentang nilai deformasi sangat penting karena sebesar apapun gaya yang bekerja pada material, material akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi.

3) Nilai Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan merujuk pada perbandingan antara kapasitas atau daya

tahan suatu sistem atau material dengan beban atau tekanan yang diberikan pada rangka kursi roda. Nilai faktor keamanan menggambarkan seberapa besar kekuatan material dapat menahan beban atau tekanan sebelum mencapai titik kegagalan atau kerusakan. Nilai faktor keamanan juga digunakan untuk memastikan bahwa material rangka tersebut memiliki tingkat keamanan yang memadai bagi pasien pasca stroke. Faktor- faktor yang dapat mempengaruhi nilai faktor keamanan termasuk sifat material, beban yang diberikan, dan bentuk material.

3.2.8 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah pengamatan data dari masing- masing simulasi analisis berdasarkan data seperti nilai distribusi tegangan, nilai deformasi, dan nilai faktor keamanan yang kemudian dipelajari dan dibahas untuk mencari kelemahan pada kursi rodaselanjutnya hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan akan disimpulkan oleh peneliti.

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Mengambil kesimpulan dari setiap analisis yang dilakukan mulai dari awal sampai akhir dari suatu penelitian pembahasan yang berdasarkan informasi yang telah dikumpulkan. Jika pada analisis ada yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan informasi dan mengatasi masalah yang telah diidentifikasi, maka akan dibuatkanusulan atau saran.

3.3 Perangkat Penelitian

1. Laptop

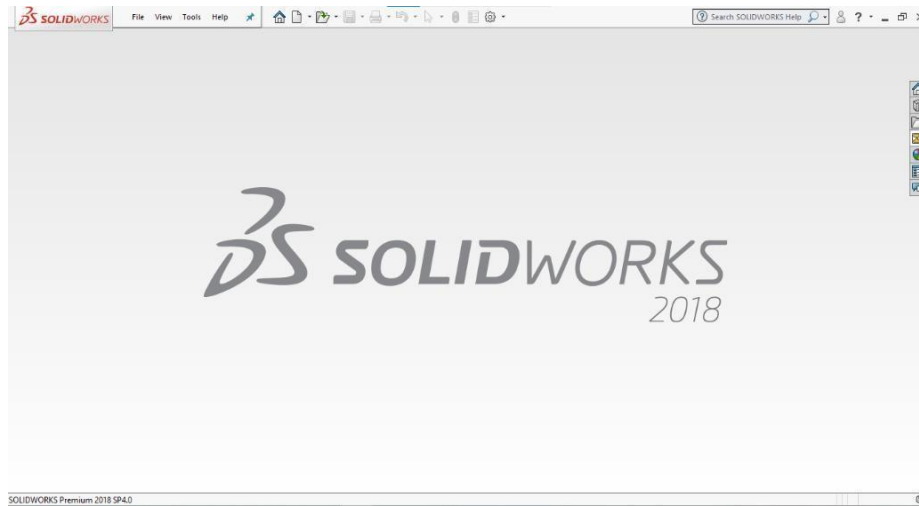


Gambar 3.4 Laptop

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

2. Software Solidworks

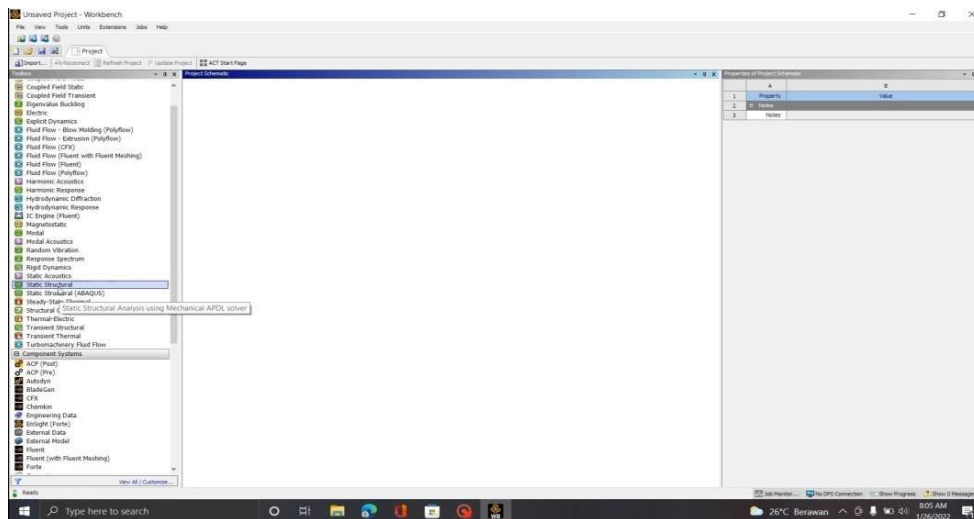
Software Solidworks dipakai untuk mendesain gambar sketsa dari model rangka kursi roda dan menjadikannya menjadi 3 dimensi beserta ukuran dan bentuk yang dibuat dengan fitur-fitur yang tersedia.



Gambar 3.5 Tampilan awal *software Solidworks 2018*

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

3. Software ANSYS Workbench

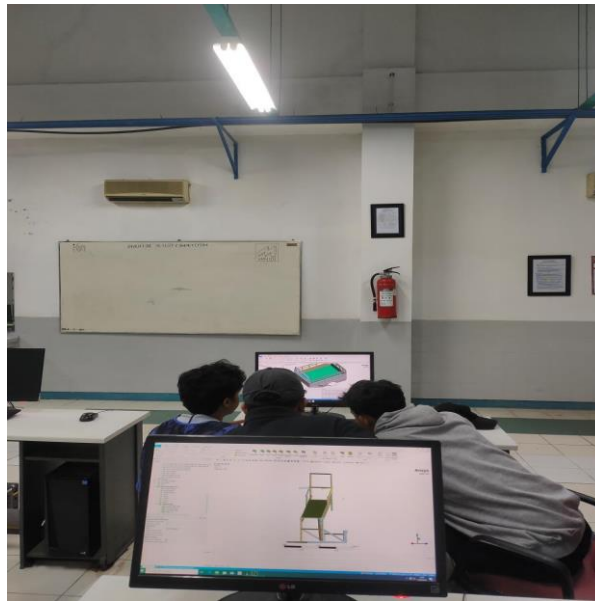


Gambar 3.6 Tampilan awal *software ANSYS Workbench*

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Software ANSYS Workbench adalah *software* yang digunakan untuk mensimulasikan model rangka kursi roda untuk kemudian memasukkan nilai properti material dan memasukkan gaya atau beban untuk mengetahui nilai dari hasil analisis yang telah dilakukan pada rangka kursi roda.

3.2 Tempat dan Waktu



Gambar 3.7 Laboratorium Komputer ITN Malang

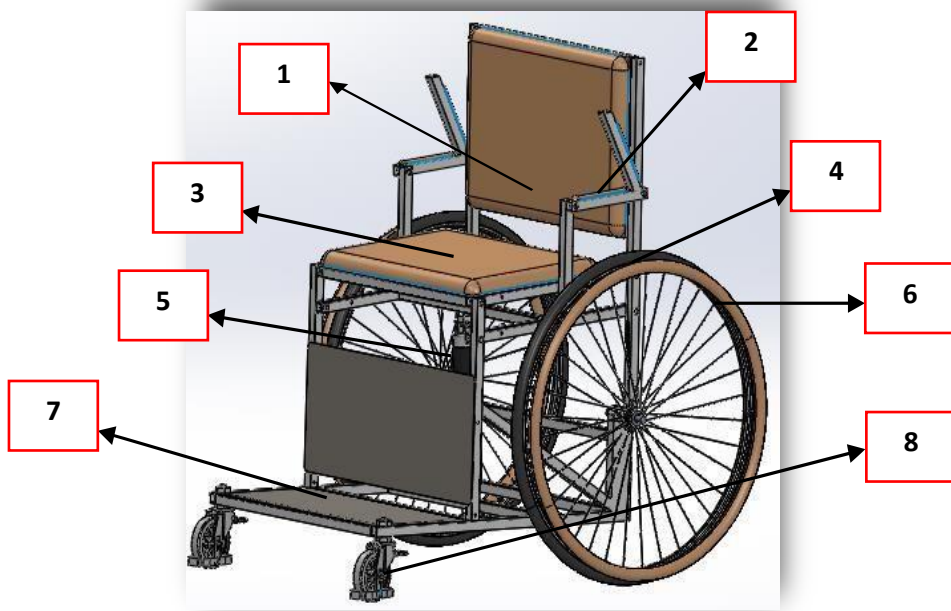
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Proses pembuatan desain model rangka kursi roda fitur berdiri dengan software Solidworks dilakukan di rumah penulis dan untuk pemrograman simulasi pada software *ANSYS Workbench* dilakukan di Laboratorium Komputer Progam Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri kampus 2 ITN Malang. Peneletian ini dilakukan pada tanggal 15 April sampai dengan 2 Juni 2023.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Perancangan Desain

Model desain kursi roda yang akan dipakai merupakan model kursi roda yang dapat berdiri. Rancangan desain ini berjenis 3D yang dibuat dengan menggunakan *software Solidworks*. Berikut ini rancangan desain dari model rangka kursi roda :



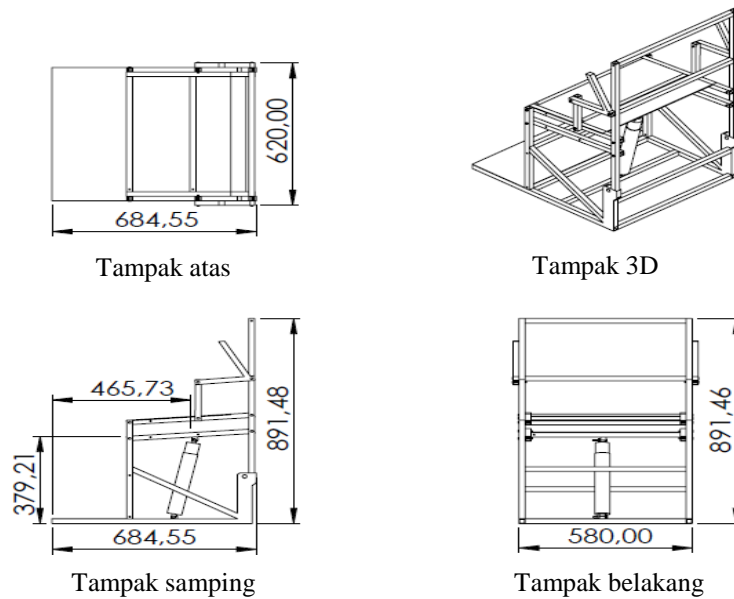
Gambar 4. 1 Desain 3D kursi roda

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Keterangan Gambar:

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1. Backrest | 5. Hydraulic |
| 2. Armrest | 6. Handrim |
| 3. Seat | 7. Footrest |
| 4. Rear wheels | 8. Casters wheels |

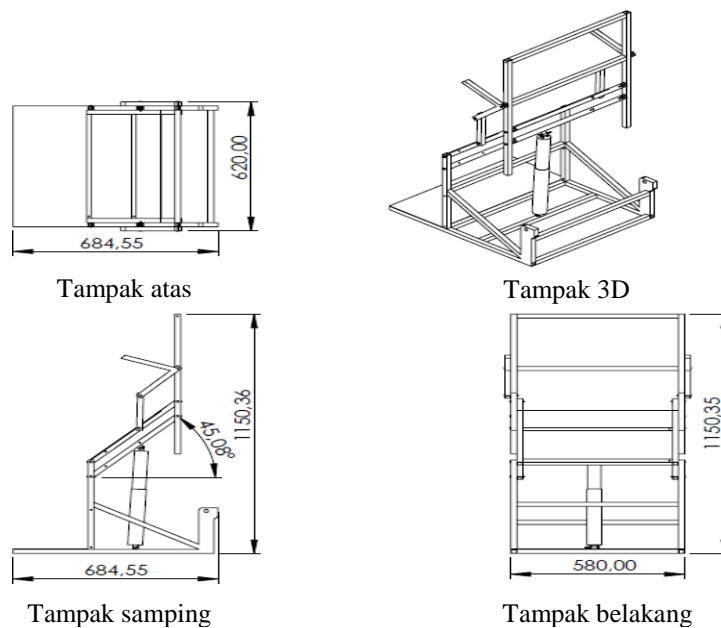
4.1.1 Desain Rangka 2D Kursi Roda Posisi Duduk



Gambar 4. 2 Dimensi rangka kursi roda posisi duduk
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Dari gambar 4.2 profil rangka kursi roda duduk memiliki tinggi 891,46 mm, panjang rangka sebesar 684,55, Lebar backrest sepanjang 620 mm, jarak tempat duduk sampai footrest memiliki jarak 465,73 mm, tinggi tempat duduk sampai permukaan bawah sebesar 379,21 mm

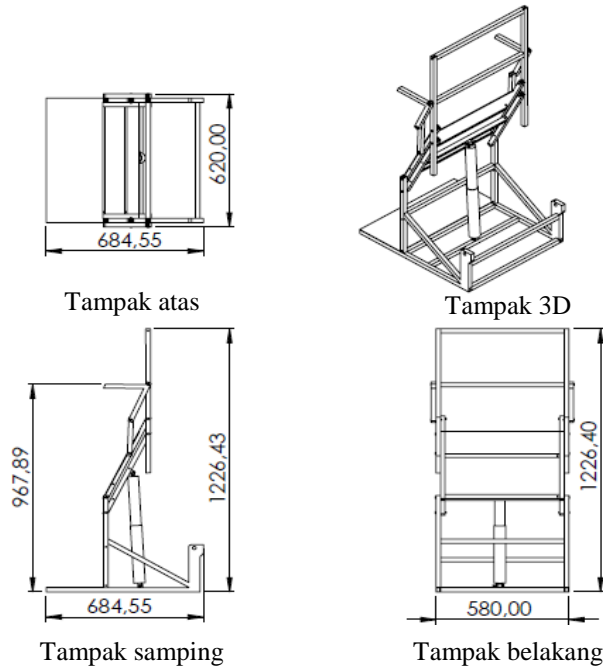
4.1.2 Desain Rangka 2D Kursi Roda Posisi 45°



Gambar 4. 3 Dimensi rangka kursi roda posisi 45°
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Dari gambar 4.3 profil rangka kursi roda berdiri 45° derajat memiliki tinggi 1150,36 mm, panjang rangka sebesar 684,55 mm, profil rangka pada bagian seat memiliki sudut kemiringan 45° derajat dan lebar rangka sebesar 580 mm.

4.1.3 Desain Rangka 2D Kursi Roda Posisi Berdiri



Gambar 4. 4 Dimensi rangka kursi roda posisi berdiri

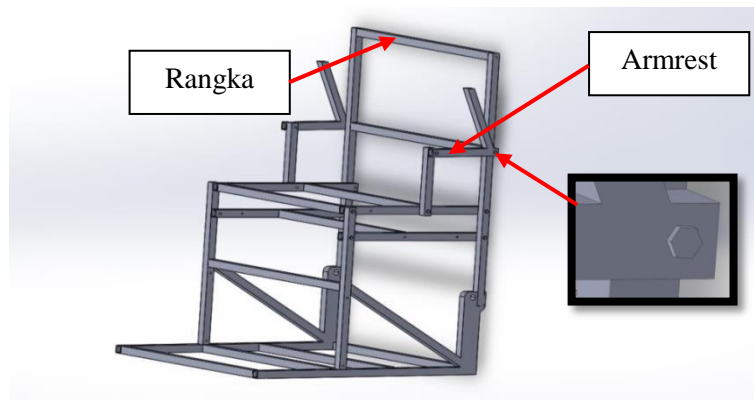
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Dari gambar 4.4 profil rangka kursi roda berdiri memiliki tinggi 1226,40 mm, panjang rangka sebesar 684,55, Lebar rangka pada bagian belakang backrest sepanjang 620 mm, lebar rangka pada bagian bawah sebesar 580 mm, jarak armrest sampai permukaan bawah sebesar 967,89 mm

4.1.4 Design Of Assembly

Assembly merupakan proses penggabungan bagian-bagian dari komponen rangkakursi roda sehingga menghasilkan satu kesatuan dari kursi roda tersebut sesuai dengan fungsi masing-masing.

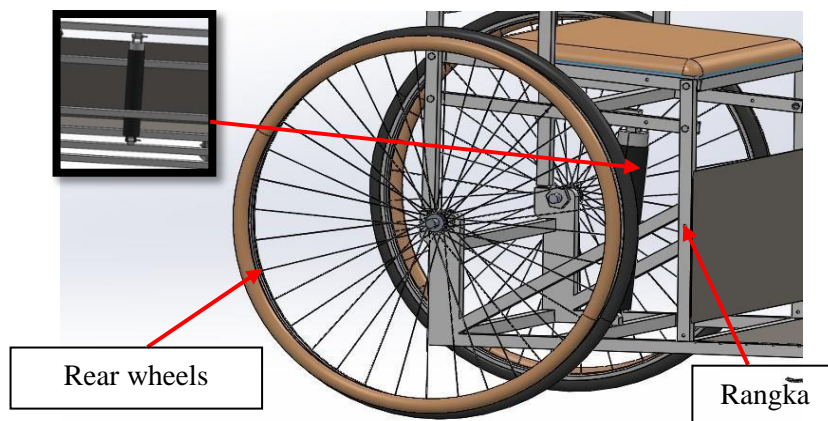
1. Pada rangka kursi roda beberapa baut dipasangkan pada beberapa sisi untuk menyambungkan dari material satu ke yang lainnya, seperti contoh pada bagian armrest (sandaran lengan) sudah terpasang baut.



Gambar 4. 5 Rangka kursi roda dan armrest sesudah di assembly

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

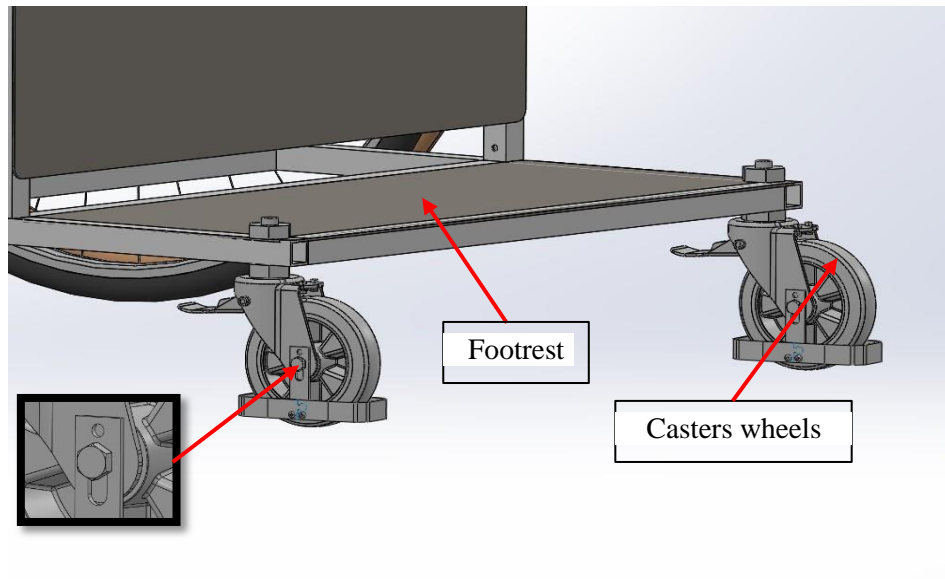
2. Hidrolik dipasang pada rangka tepat berada di tengah-tengah antara wheels (roda belakang) dengan menggunakan baut



Gambar 4. 6 Desain hidrolik sesudah di assembly

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

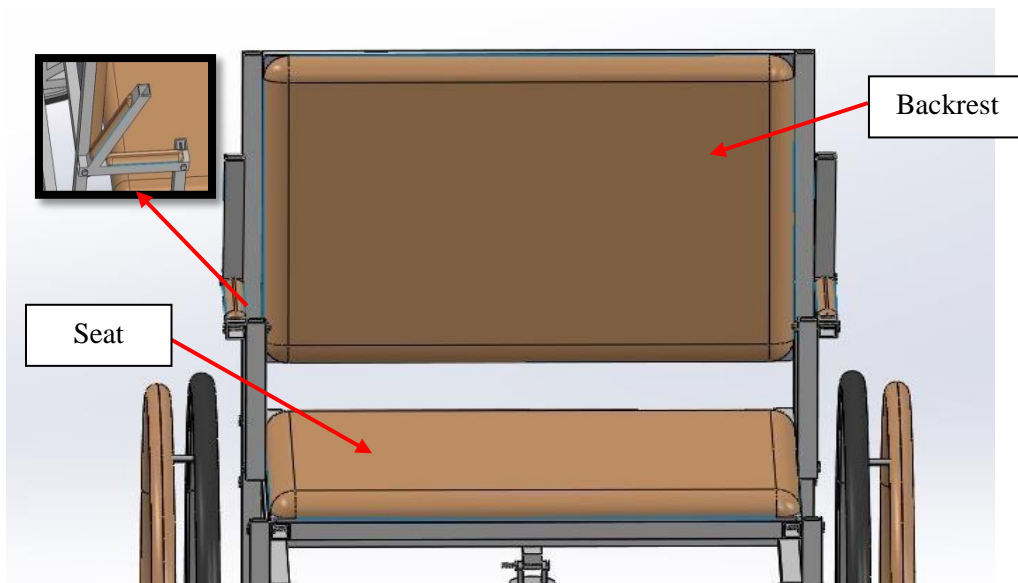
3. Roda depan (Casters wheels) diletakkan pada bagian bawah footrest (pijakan kaki) dengan bantuan baut



Gambar 4. 7 Desain roda depan sesudah di assembly

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

4. Bantalan pada kursi roda diletakkan pada bagian sandaran badan (backrest) dan dudukan (seat) pada rangka serta pada bagian armrest, dipasang dengan bantuan baut.



Gambar 4. 8 Bantalan pada kursi roda sesudah di assembly

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

4.2 Pemberian Beban/Load

4.2.1 Berat Pengendara

Pembebanan dilakukan sebagai salah satu tahapan proses dari simulasi static structural pada *software ANSYS*. Beban dari pengendara didistribusikan kepada struktur rangka kursi roda sesuai dengan bentuk tubuh pengendara. Nilai dari tubuh pengendara dipisahkan menjadi bagian-bagian terpisah, seperti kepala, leher, lengan, tangan, batang tubuh, paha, betis, dan kaki.

Tabel 4. 1 Tabel Estimasi Setiap Segment Massa
Pada Tubuh Manusia (Kroemer Elbert.,2010)

<i>Segment</i>	<i>Empirical equation</i>	<i>Standard error of estimate</i>
Head	$0.0306W + 2.46$	0.43
Head and neck	$0.0534W + 2.33$	0.60
Neck	$0.0146W + 0.60$	0.21
Head, neck and torso	$0.5940W - 2.20$	2.01
Neck and torso	$0.5582W - 4.26$	1.72
Total arm	$0.0505W + 0.01$	0.35
Upper arm	$0.0274W - 0.01$	0.19
Forearm and hand	$0.0233W - 0.01$	0.20
Forearm	$0.0189W - 0.16$	0.15
Hand	$0.0055W + 0.07$	0.07
Total leg	$0.1582W + 0.05$	1.02
Thigh	$0.1159W - 1.02$	0.71
Shank and foot	$0.0452W + 0.82$	0.41
Shank	$0.0375W + 0.38$	0.33
Foot	$0.0069W + 0.47$	0.11

Berdasarkan tabel yang didapat dari buku "*Engineering Physiology Bases Of Human Factors Engineering/Ergonomic* (Kroemer, Kroemer, and Kroemer-Elbert 2010), gaya yang digunakan dalam pengujian kekuatan material rangka dapat dihitung menggunakan perhitungan empiris tersebut.

Pembebanan/load dari tubuh pengendara yang akan ditempatkan pada rangka untuk simulasi static structural akan ditempatkan pada 3 titik dengan berat pengendara yang ditetapkan sebesar $W = 75$ kg, berikut perhitungan pada tiap titik pembebanan dari kursi roda posisi duduk, kursi roda posisi berdiri 45° derajat, dan kursi roda posisi berdiri:

- **Titik Pembebanan Kursi Roda Posisi Duduk**

a) Titik pertama adalah gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} terdiri dari berat bagian tubuh lengan bawah dan tangan. Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya total Forearm and hand $(0.0233W - 0,01)$ dikali gravitasi:

$$F_{p1} = (0.0233 \times 75 - 0,01) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p1} = 17,044 \text{ N}$$

b) Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat anggota tubuh. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya Head, neck, torso + thigh $(0.5940W - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02)$ dikali gravitasi:

$$F_{p2} = (0.5940 \times 75 - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

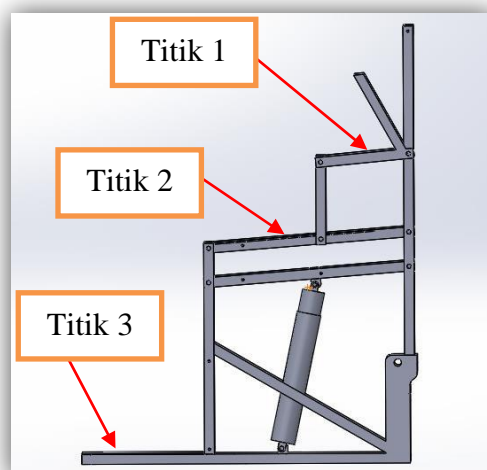
$$F_{p2} = 415,453 \text{ N} + 75,267 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 490,720 \text{ N}$$

c) Titik ketiga adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya total foot $(0.0069W + 0.47)$ dikali gravitasi:

$$F_{p3} = (0.0069 \times 75 + 0.47) \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p3} = 9,687 \text{ N}$$



Gambar 4. 9 Titik pembebanan rangka kursi roda posisi duduk

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

- **Titik Pembebanan Kursi Roda Posisi 45° derajat**

a) Titik pertama adalah gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} terdiri dari berat anggota tubuh bagian lengan bawah, tangan. Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya total forearm dan hand $(0.0233W - 0,01)$ dikali gravitasi:

$$F_{p1} = (0.0233 \times 75 - 0,01) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p1} = 17,044 \text{ N}$$

b) Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kepala, leher, batang tubuh dan paha. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya Head, neck, torso + Thigh $(0.5940W - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02)$ dikali gravitasi:

$$F_{p2} = (0.5940 \times 75 - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

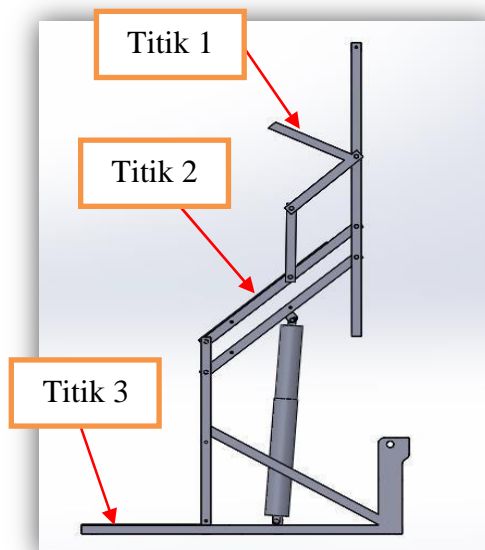
$$F_{p2} = 415,453 \text{ N} + 75,267 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 490,720 \text{ N}$$

c) Titik kedua adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya foot $(0.0069W + 0,47)$ dikali gravitasi:

$$F_{p3} = (0.0069 \times 75 + 0,47) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p3} = 9,687 \text{ N}$$



Gambar 4. 10 Titik pembebanan rangka kursi roda posisi 45°

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

- **Titik Pembebanan Kursi Roda Posisi Berdiri**

- a) Titik pertama adalah gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} terdiri dari berat bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan tangan. Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya total arm $(0.0505W + 0,01)$ dikali gravitasi:

$$F_{p1} = (0.0505 \times 75 + 0,01) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p1} = 37,253 \text{ N}$$

- b) Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kepala, leher, batang tubuh dan paha. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya Head, neck, torso + Thigh $(0.5940W - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02)$ dikali gravitasi:

$$F_{p2} = (0.5940 \times 75 - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

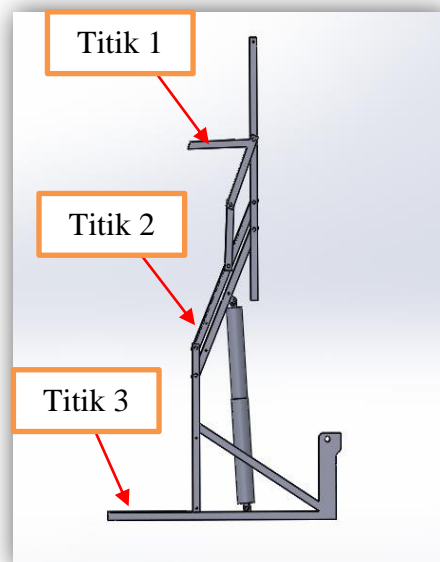
$$F_{p2} = 415,453 \text{ N} + 75,267 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 490,720 \text{ N}$$

- c) Titik ketiga adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat anggota tubuh badan bagian, paha, betis dan kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya total leg $(0.1582W + 0.05)$ dikali gravitasi:

$$F_{p3} = (0.1582 \times 75 + 0.05) \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{p3} = 116,886 \text{ N}$$



Gambar 4. 1 Titik pembebanan pada rangka kursi roda posisi berdiri

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

4.2.2 Berat Komponen Rangka

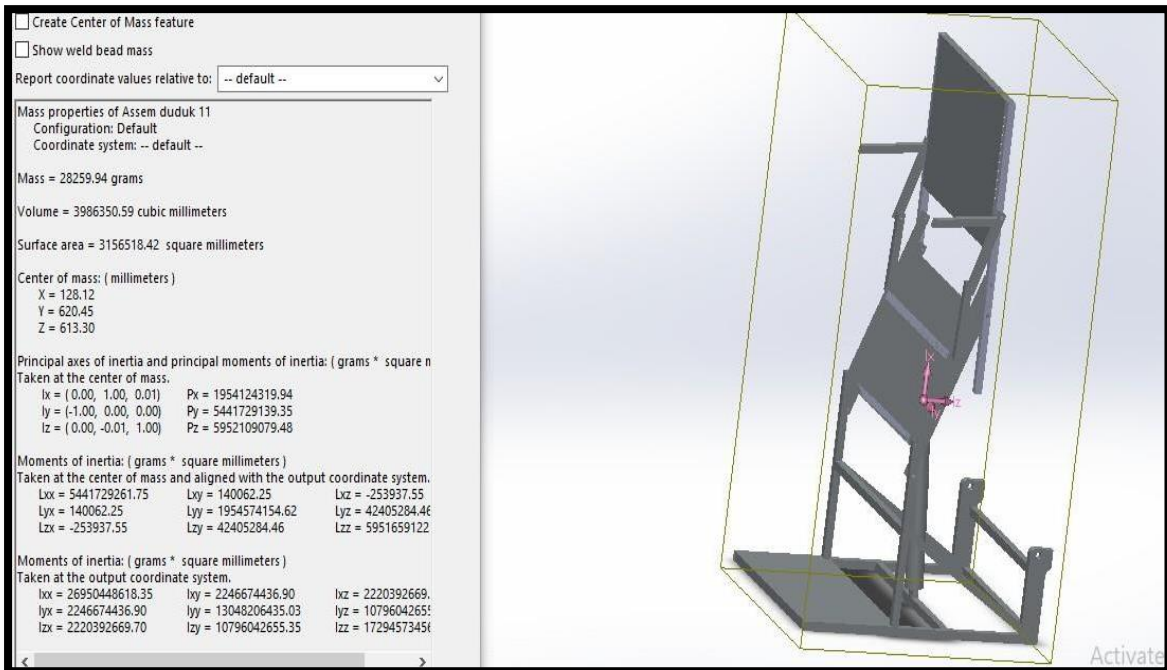
- *Stainless Steel 316L*

Berdasarkan analisa perhitungan berat rangka dengan material *Stainless steel* tipe 316L menggunakan fitur *mass properties* dalam *software Solidworks* sebesar 28259,94 gram atau 28,25994 kg. Maka gaya pada rangka tersebut adalah berat massa rangka dikalikan dengan gravitasi yaitu:

$$W = m \cdot g$$

$$W = 28,25994 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 277,2300 \text{ N}$$



Gambar 4. 12 Mass properties rangka *Stainless steel 316L*

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Tabel 4.2 Berat Komponen Kursi Roda

Komponen Kursi Roda	Berat	Jumlah	Berat Total
Backrest	2200 g	1	2,2 kg
Armrest	520 g	2	0,52 kg
Seat	2500 g	1	2,5 kg
Rear Wheels	1000 g	2	1 kg
Hydraulic	15000 g	1	15 kg
Handrim	800 g	2	0,8 kg
Footrest	2000 g	1	2 kg
Caster Wheels	900 g	2	0,9 kg
Total	28,140 g	12	28,14 kg

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

4.2.3 Perhitungan Beban Rangka

Setelah melakukan perhitungan pembebanan, langkah berikutnya adalah menggabungkan beban dari berat pengendara dengan beban dari komponen yang ditopang oleh rangka kursi roda sesuai dengan letak titik pembebanan yang telah ditetapkan. Dengan menggabungkan beban berat pengendara dan beban komponen sepeda maka diperoleh nilai titik pembebanan pada rangka kursi roda untuk dasar perhitungan dan analisa yang akan dilakukan.

➤ **Kursi Roda Posisi Duduk**

Titik 1, Titik 2, Titik 3 berat pengendara ditambah dengan berat komponen (*Armrest, Seat, Footrest*)

$$FA = 517,451 + 5,020 \text{ g}$$

$$FA = 522,471$$

➤ **Kursi Roda Posisi 45°**

Titik 1, Titik 2, Titik 3 berat pengendara ditambah dengan berat komponen (*Armrest, Seat, Footrest, Hydraulic*)

$$FA = 517,451 + 20,020 \text{ g}$$

$$FA = 537,471$$

➤ **Kursi Roda Posisi Berdiri**

Titik 1, Titik 2, Titik 3 berat pengendara ditambah dengan berat komponen (*Armrest, Seat, Footrest, Hydraulic*)

$$FA = 644,859 + 20,020 \text{ g}$$

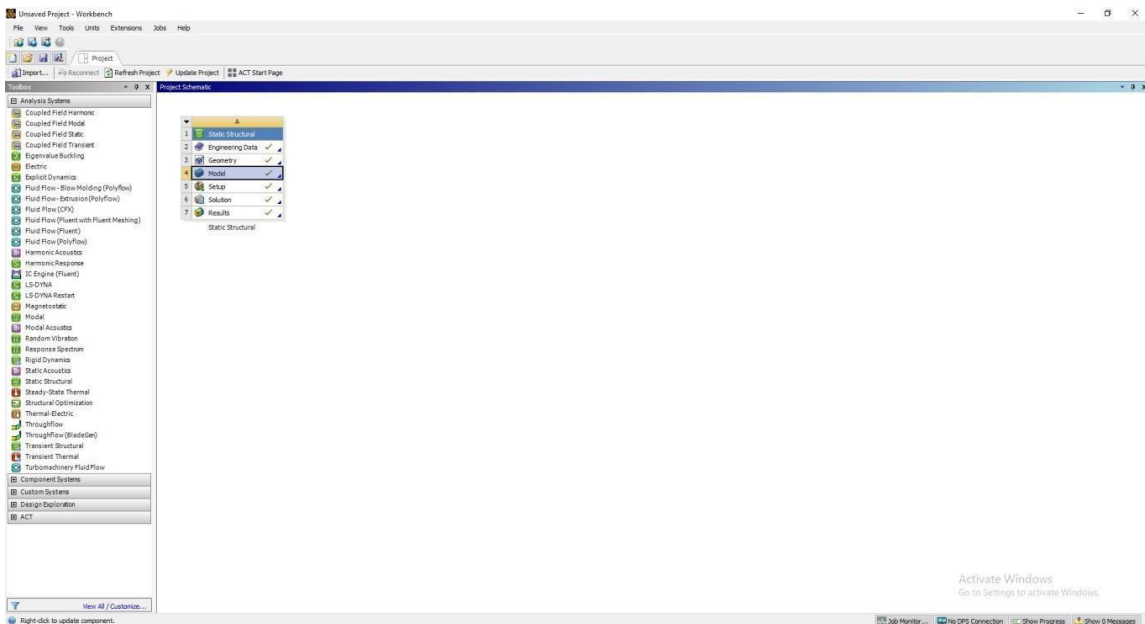
$$FA = 664,879$$

4.3 Simulasi Metode Elemen Hingga

Simulasi perhitungan FEM atau metode elemen hingga pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software ANSYS static structural*, untuk melihat fenomena perubahan struktur yang terjadi akibat adanya deformasi pada desain rangka yang telah ditentukan. Adapun simulasi yang dilakukan sebanyak 3 kali dengan desain yang berbeda-beda yaitu desain rangka kursi roda posisi duduk, desain rangka kursi roda posisi 45° derajat, dan desain rangka kursi roda posisi berdiri

4.3.1 Proses pemrograman simulasi

Setelah didapatkan rancangan desain untuk model rangkanya, tahap selanjutnya yaitu melakukan proses simulasi pada software *ANSYS workbench*. Tahapan awal yang dilakukan pada software *ANSYS Workbench* yaitu mengatur engineering data, kemudian memasukkan geometri gambar yang sudah dibuat, berikutnya melakukan proses meshing dan memasukkan variabel-variabel yang dibutuhkan untuk dilakukannya simulasi.



Gambar 4. 13 Tampilan awal program *ANSYS Workbench*

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Pada simulasi *Ansys Workbench* kali ini menggunakan fitur analysis system static structural yang dimana akan digunakan dalam perhitungan analisa kekuatan statis dari desain rangka.

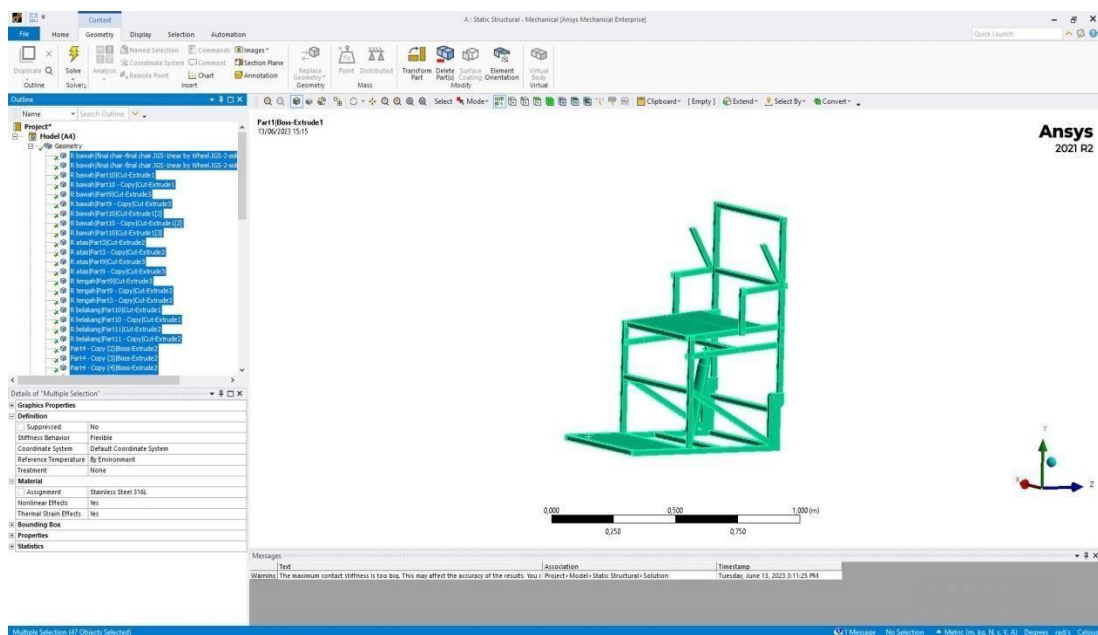
Tahapan dalam proses pemrograman statik struktural:

1. Engineering data

Pada tahap ini dilakukan pemilihan jenis material pada geometri kursi roda yang akan disimulasikan. Material yang digunakan adalah material *Stainless steel 316L* dengan nilai yield strength dan ultimate tensile strength sesuai dengan rata-rata hasil pengujian tarik yang telah didapat dimana yield strength sebesar 205 Mpa dan ultimate tensile strength sebesar 515 Mpa. Hal ini bertujuan agar nilai yield dan ultimate tensilenya sesuai dengan keadaan asli material yang digunakan pada prototype kursi roda yang dibuat.

2. Geometry

Proses input geometri ini dilakukan untuk memasukkan geometri rancangan desain yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan *Software Solidworks* yang disimpan dalam format file STEP AP214(*.STEP). Pada tahap ini dapat juga digunakan untuk memeriksa keadaan geometri dari rancangan yang diinput, apakah rancangan desain sudah sesuai dengan apa yang diharapkan dan juga pada tahap ini dapat digunakan untuk mendeteksi geometri dari rancangan yang dibuat mengalami masalah atau tidak oleh pembacaan program *ANSYS*.

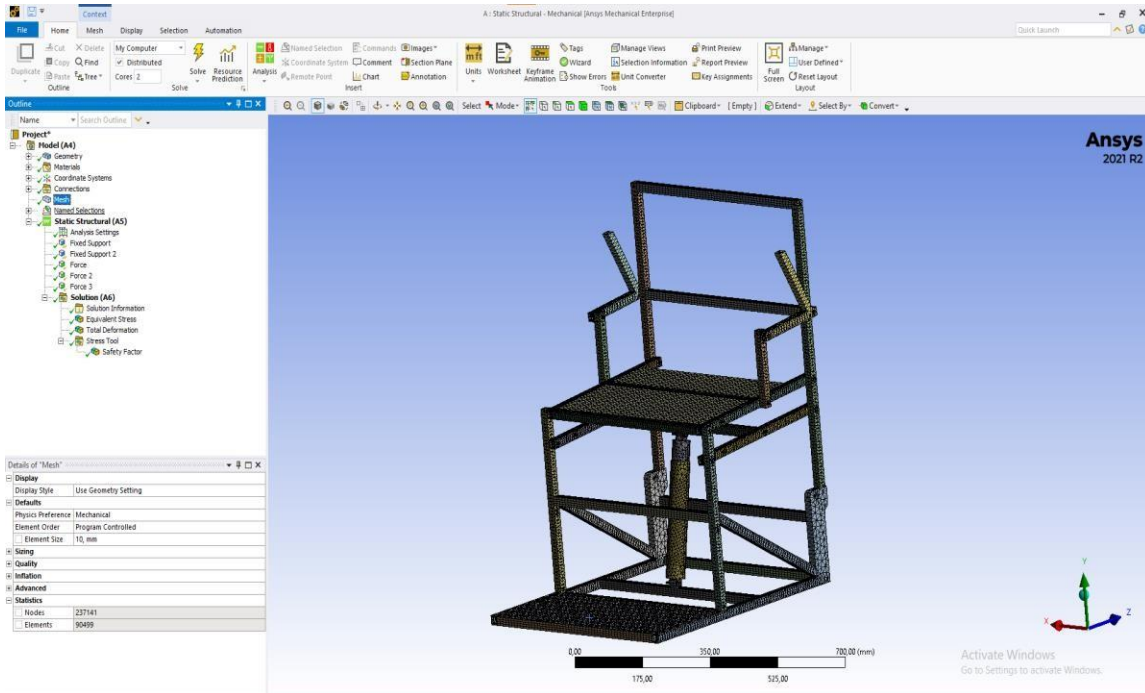


Gambar 4. 14 Tampilan Geometry menggunakan Design Modeler

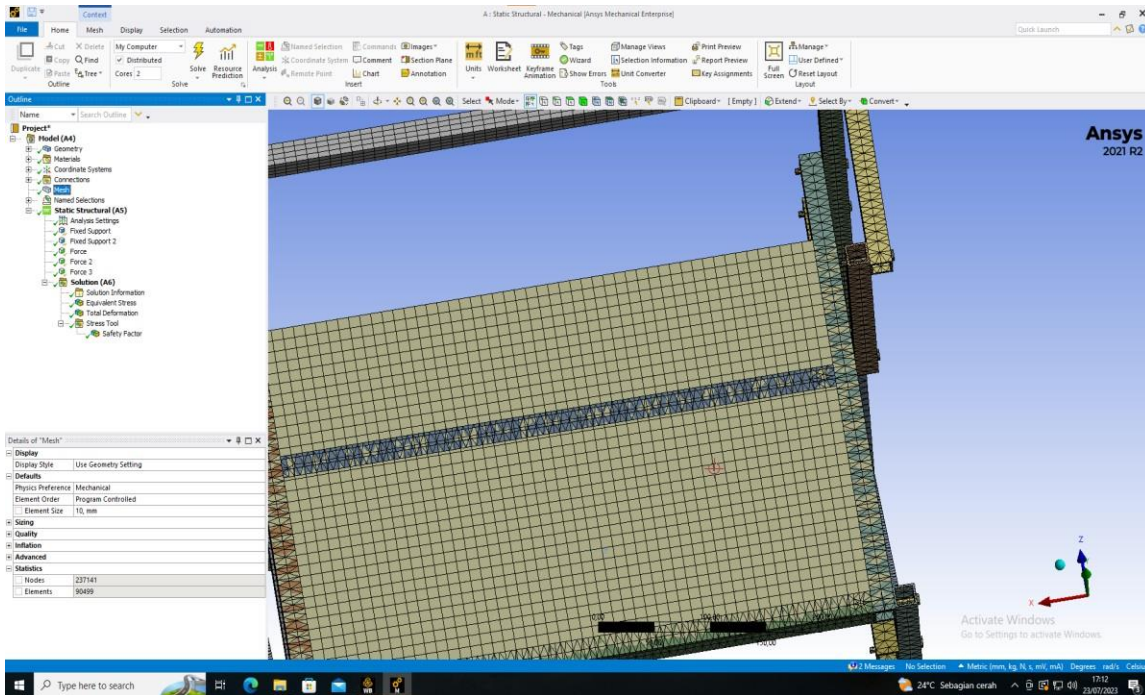
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

3. Meshing

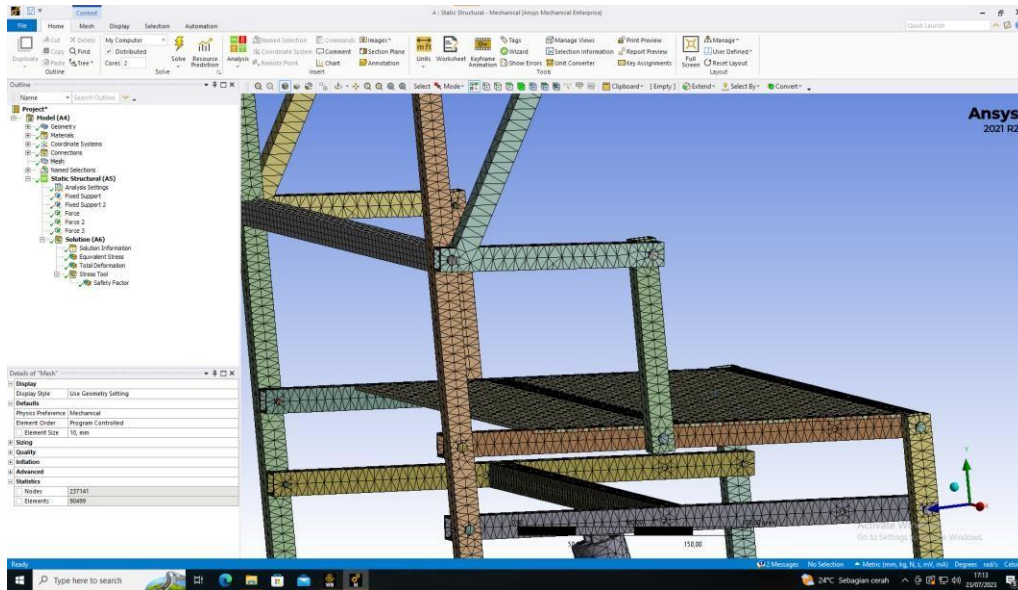
Proses meshing geometri rancangan dilakukan agar proses simulasi numerik dapat dijalankan pada geometri desain rangka. Pada simulasi kali ini didapatkan proses meshing dengan ukuran mesh sebesar 10 mm dengan nodes sebanyak 237,141 dan elements sebanyak 90,499 dan bentuk mesh yang dihasilkan berupa tetrahedon dan hexahedon.



Gambar 4. 15 Tampilan meshing pada rangka
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)



Gambar 4. 16 Tampilan mesh secara zoom in
(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)



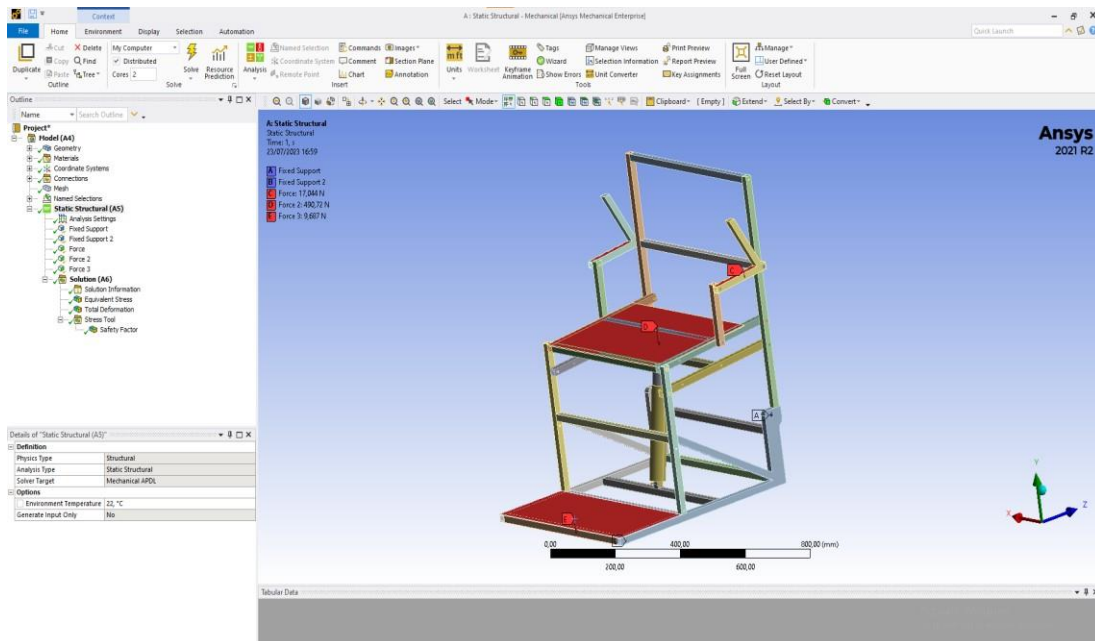
Gambar 4. 17 Tampilan mesh zoom in tampak samping

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

4. Fixed support dan Force (pembebanan)

Tahap selanjutnya yaitu menentukan bagian mana saja yang akan menjadi tumpuan dan bagian yang diberi pembebanan. Tumpuan pada rancangan rangka ini terdapat pada gambar dibawah ini.

❖ Kursi roda posisi duduk



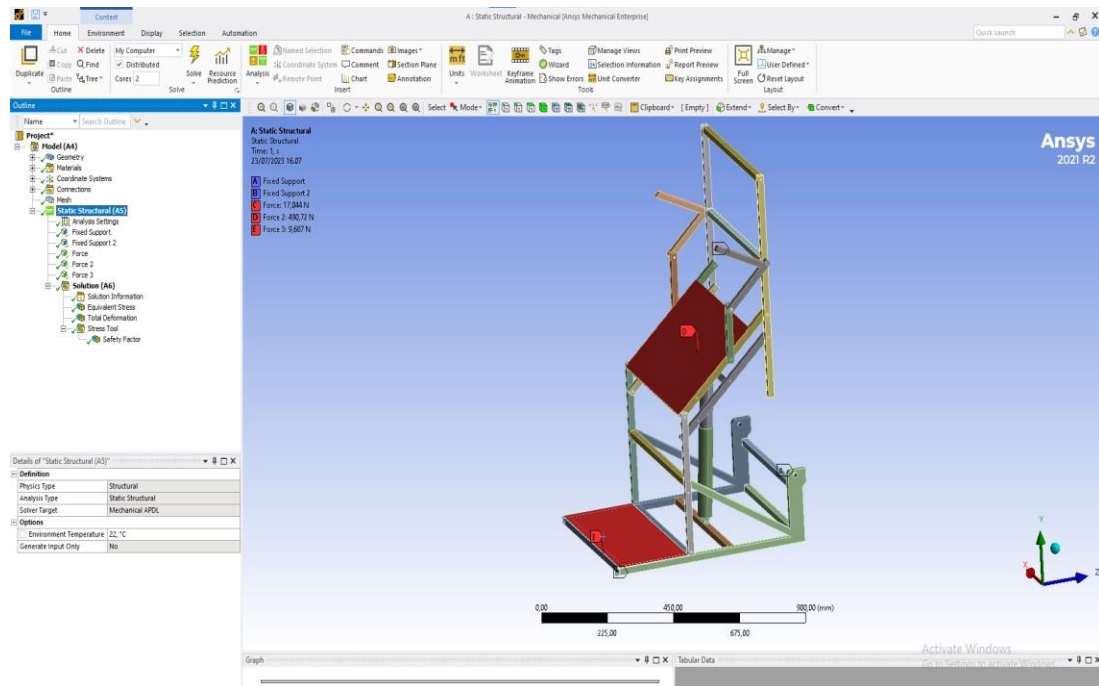
Gambar 4. 18 Letak pembebanan pada kursi roda duduk

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Tabel 4. 3 Nilai titik pembebanan kursi roda posisi duduk

	Titik pembebanan	Asal pembebanan	Nilai pembebanan
1	Titik C	Forearm and hand	17,044 N
2	Titik D	Head,neck,torso + thigh	490,720 N
3	Titik E	Foot	9,687 N

❖ Kursi roda posisi 45°



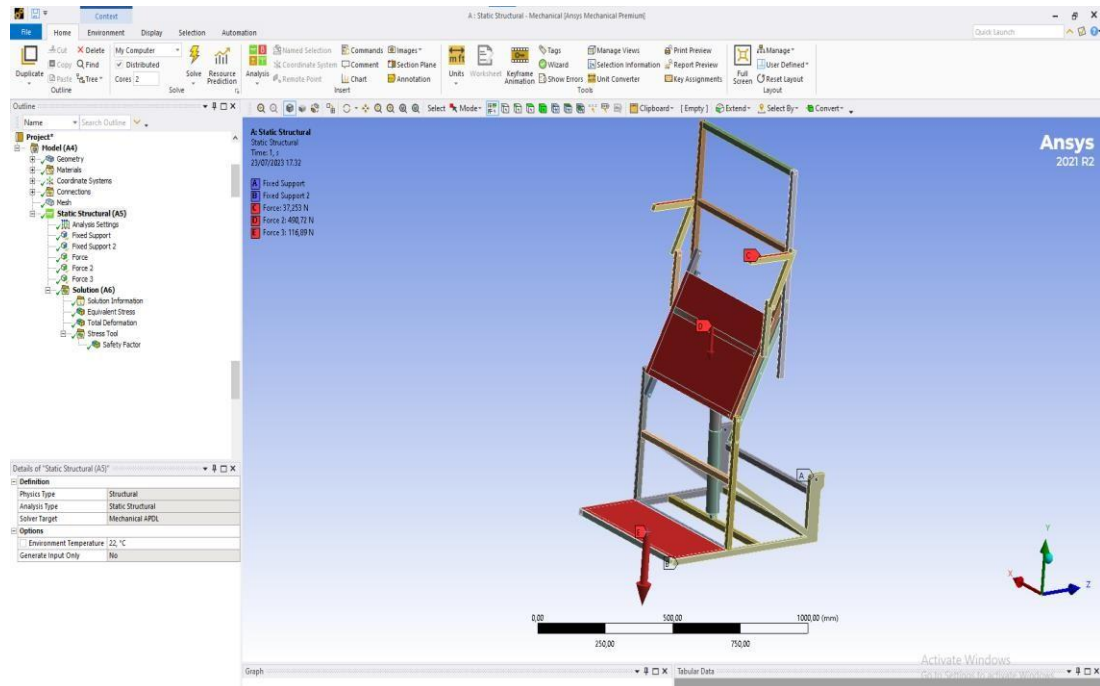
Gambar 4. 19 Letak pembebanan pada kursi roda posisi 45°

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Tabel 4. 4 Nilai titik pembebanan kursi roda posisi 45°

	Titik pembebanan	Asal pembebanan	Nilai pembebanan
1	Titik C	Forearm and hand	17,044 N
2	Titik D	Head,neck,torso + thigh	490,720 N
3	Titik E	Foot	9,687 N

❖ Kursi roda berdiri



Gambar 4. 20 Letak pembebanan pada kursi roda berdiri

(Sumber : Rizqi Fathur.,2023)

Tabel 4. 5 Nilai titik pembebanan kursi roda posisi berdiri

	Titik pembebanan	Asal pembebanan	Nilai pembebanan
1	Titik C	Total arm	37.253 N
2	Titik D	Head,neck,torso + thigh	75,267 N
3	Titik E	Total leg	116,886 N

5. Solution

Tahapan berikutnya yaitu memasukkan parameter solusi dimana bentuk hasil dari perhitungan yang diinginkan untuk diproses pada simulasi ini. Parameter yang ditetapkan antara lain: total deformation yang akan digunakan sebagai nilai total deformasi, equivalent stress(von-mises) sebagai nilai distribusi tegangan, dan safety faktor sebagai nilai faktor keamanan. Selanjutnya yaitu proses perhitungan numerik simulasi static structural dijalankan.

6. Result

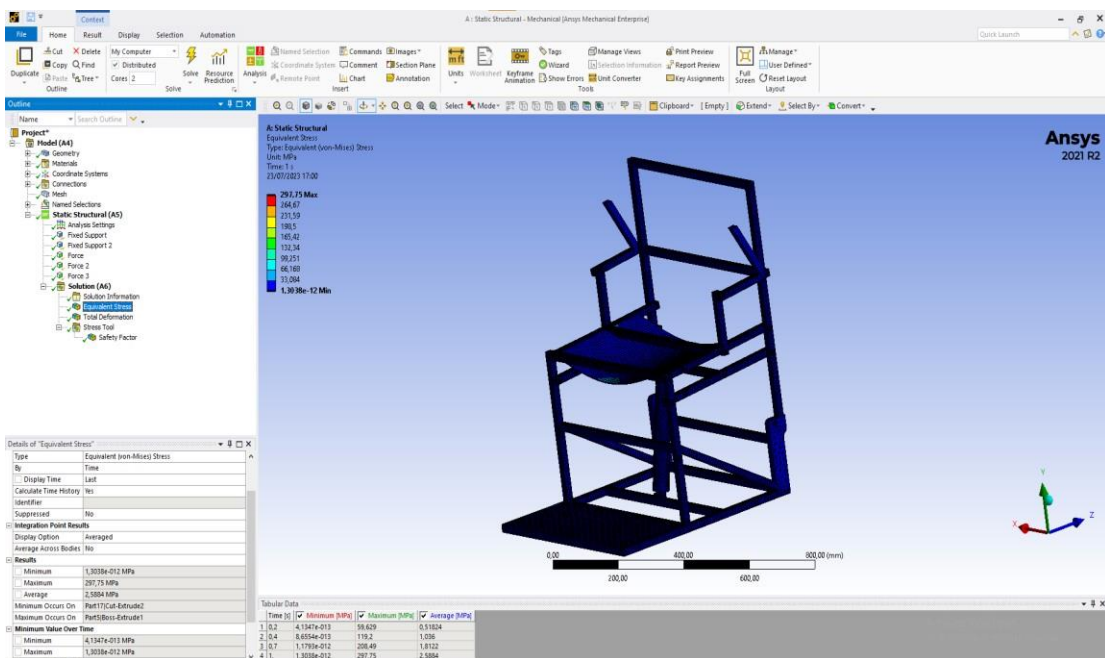
Pada tahap ini menampilkan data hasil perhitungan sesuai dengan yang telah diprogram dalam solution. Data hasil berupa geometry dan report preview yang dapat diambil sebagai hasil perhitungan simulasi pada rancangan rangka.

4.4 Parameter yang dihasilkan

Data yang dihasilkan dari simulasi berupa gambaran fenomena statika struktur pada rancangan rangka yang dibagi menjadi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Berikut ini data yang didapatkan dari simulasi setiap rancangan rangka dengan model kursi roda yang berbeda:

4.4.1 Simulasi kursi roda posisi duduk

1) Distribusi Tegangan (*Equivalent Stress*)

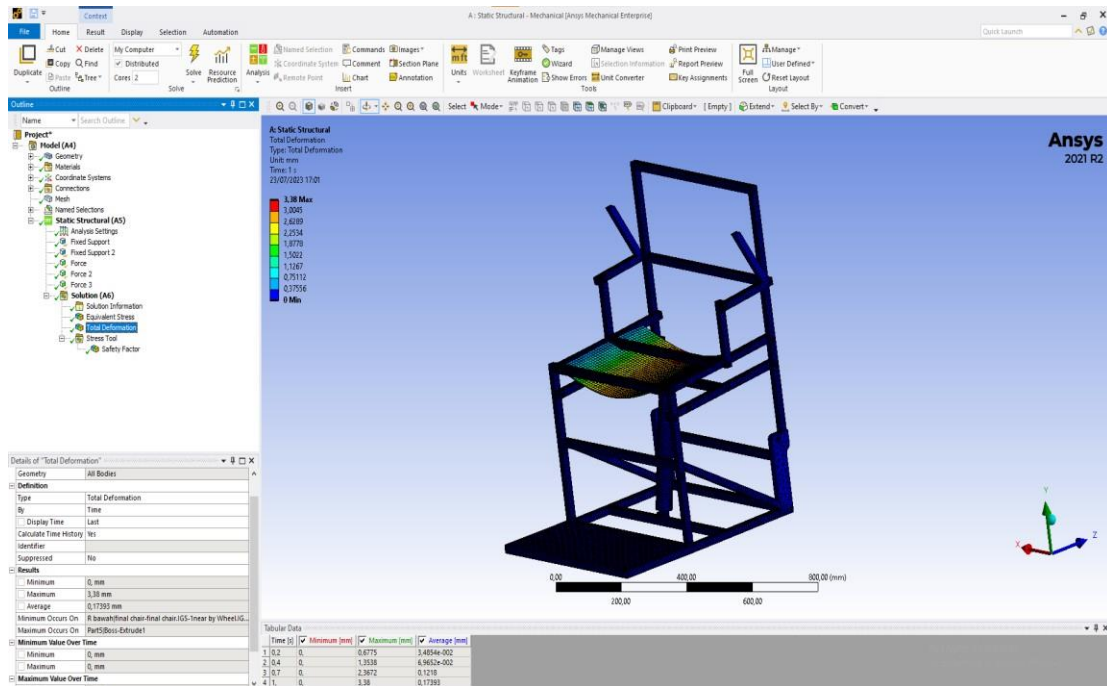


Gambar 4. 21 Data nilai distribusi tegangan rangka kursi roda duduk

(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.21 data menunjukkan rangka dengan material *Stainless Steel 316L* mengalami tegangan dengan nilai equivalen stress maksimal sebesar 297,75 MPa, nilai equivalen stress minimal 1,3038e-012 MPa dan nilai equivalen stress rata-rata sebesar 2,5884 MPa

2) Deformasi (Total Deformation)

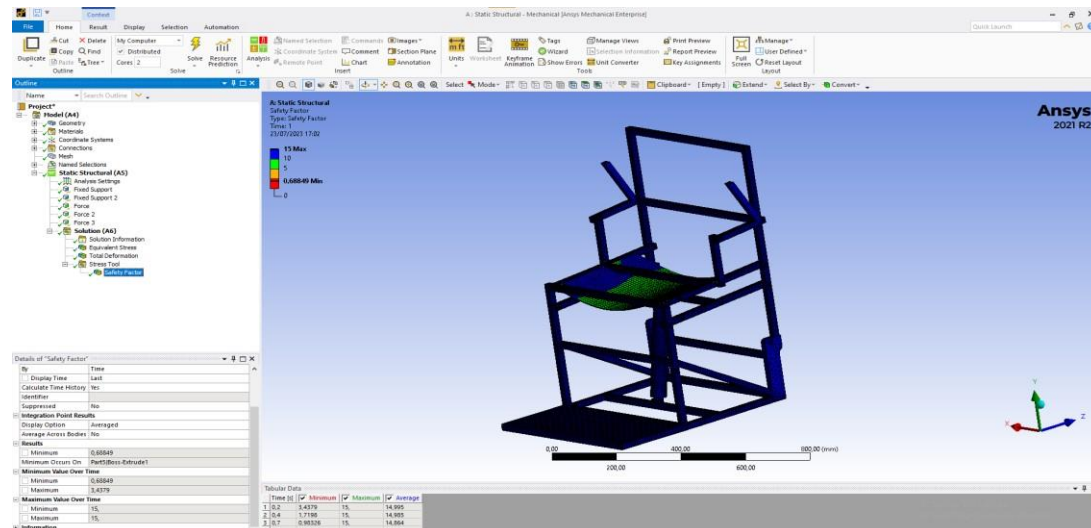


Gambar 4. 22 Data nilai total deformasi rangka kursi roda duduk

(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.22 data menunjukkan dengan material *Stainless Steel 316L* mengalami pergeseran struktur rangka dengan nilai total deformasi maksimal sebesar 3,38 mm, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm, dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,17393 mm.

3) Faktor Keamanan (Safety Factor)



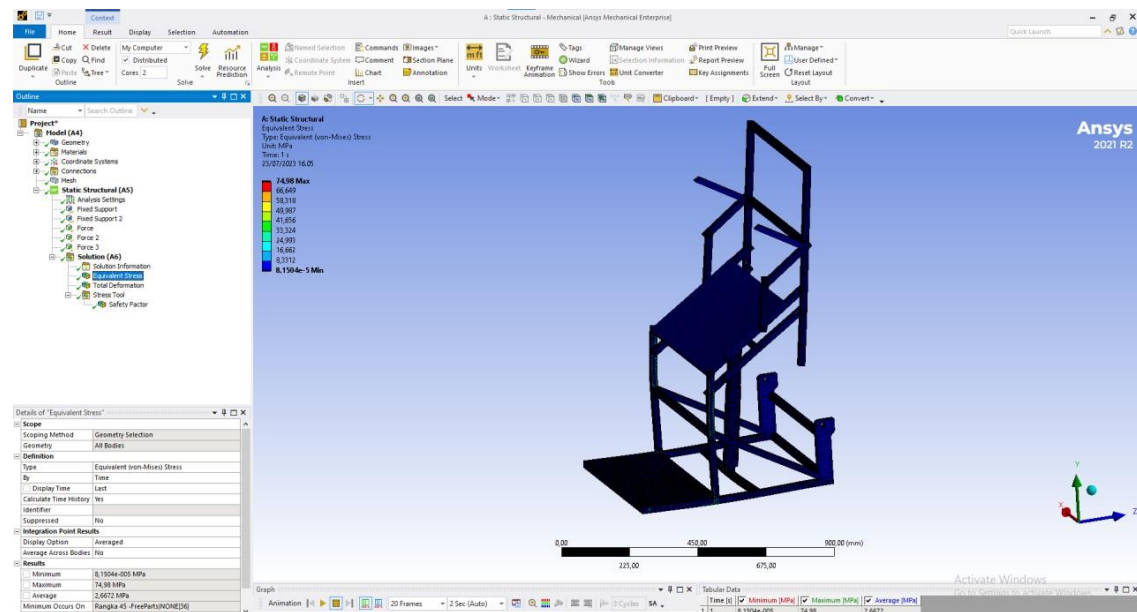
Gambar 4. 23 Data nilai faktor keamanan rangka kursi roda duduk

(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.23 data menunjukkan rangka dengan material *Stainless Steel 316L* mendapatkan nilai faktor keamanan dengan nilai safety factor maksimal sebesar 15, nilai safety factor minimal sebesar 0,68849 dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,749 . Nilai ini menunjukkan bahwa desain rangka tidak mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 0,68849 kali dari gaya semula.

4.4.2 Simulasi kursi roda posisi 45°

1) Distribusi Tegangan (*Equivalent Stress*)

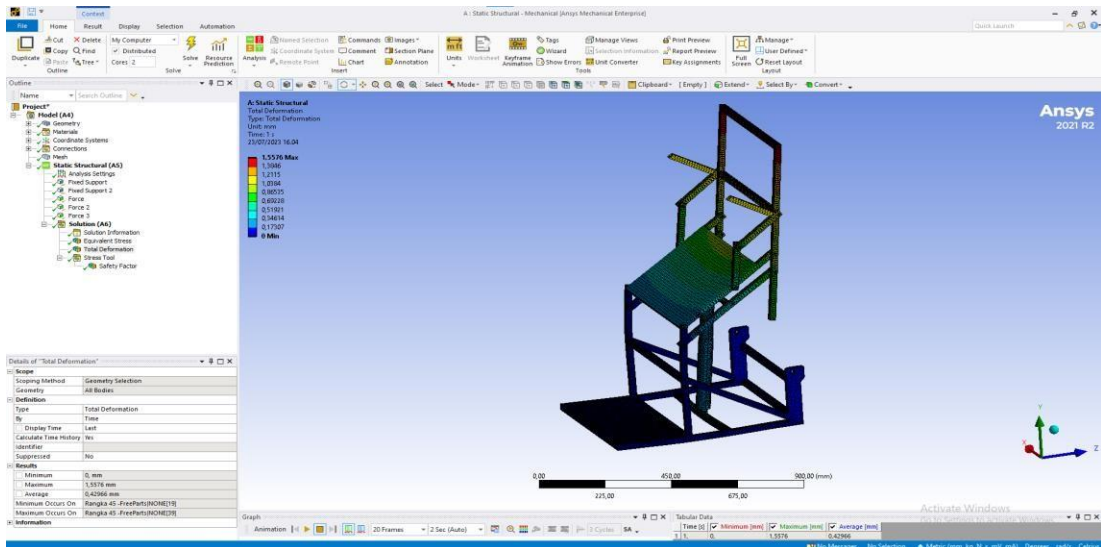


Gambar 4. 24 Data nilai distribusi tegangan rangka kursi roda berdiri 45° derajat

(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.24 data menunjukkan rangka dengan material *Stainless Steel 316L* pada kursi roda berdiri 45° derajat mengalami tegangan dengan nilai equivalen stress maksimal sebesar 74,98 Mpa, nilai equivalen stress minimal 8,1504e-005 Mpa dan nilai equivalen stress rata- rata sebesar 2,6672 MPa

2) Deformasi (Total Deformation)

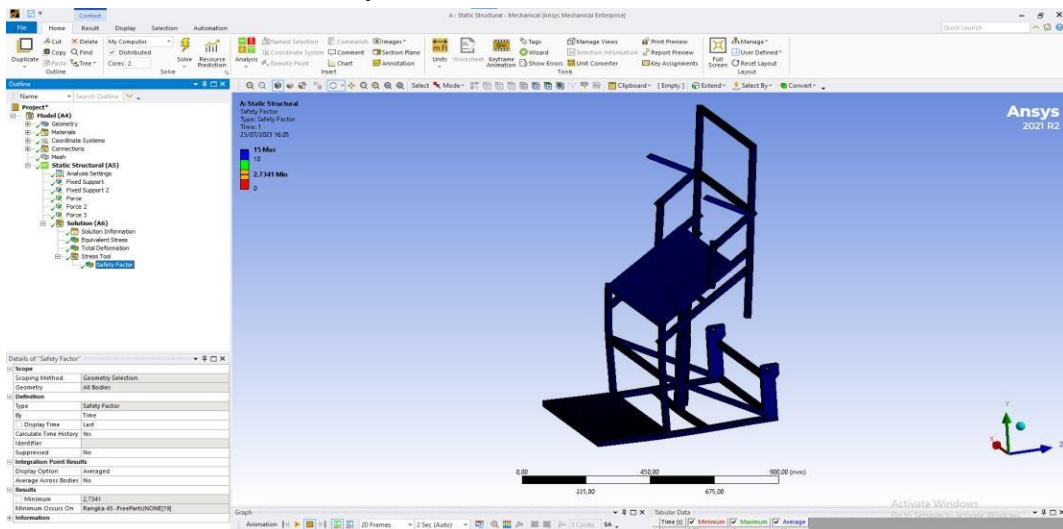


Gambar 4. 25 Data nilai total deformasi rangka kursi roda berdiri 45° derajat

(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.25 data menunjukkan dengan material *Stainless steel 316L* mengalami pergeseran struktur rangka dengan nilai total deformation maksimal sebesar 1,5576 mm, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm, dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,42966 mm

3) Faktor Keamanan (Safety Factor)



Gambar 4. 26 Data nilai faktor keamanan rangka kursi roda posisi 45°

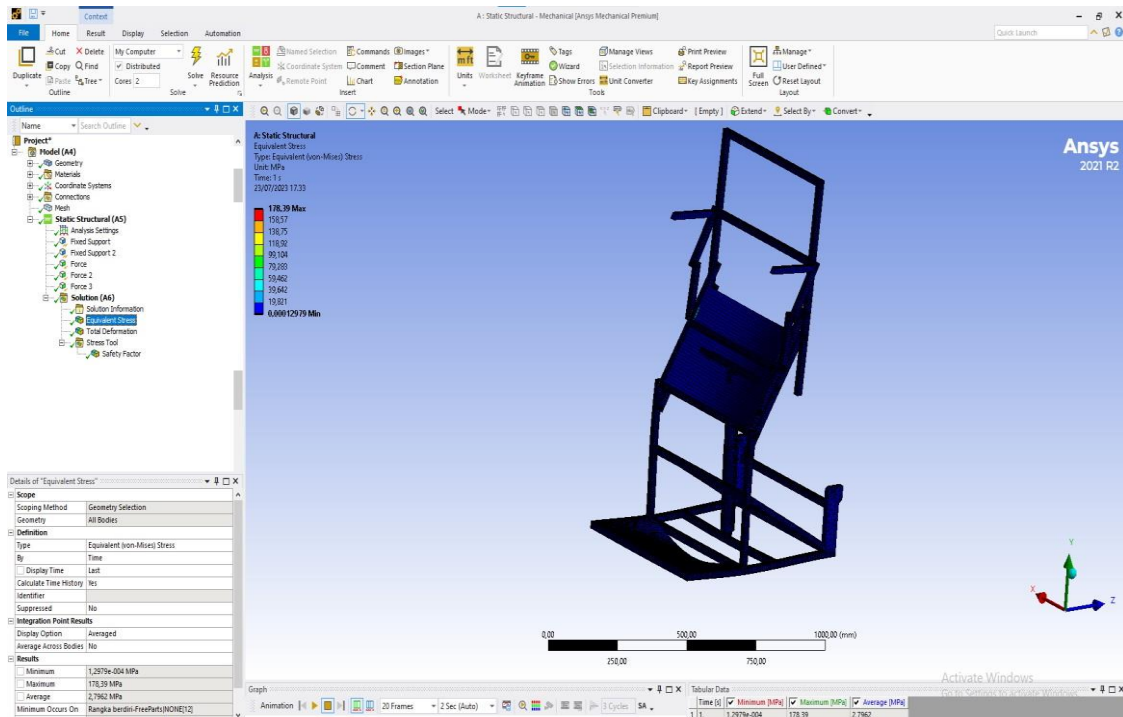
(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.26 data menunjukkan rangka dengan material *Stainless Steel 316L* mendapatkan nilai faktor keamanan dengan nilai safety factor maksimal sebesar 15, nilai safety factor minimal sebesar 2,7341 dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,934. Nilai ini

menunjukkan bahwa desain rangka tidak mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 2,7341 kali dari gaya semula.

4.4.3 Simulasi kursi roda posisi berdiri

1) Distribusi Tegangan (*Equivalent Stress*)

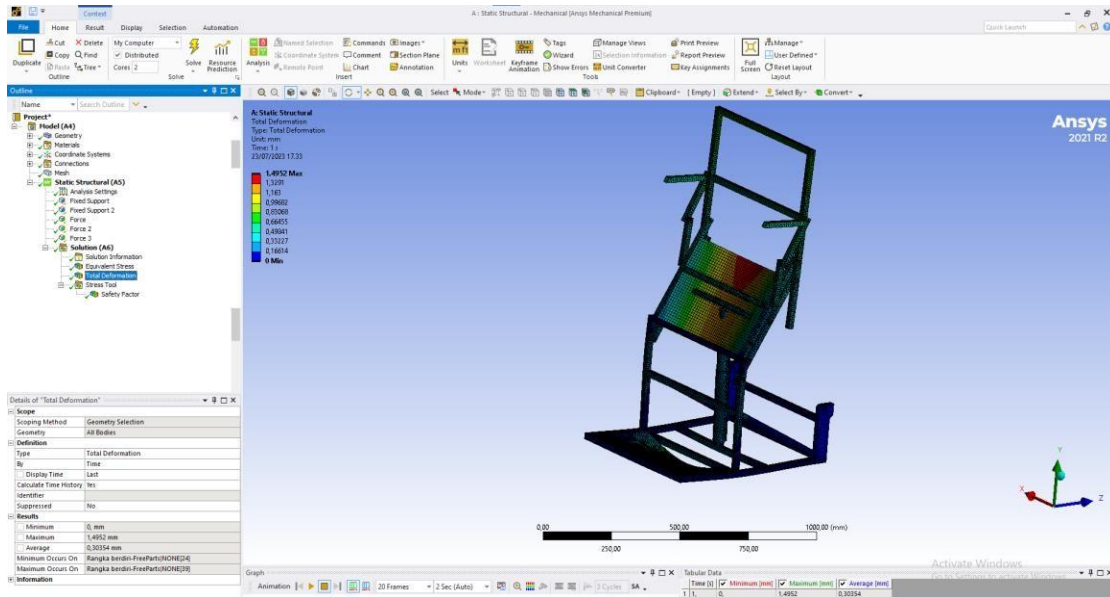


Gambar 4. 27 Data nilai distribusi tegangan rangka kursi roda posisi berdiri

(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.27 data menunjukkan rangka dengan material *Stainless Steel 316L* pada kursi roda berdiri mengalami tegangan dengan nilai equivalent stress maksimal sebesar 178,39 MPa, nilai equivalent stress minimal 1,2979e-004 MPa dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 2,7962 MPa.

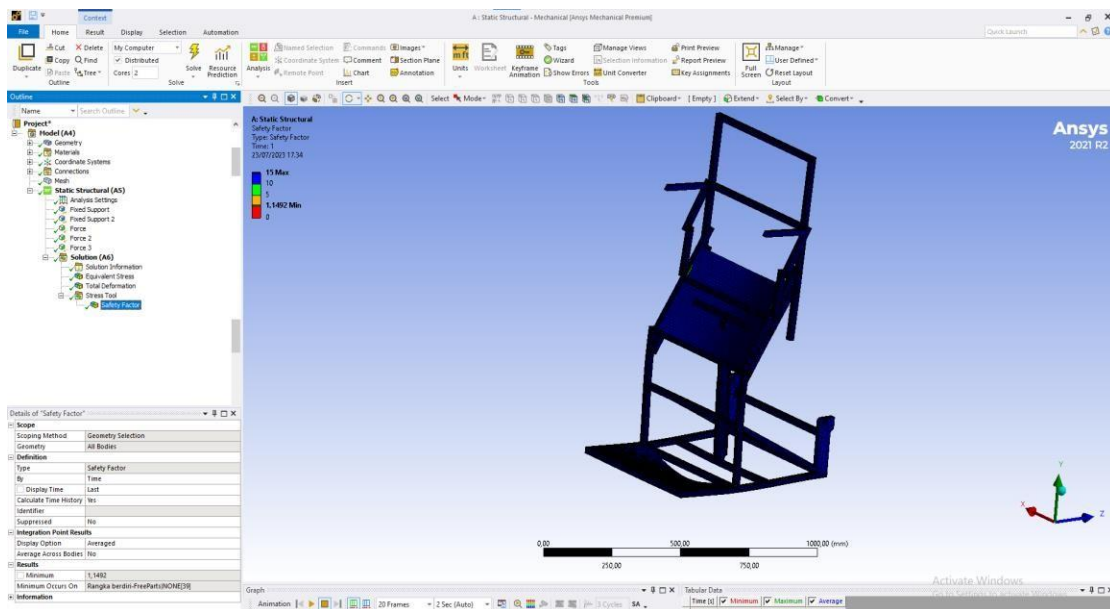
2) Deformasi (Total Deformation)



Gambar 4. 28 Data nilai total deformasi rangka kursi roda berdiri
(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.28 data menunjukkan dengan material *Stainless Steel 316L* mengalami pergeseran struktur rangka dengan nilai total deformation maksimal sebesar 1,4952 mm, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm, dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,30354 mm

3) Faktor Keamanan (Safety Factor)



Gambar 4. 29 Data nilai faktor keamanan rangka kursi roda posisi berdiri
(Sumber : Laboratorium Komputer ITN Malang)

Pada gambar 4.29 data menunjukkan rangka dengan material *Stainless Steel* 316L mendapatkan nilai faktor keamanan dengan nilai safety factor maksimal sebesar 15, nilai safety factor minimal sebesar 1,1492 dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,946. Nilai ini menunjukkan bahwa desain rangka tidak mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 1,1492 kali dari gaya semula.

4.5 Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi FEM yang dilakukan pada rancangan kursi roda terhadap variasi fitur berdiri dengan menggunakan material *Stainless steel*, telah didapat data sebagaimana pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 6 Data hasil simulasi ke-1

	Kursi roda posisi duduk		
	Distribusi Tegangan (MPa)	Total Deformasi (mm)	Faktor Keamanan
Maks	297,75	3,38	15
Min	1,3038e-012	0	0,68849
Rata-rata	2,5884	0,17393	14,749

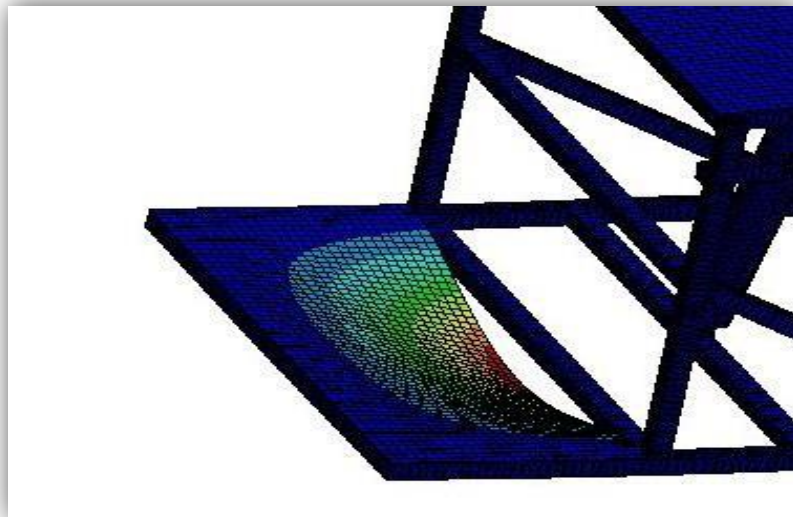
Tabel 4. 7 Data hasil simulasi ke-2

	Kursi roda posisi 45° derajat		
	Distribusi Tegangan(MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor Keamanan
Maks	74,98	1,5576	15
Min	8,1504e-005	0	2,7341
Rata-rata	2,6672	0,42966	14,934

Tabel 4. 8 Data hasil simulasi ke-3

	Kursi roda posisi berdiri		
	Distribusi tegangan (MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor Keamanan
Maks	178,39	1,4952	15
Min	1,2979e-004	0	1,1492
Rata-rata	2,7962	0,30354	14,946

Rancangan rangka kursi roda dengan menggunakan material *Stainless steel 316L* memiliki massa sebesar 28.25994 kg. Berdasarkan tabel 4.6 sampai tabel 4.8 telah didapatkan nilai *equivalent stress*, *total deformation*, dan *safety factor*.



Gambar 4. 30 Deformasi maksimum

(Sumber: Rizqi Fathur.,2023)

Seperti pada gambar 4.30 defleksi yang terjadi dibagian footrest (pijakan kaki) dikarenakan karena sambungan material *Stainless steel* yang kurang pada bagian tengah footrest. Maka dari itu solusi yang tepat untuk mengatasi masalah yang terjadi yaitu harus menambah material *Stainless steel* pada bagian tengah footrest supaya bisa menopang pijakan kaki secara aman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi pada rangka kursi roda fitur berdiri, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Metode perancangan desain rangka menggunakan *software Solidworks* dan dianalisis menggunakan *ANSYS Workbench* untuk mengetahui nilai distribusi tegangan, nilai deformasi, dan faktor keamanan
2. Distribusi tegangan yang terjadi pada rangka kursi roda fitur berdiri pada bagian *footrest* (pijakan kaki) mendapatkan nilai *equivalent stress* maksimal sebesar 178,39 MPa, nilai *equivalent stress* minimal sebesar 1,2979e-004 MPa dan nilai *equivalent stress* rata-rata sebesar 2,7962 MPa. Hasil nilai distribusi tegangan masih dalam batas aman karena hasil simulasi indikasi warna merah hampir tidak tampak.
3. Deformasi yang terjadi pada rangka kursi roda fitur berdiri pada bagian *footrest* mendapatkan nilai *total deformation* maksimal 1,4952 mm, nilai *total deformation* minimal sebesar 0 mm dan nilai rata-rata *total deformation* sebesar 0,30354 mm.
4. Faktor keamanan pada rangka kursi roda fitur berdiri mendapatkan nilai maksimal sebesar 15 pada bagian pijakan kaki, nilai *safety factor* minimal sebesar 1,1492 dan nilai *safety factor* rata-rata sebesar 14,946. Hasil nilai faktor keamanan tidak mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 1,1492 kali dari gaya semula.

5.2 Saran

Setelah melakukan desain dan simulasi kursi roda fitur berdiri, maka penulis ingin menyampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Saran ditujukan pada peneliti selanjutnya yaitu melakukan desain ulang rangka kursi roda dengan material yang berbeda untuk mengetahui hasil dari faktor keamanan yang lebih baik.
2. Penelitian ini selanjutnya dapat dijadikan masukan dalam tahap pengembangan desain kursi roda dengan berbagai macam fitur agar dapat digunakan sebagai alat bantu bagi orang-orang yang memiliki kebutuhan khusus.

DAFTAR PUSTAKA

- AJIMAN, B. (2022). Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- A.Harahap, “Simulasi Pembebanan Pada Shackle Menggunakan Perangkat Lunak AnsysAPDL 15.0. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY,” vol. 4, no. 1, pp. 74–84, 2020.
- Aszul. K. (2020) “PERANCANGAN MEKANISME FITUR BERDIRI PADA KURSI RODA ELEKTRIK. (Laporan Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia)
- Alafgani, M. K. (2018). Desain Kursi Roda Untuk Difabel Daksa Yang Ergonomi Dan Inovatif. (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Budiman, F. A., Septiyanto, A., Sudiyono, S., Musyono, A. D. N. I., & Setiadi, R. (2021). Analisis Tegangan von Mises dan Safety Factor pada Chassis Kendaraan Listrik Tipe In-Wheel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(1), 100-108.
- Coe Jr, P. L. (1979). Aerodynamic characteristics of wheelchairs (No. L-13240).
- Dharma, K. K. (2018). Pemberdayaan keluarga untuk mengoptimalkan kualitas hidup pasien paska stroke. Deepublish
- Huddin, F. (2019). Sistem Kendali Kursi Roda Elektrik dengan Fitur Berdiri menggunakan Arduino (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Hamzah, A. (2021). Penggunaan Metode Elemen Hingga Pada Struktur Grid Dengan Program Freemat. *Rang Teknik Journal*, 4(1), 83-88.
- Iksal, I., & Darmo, D. (2012). Perancangan dan Implementasi Kursi Roda Elektrik Ekonomis sebagai Sarana Rehabilitasi Medik. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 3(1), 203-210.
- Jamaludin. 2019. “Perencanaan Pembebanan Statis Rangka Sepeda Listrik Menggunakan Software Solid Work 2016.” *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9):1689–99.
- Kroemer, Karl H. E., Hiltrud J. Kroemer, and Katrin E. Kroemer-Elbert. 2010. *Engineering Physiology*
- Karunia, E. (2016). Hubungan antara dukungan keluarga dengan kemandirian activity of daily living pasca stroke. *Jurnal Berkala Epidemiologi*, 4(2), 213-224.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design*. S. Chand Publishing.

- Long-Chang Hsieh¹, T.-H. C.-J. (2016). Desain Inovatif Kursi Roda dengan Lifting dan Fungsi Berdiri. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, vol. 4, 2016, 4, 10-12.
- Mawardi, M., & Lianda, J. (2018, November). Rancang Bangun Kursi Roda Elektrik Menggunakan Joystick. In *Seminar Nasional Industri dan Teknologi* (pp. 67-74).
- Munawar Syamsudin Aan. (2013). *METODE RISET KUANTITATIF KOMUNIKASI*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar
- Nugroho, S. (2020). *PEMBUATAN PROTOTYPE KURSI RODA ELEKTRIK DENGAN FITUR BERDIRI UNTUK DISABILITAS DI INDONESIA* (Doctoral dissertation, universitas islam indonesia).
- N. dan R.Winarso., “ANALISA TEGANGAN PADA RANGKA PROTOTYPE KENDARAAN BUGE MENGGUNAKAN ELEMEN HINGGA,” *Simetris*, vol. 2, no.1,pp.1–9,2012
- Rinaldy, M. R., Poernomo, H., & Setiawan, T. A. (2018). Desain Kendaraan Bermotor Roda Tiga Sebagai Alat Bantu Transportasi Bagi Penyandang Disabilitas. In *Proc. Conf. Des. Manuf. Eng. its Appl* (Vol. 1, No. 1, pp. 55-59).
- Risdiyono, E. (2020). Perancangan dan Pengembangan Desain Kursi Roda Elektrik dengan Fitur Berdiri untuk Penyandang Disabilitas.
- Setiawan, A. (2020). *Desain Kursi Roda bagi Penderita Stroke* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Padang)
- Sinaga, J. H. (2019). Pembuatan desain core dan cavity mangkuk plastik menggunakan software solidwork.[Tugas Akhir]. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan.
- Syahrum., Salim. 2012. *METODOLOGI PENELITIAN KUANTITATIF*. Bandung : Citapustaka Media.
- Plan, E. T., & Khandani, S. (2005). Engineering design process. *Industry Initiatives for Science and Math Education (IISME)*, 6.
- Yusra, A., Haryanto, I., & Jamari, J. (2008). ANALISA KONTAK ELASTIS ANTAR HEMISPHERES MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA. *ROTASI*, 10(1), 1-5.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Biodata Penulis

Lampiran 2 : Surat Keterangan Dosen Pembimbing

Lampiran 3 : Desain 3D Komponen Kursi Roda

Lampiran 4 : Gambar Teknik Rangka Kursi Roda

4-1 Kursi Roda Posisi Duduk

4-2 Kursi Roda Posisi 45°

4-3 Kursi Roda Posisi Berdiri

Lampiran 5 : Proses Simulasi Kursi Roda

5-1 Data Simulasi Kursi Roda Duduk

5-2 Data Simulasi Kursi Roda 45°

5-3 Data Simulasi Kursi Roda Berdiri

Lampiran 6 : Tabel Nilai Hasil Simulasi

6-1 Tabel Nilai Hasil Simulasi Ke-1

6-2 Tabel Nilai Hasil Simulasi Ke-2

6-3 Tabel Nilai Hasil Simulasi Ke-3

Lampiran 7 : Tabular Data Simulasi

7-1 Tabular Data Kursi Roda Posisi Duduk

7-2 Tabular Data Kursi Roda Posisi 45°

7-3 Tabular Data Kursi Roda Posisi Berdiri

LAMPIRAN 1

BIODATA PENULIS

IDENTITAS DIRI

Nama	Rizqi Fathurrohman	
Jenis Kelamin	Laki – Laki	
Progam Studi	Teknik Mesin S-1	
NIM	1911108	
Tempat Tanggal Lahir	Tulungagung, 03-02-2001	
Email	rohmanrizqi9@gmail.com	
No. Tlp/HP	085713261604	

RIWAYAT PENDIDIKAN

No	Nama Instansi	Jurusan	Tahun Masuk-Lulus
1	TK R.A AL-HIDAYAH TULUNGAGUNG	-	2006 – 2007
2	MIN 3 TULUNGAGUNG	-	2007 – 2013
3	MTsN 2 TULUNGAGUNG	-	2013 – 2016
4	SMAN 1 NGUNUT TULUNGAGUNG	IPA (SAINS)	2016 – 2019
5	INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG	Teknik Mesin S-1	2019 – 2023

PENGALAMAN MAGANG

No	Tahun Magang	Tempat Magang
1	Tahun 2022	PT. ECCO INDONESIA SIDOARJO

LAMPIRAN 2

SURAT KETERANGAN DOSEN PEMBIMBING



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Malang, 3 Maret 2023

Nomor : ITN-62/I.TA/2023
Lampiran :
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth Sdr. **Sibut, ST, MT**
Dosen Institut Teknologi Nasional
di Malang

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Skripsi untuk saudara mahasiswa :

Nama : **RIZQI FATHURROHMAN**
Nim : **1911108**
Jurusan : Teknik Mesin
Program studi : Teknik Mesin (S1)

Maka dengan ini pembimbingan Skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara selama 6 (enam) bulan terhitung mulai tanggal/bulan :

3 Maret 2023 s/d 8 Agustus 2023

Adapun tugas tersebut untuk menempuh Ujian Akhir Program Sarjana S1. Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.



Ketua Program Studi Teknik Mesin SI

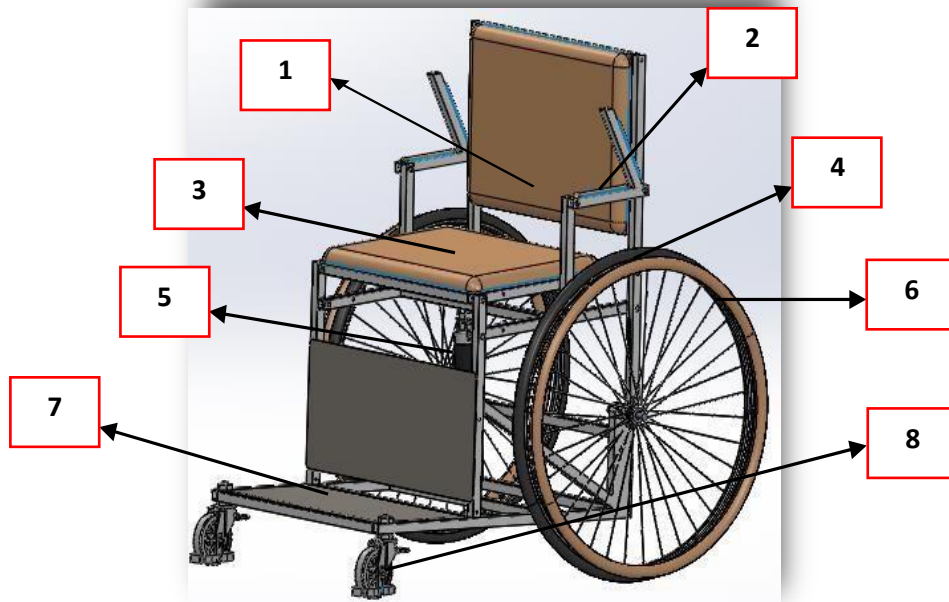
Dr. I Komang Astana Widi, ST, MT
NIP. P 1030400405

Tembusan Kepada Yth:

1. Bapak/Ibu Dosen FTI ITN Malang
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip

LAMPIRAN 3

DESAIN 3D KOMPONEN KURSI RODA



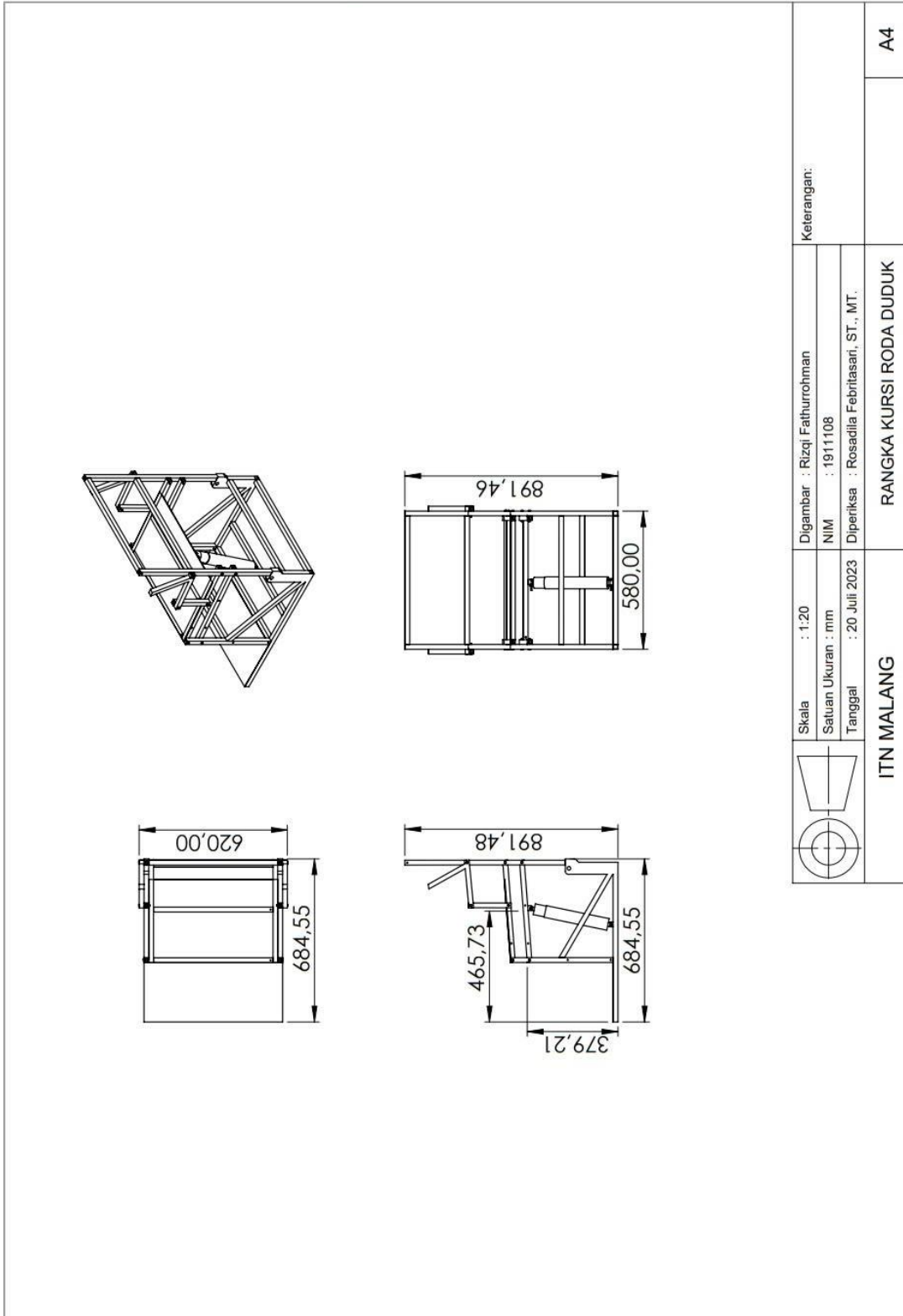
Keterangan Gambar :

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1. Backrest | 5. Hydraulic |
| 2. Armrest | 6. Handrim |
| 3. Seat | 7. Footrest |
| 4. Rear wheels | 8. Casters wheels |

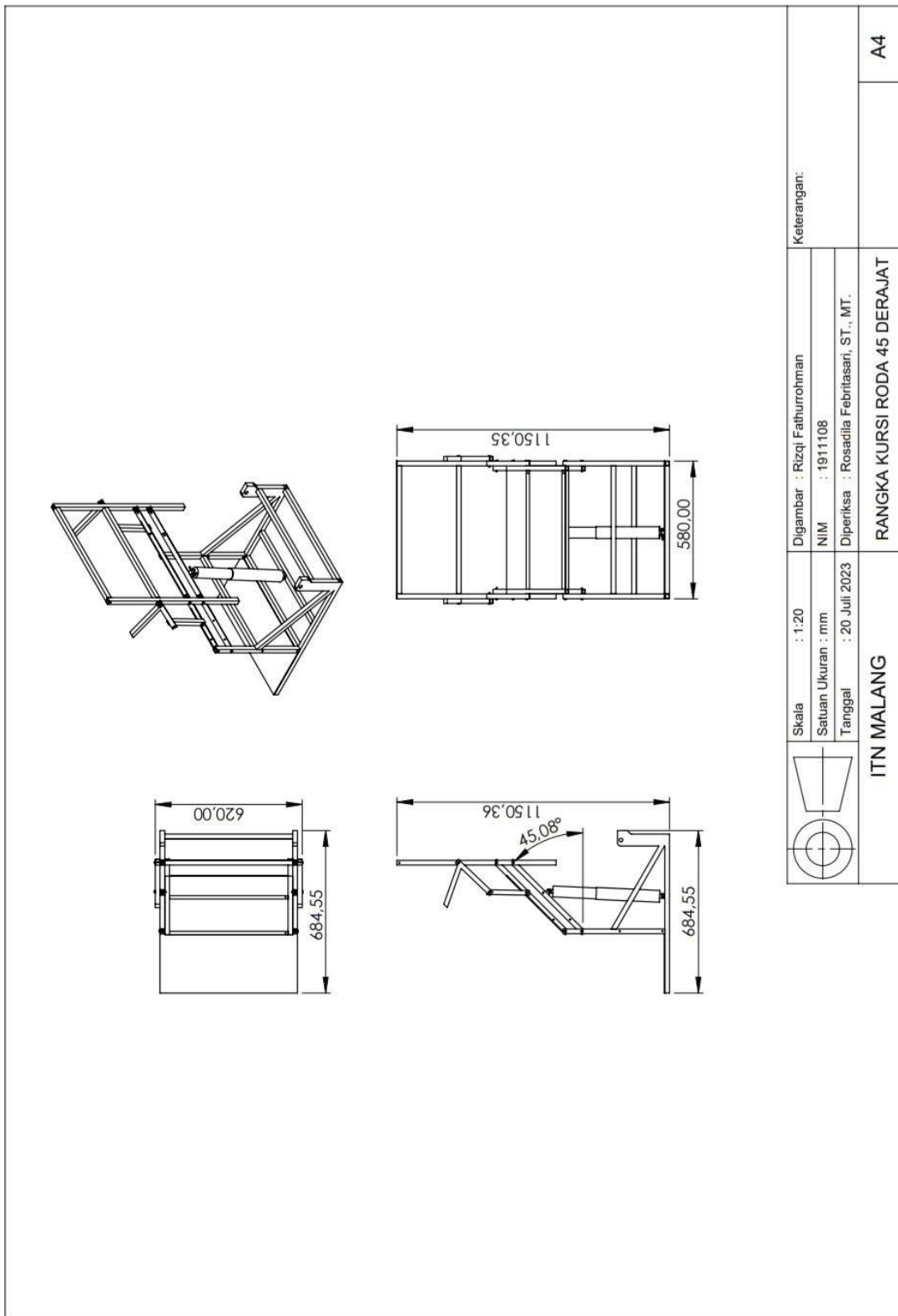
LAMPIRAN 4


GAMBAR TEKNIK RANGKA KURSI RODA

4-1 Kursi Roda Posisi Duduk

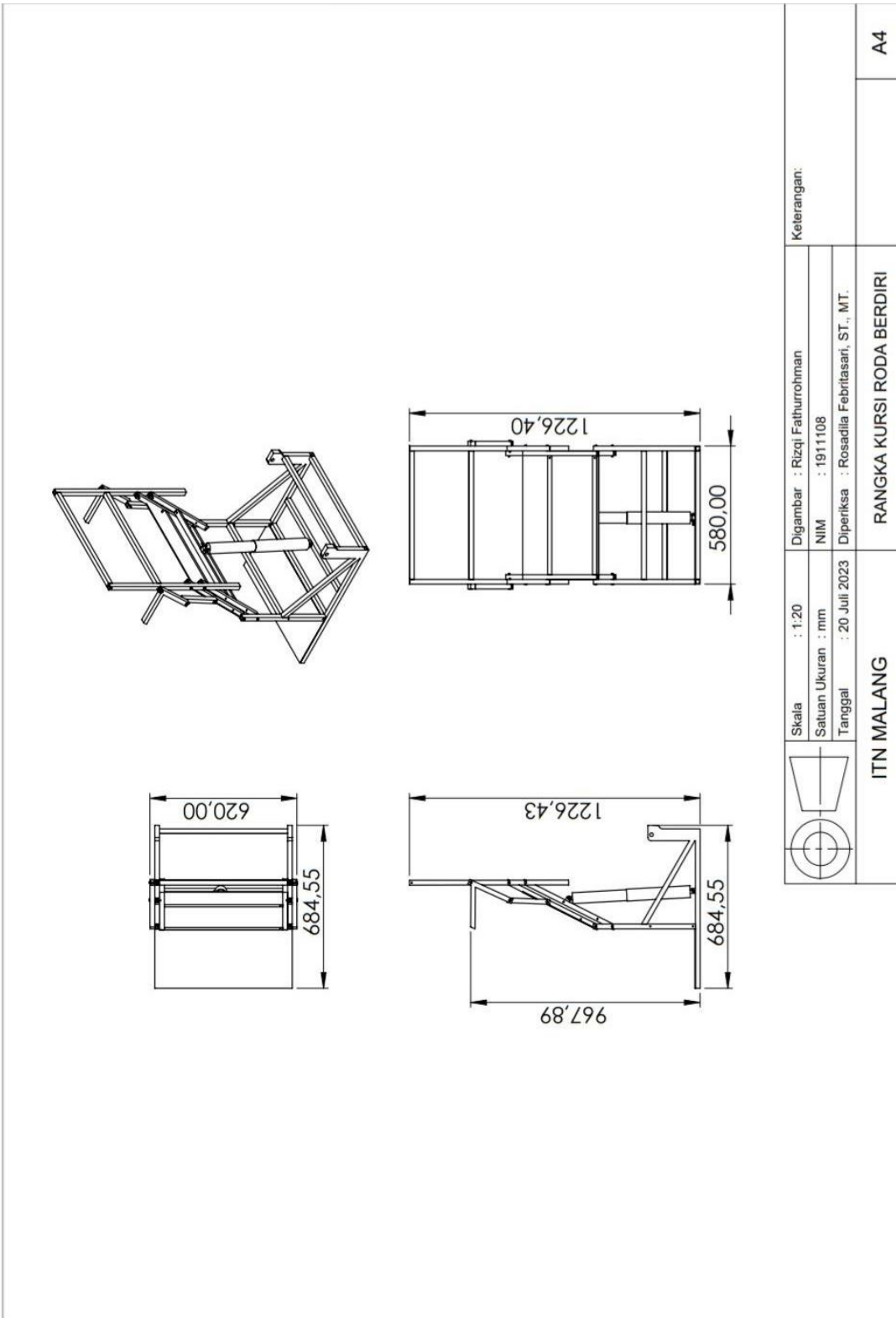


4-2 Kursi Roda Posisi 45°



 ITN MALANG	Skala : 1:20 Satuan Ukuran : mm Tanggal : 20 Juli 2023	Digambar : Rizqi Fathurrohman NIM : 1911108 Diperiksa : Rosadilla Febritasari, ST., MT.	Keterangan:
	RANGKA KURSI RODA 45 DERAJAT		A4

4-3 Kursi Roda Posisi Berdiri

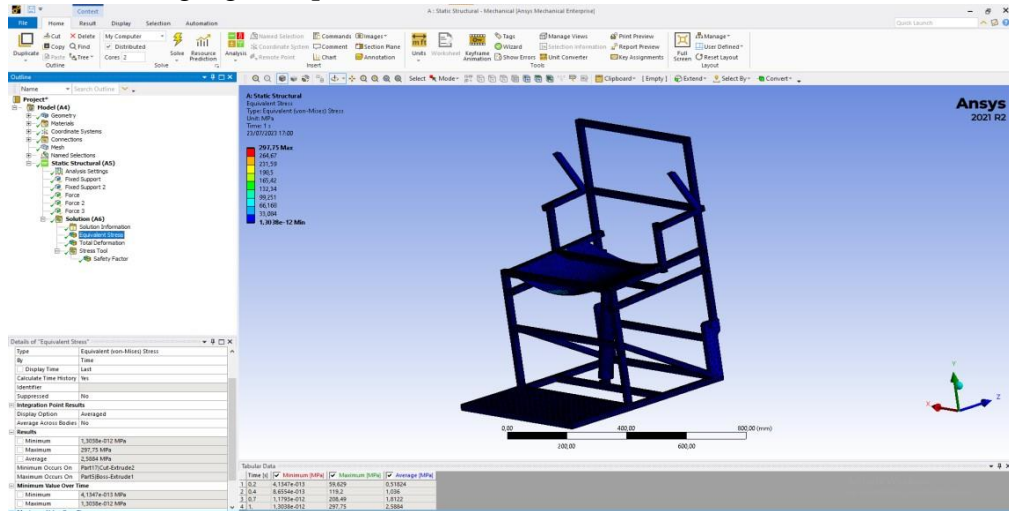


LAMPIRAN 5

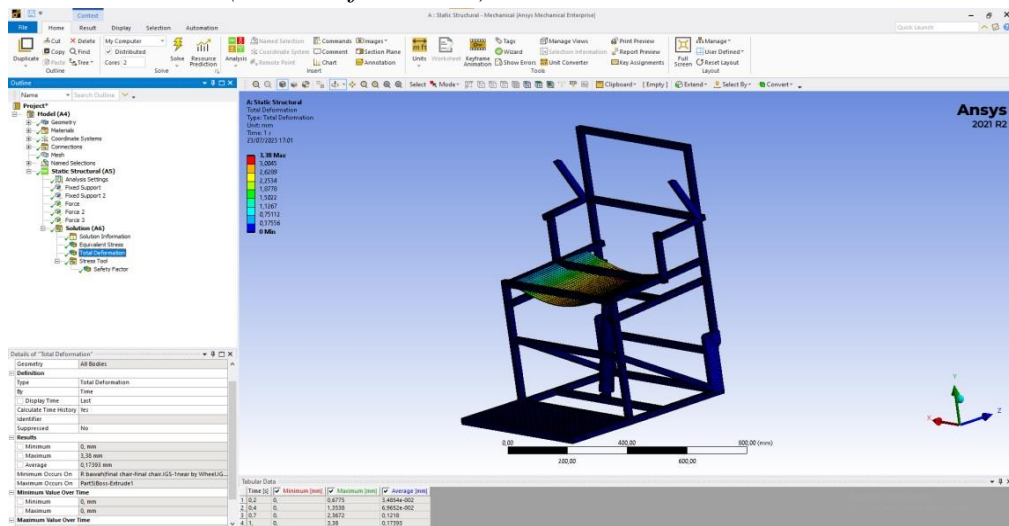
PROSES SIMULASI KURSI RODA

5-1 Data Simulasi Kursi Roda Posisi Duduk

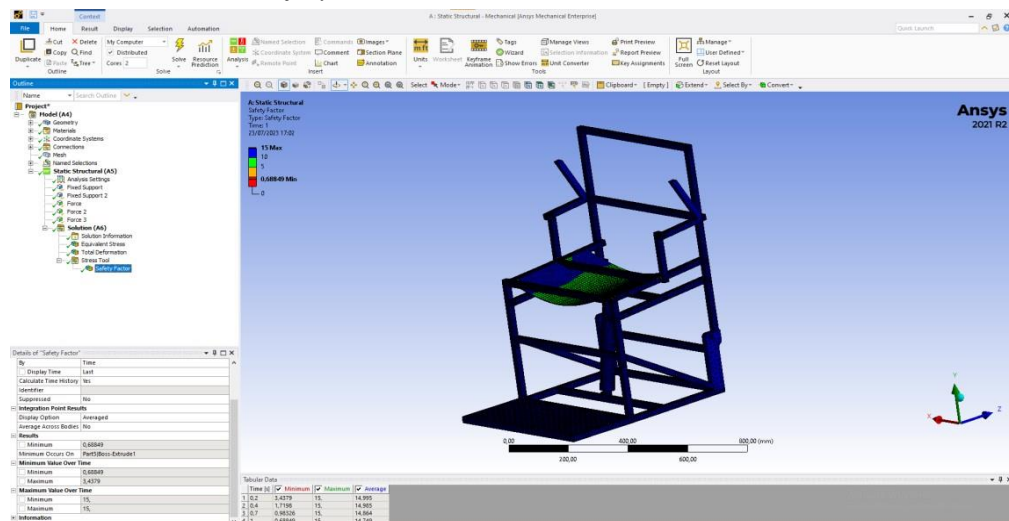
Distribusi Tegangan (*Equivalent Stress*)



Total Deformasi (*Total Deformation*)

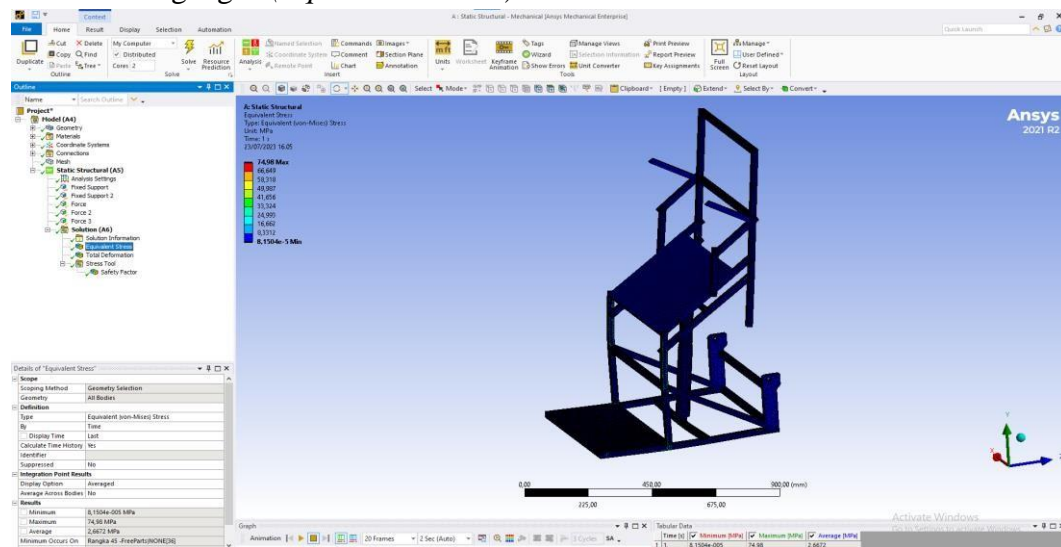


Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

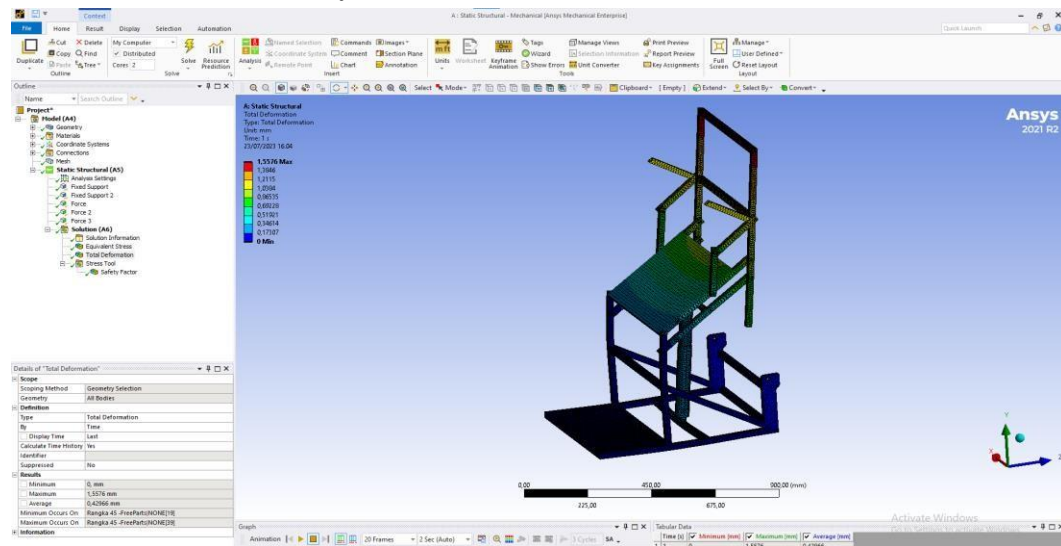


5-2 Data Simulasi Kursi Roda Posisi 45°

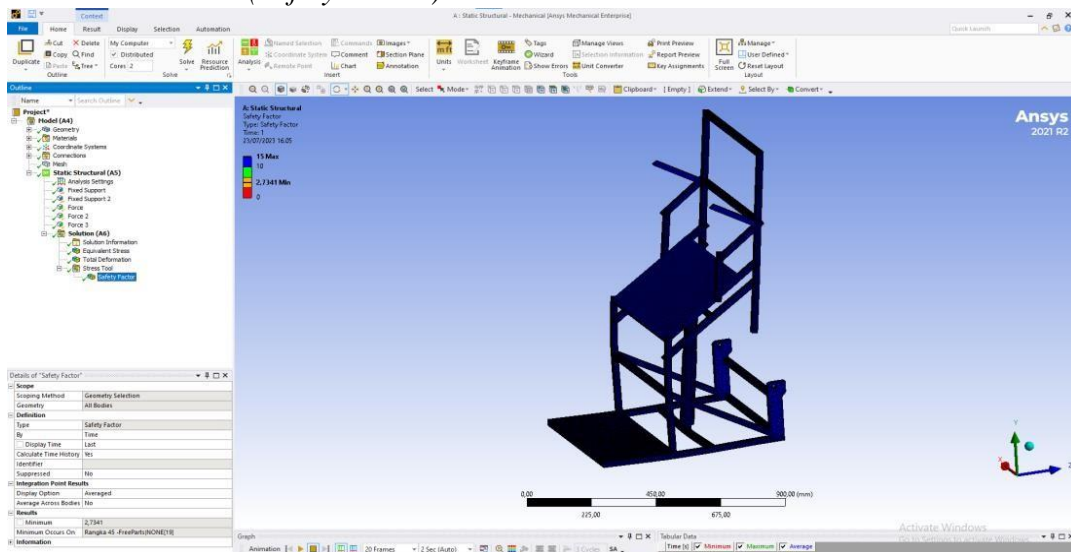
Distribusi Tegangan (*Equivalent Stress*)



Total Deformasi (*Total Deformation*)

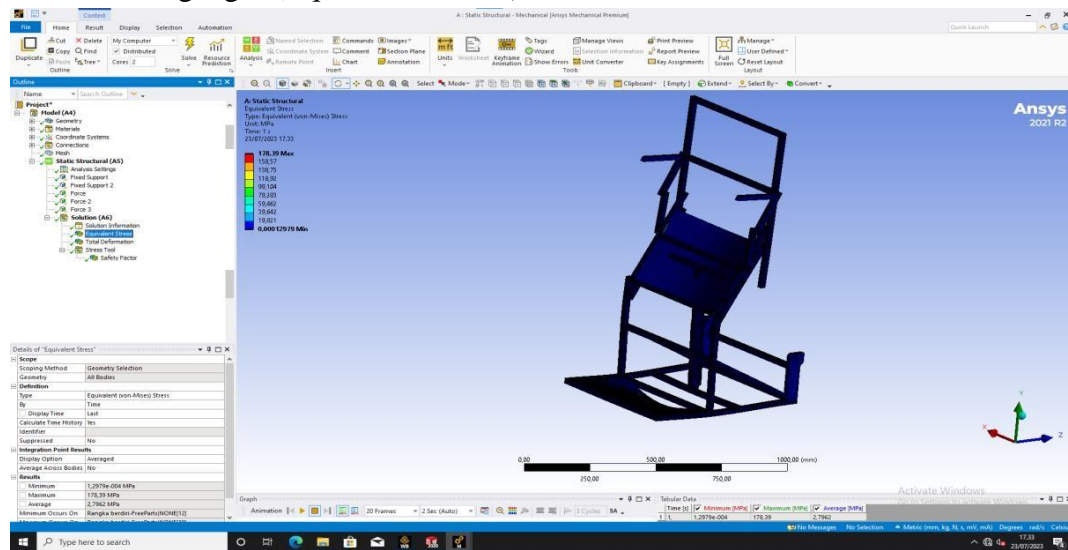


Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

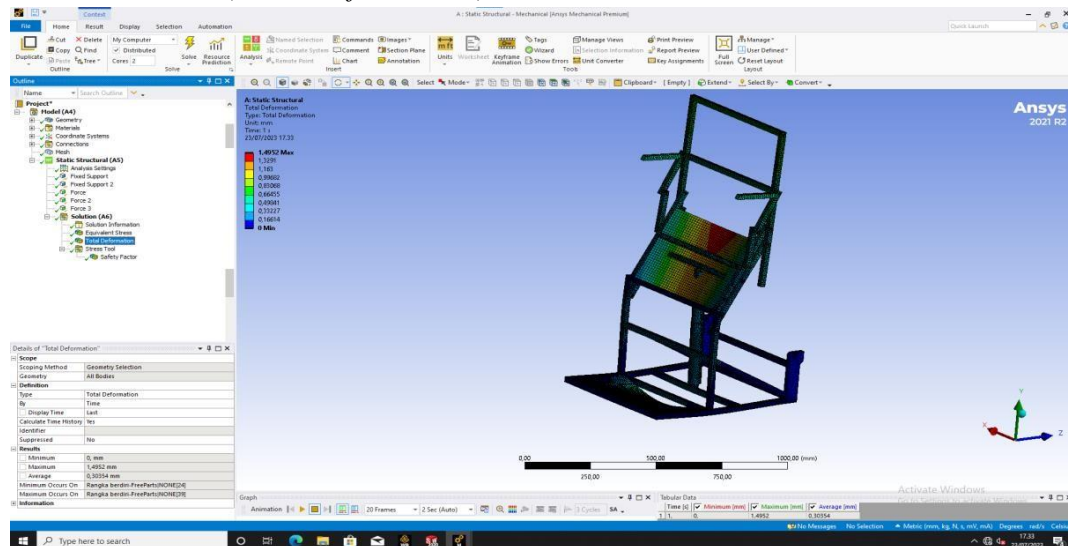


5-3 Data Simulasi Kursi Roda Berdiri

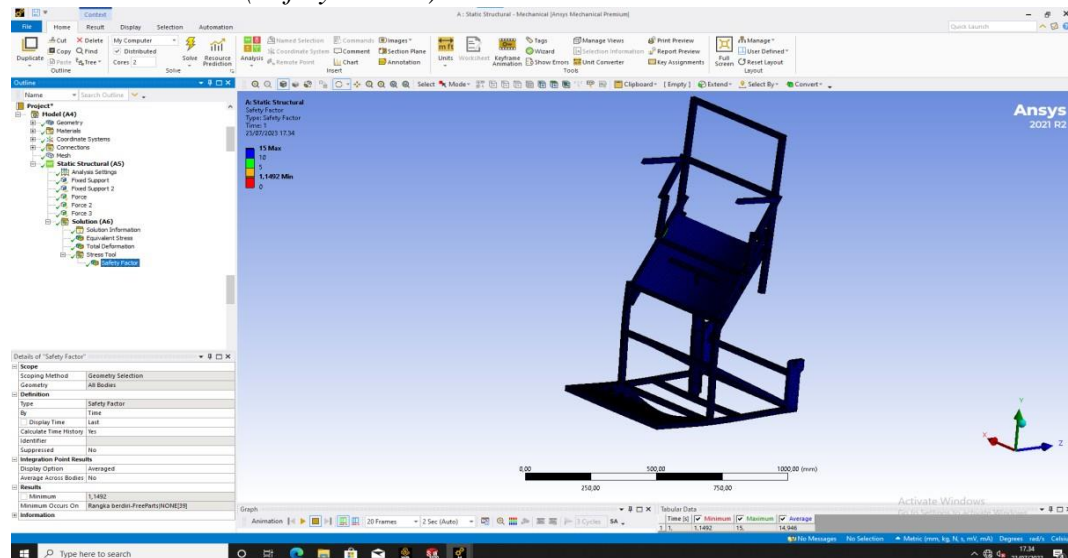
Distribusi Tegangan (*Equivalent Stress*)



Total Deformasi (*Total Deformation*)



Faktor Keamanan (*Safety Factor*)



LAMPIRAN 6

TABEL NILAI HASIL SIMULASI

6-1 Tabel Nilai Hasil Simulasi Ke-1

	Kursi roda posisi duduk		
	Distribusi tegangan (MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	297,75	3,38	15
Min	1,3038e-012	0	0,68849
Rata-rata	2,5884	0,17393	14,749

6-2 Tabel Nilai Hasil Simulasi Ke-2

	Kursi roda posisi 45° derajat		
	Distribusi Tegangan(MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	74,98	1,5576	15
Min	8,1504e-005	0	2,7341
Rata-rata	2,6672	0,42966	14,934

6-3 Tabel Nilai Hasil Simulasi Ke-3

	Kursi roda posisi berdiri		
	Distribusi tegangan (MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	178,39	1,4952	15
Min	1,2979e-004	0	1,1492
Rata-rata	2,7962	0,30354	14,946

LAMPIRAN 7

TABULAR DATA SIMULASI

7-1 Tabular Data Kursi Roda Posisi Duduk

a) Distribusi Tegangan

	Time	Minimum (MPa)	Maximum (MPa)	Average (MPa)
1	0.2	4.1347e-013	59.629	0.51824
2	0.4	8.6554e-013	119.2	1.036
3	0.7	1.1793e-012	208.49	1.8122
4	1	1.3038e-012	297.75	2.5884

b) Total Deformasi

	Time	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Average (mm)
1	0.2	0.	0.6775	3.4854e-002
2	0.4	0.	1.3538	6.9652e-002
3	0.7	0.	2.3672	0.1218
4	1	0.	3.38	0.17393

c) Faktor Keamanan

	Time	Minimum	Maximum	Average
1	0.2	3,4379	15,	14,955
2	0.4	1,7198	15,	14,985
3	0.7	0,98326	15,	14,864
4	1	0,68849	15,	14,749

7-2 Tabular Data Kursi Roda Posisi 45°

a) Distribusi Tegangan

	Time	Minimum (MPa)	Maximum (MPa)	Average (MPa)
1	1,	8,1504e-005	74,98	2,6672

b) Total Deformasi

	Time	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Average (mm)
1	1,	0,	1,5576	0,42966

c) Faktor Keamanan

	Time	Minimum	Maximum	Average
1	1,	2,7341	15,	14,934

7-3 Tabular Data Kursi Roda Posisi Berdiri

a) Distribusi Tegangan

	Time	Minimum (MPa)	Maximum (MPa)	Average (MPa)
1	1,	1,2979e-004	178,39	2,7962

b) Total Deformasi

	Time	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Average (mm)
1	1,	0,	1,4952	0,30354

c) Faktor Keamanan

	Time	Minimum	Maximum	Average
1	1,	1,1492	15,	14,946

Simulasi Desain Kursi Roda Dengan Fitur Berdiri Untuk Pasien Pasca Stroke Menggunakan Software Ansys Workbench

Rizqi Fathurrohman¹, Sibut², Rosadila Febritasari³

Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia

Email: rohmanrizqi9@gmail.com

ABSTRAK

Kursi roda merupakan suatu alat bantu yang digunakan oleh orang yang memiliki keterbatasan dalam bergerak seperti salah satu contoh yaitu pasien pasca stroke. Seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat maka kursi roda telah dikembangkan menjadi kursi roda dengan fitur berdiri dengan tujuan supaya pengguna merasakan sensasi layaknya orang normal. Melalui penelitian kali ini dilakukan perancangan desain kursi roda menggunakan CAD software yaitu Solidworks 2018. Material yang digunakan dalam perancangan desain kursi roda yaitu menggunakan material *stainless steel* tipe 316L yang kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan software ANSYS Workbench untuk mendapatkan parameter distribusi tegangan, total deformasi, dan faktor keamanan. Dari hasil pengujian terhadap rangka kursi roda fitur berdiri telah didapatkan nilai equivalent stress maksimal sebesar 178,39 MPa, nilai equivalent stress minimal sebesar $1,2979e-004$ MPa, dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 2,7962 MPa. Nilai total deformation maksimal sebesar 1,4952 mm, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,30354 mm. Nilai safety factor maksimal sebesar 15, nilai safety factor minimal sebesar 1,1492 dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,946. Dengan nilai hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa simulasi dari rangka kursi roda fitur berdiri masih berada pada tahap aman karena hasil simulasi indikasi warna merah hampir tidak tampak.

Kata kunci : Kursi roda, Ansys workbench, Fitur berdiri, pasien pasca stroke

ABSTRACT

A wheelchair is a tool used by people who have limited movement such as one example of a post-stroke patient. Along with the rapid development of technology, wheelchairs have been developed into wheelchairs with standing features with the aim that users feel the sensation like normal people. Through this research, a wheelchair design was carried out using CAD software, namely Solidworks 2018. The material used in the design of the wheelchair design is using stainless steel type 316L material which is then simulated using ANSYS Workbench software to obtain parameters of voltage distribution, total deformation, and safety factors. From the test results of the standing feature wheelchair frame, a maximum equivalent stress value of 178.39 MPa was obtained, a minimum stress equivalent value of $1.2979e-004$ MPa, and an average equivalent stress value of 2.7962 MPa. The maximum total deformation value is 1.4952 mm, the minimum total deformation value is 0 mm and the average total deformation value is 0.30354 mm. The maximum safety factor value is 15, the minimum safety factor value is 1.1492 and the average safety factor value is 14.946. So it can be concluded that the simulation of the standing feature wheelchair frame is still at a safe stage because the simulation results of the red indication are almost invisible.

Keywords : Wheelchair, Ansys workbench, Standing feature, post stroke patient

PENDAHALUAN

Kursi roda merupakan alat bantu yang digunakan oleh orang yang memiliki keterbatasan dalam bergerak khususnya pada tubuh bagian bawah. Keterbatasan ini dapat disebabkan oleh cacat sejak lahir maupun karena cedera akibat kecelakaan. Selain itu ada juga karena faktor lain seperti yang terjadi pada pasien pasca stroke yang ingin melakukan aktivitasnya sehari-hari layaknya orang normal tetapi tidak bisa karena keterbatasan yang dimiliki.

Maka dari itu seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat ini, kursi roda telah dikembangkan menjadi kursi roda dengan fitur berdiri. Tujuan dari penambahan fitur berdiri ini supaya pengguna dapat berdiri atau meraih benda yang lebih tinggi dari posisi duduknya. Perancangan produk kursi roda dari waktu ke waktu terus mengalami kemajuan yang signifikan. Meskipun demikian masih ada juga problematika yang ditemukan terhadap pengembangan kursi roda fitur berdiri tersebut.

Menilai dari beberapa kondisi di atas maka penulis mencoba merancang desain rangka kursi roda dengan fitur berdiri. Perancangan desain rangka ini menggunakan CAD software yaitu Solidworks 2018. Selanjutnya dilakukan simulasi pada desain rangka menggunakan Ansys Workbench untuk mengetahui parameter distribusi tegangan,

deformasi, dan faktor keamanan dengan adanya simulasi desain ini diharapkan kursi roda dengan fitur berdiri dapat diaplikasikan secara nyata di dunia kedokteran agar menjadi lebih maksimal dan optimal baik dari segi mekanik maupun elektriknya sehingga dengan harapan produk tersebut dapat membantu bagi para disabilitas khususnya pada pasien pasca stroke.

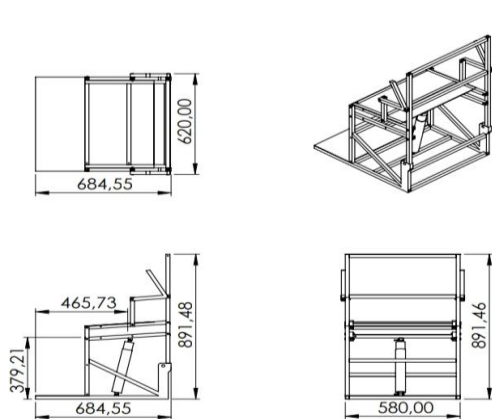
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan perancangan rangka kursi roda posisi duduk, kursi roda posisi 45°, kursi roda posisi berdiri dengan menggunakan software solidworks 2018, kemudian melakukan analisa struktur rangka kursi roda terhadap pembebanan menggunakan pemrograman simulasi menggunakan software ANSYS. Variabel penelitian ini adalah sebagai berikut :

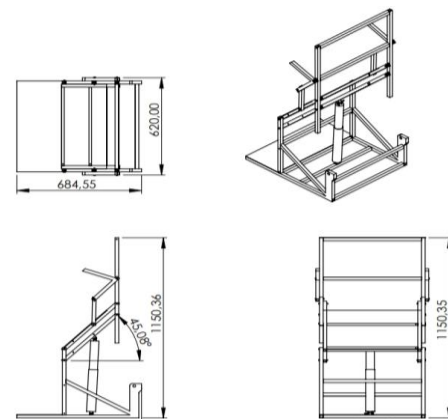
- Variabel terikat : Nilai distribusi tegangan, Nilai deformasi, Nilai faktor keamanan
- Variabel terkontrol : Beban pengguna kursi roda maks. 75 kg
- Variabel bebas : Desain kursi roda dengan posisi duduk, posisi 45°, dan posisi berdiri

Prosedur penelitian ini, dimulai dari pembuatan dimensi rangka 2D selanjutnya mengumpulkan data tentang bentuk desain dari kursi roda posisi duduk, posisi 45°, dan posisi berdiri. Data tersebut berupa bentuk profil yang digunakan dan geometry desain kursi roda. Tujuan dari pengumpulan data ini adalah untuk mendapatkan desain rangka kursi roda yang sebaik mungkin dan pembuatan desain dilakukan dengan menggunakan software Solidworks 2018.

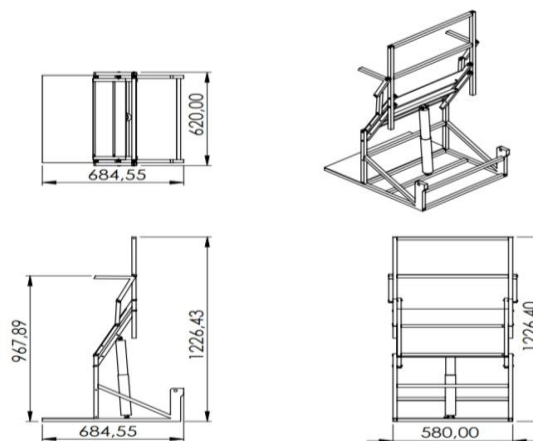
Berikut rancangan desain rangka kursi roda posisi duduk, posisi 45°, dan posisi berdiri :



Gbr 1. Dimensi rangka kursi roda posisi duduk



Gbr 2. Dimensi rangka kursi roda posisi 45°



Gbr 3. Dimensi rangka kursi roda posisi berdiri

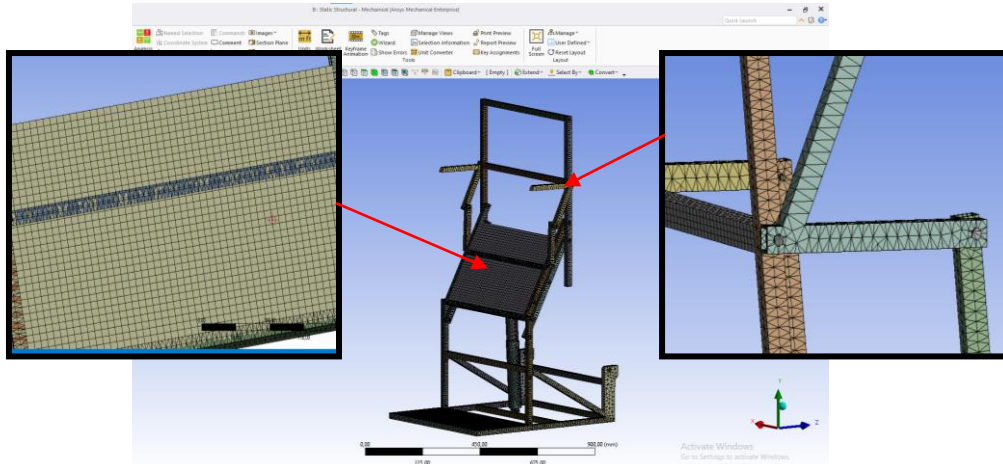
Setelah mendapatkan dimensi rangka, langkah selanjutnya adalah melakukan proses simulasi pada software Ansys Workbench. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu mengatur engineering data, kemudian memasukkan geometry gambar yang sudah dibuat, kemudian melakukan proses meshing dan memasukkan variabel yang diperlukan untuk menjalankan simulasi

Pada simulasi Ansys Workbench menggunakan fitur analysis system static structural yang digunakan untuk menghitung analisa kekuatan statis struktur dari desain rangka. Langkah selanjutnya yaitu pemilihan jenis material yang akan disimulasikan pada desain rangka kursi roda. Material yang digunakan adalah Stainless Steel tipe 316L dengan nilai densitas 0,289 lb/in³, yield strength sebesar 205 MPa dan ultimate strength sebesar 515 MPa. Setelah diketahui nilai

Simulasi Desain Kursi Roda Dengan Fitur Berdiri Untuk Pasien Pasca Stroke
Menggunakan Software Ansys Workbench

tersebut selanjutnya yaitu proses input geometry dilakukan dengan memasukkan hasil desain yang telah dibuat sebelumnya menggunakan software Solidworks 2018

Kemudian proses meshing geometry rangka didapatkan proses meshing dengan element size sebesar 10 mm dengan nodes sebanyak 237.141 dan elements sebanyak 90.499, dan bentuk mesh yang dihasilkan adalah hexahedron dan tetrahedron



Gbr 4. Meshing pada rangka

Selanjutnya pembebanan yaitu dilakukan sebagai salah satu tahap dari proses simulasi static structural dalam software Ansys Workbench. Beban pengendara didistribusikan dalam struktur rangka kursi roda posisi duduk, posisi 45°, posisi berdiri sesuai dengan ergonomi bentuk tubuh pengendara.

Tabel 1. Estimasi Setiap Segment Massa Pada Tubuh Manusia(Kroemer Elbert. 1990)

Segment	Empirical equation	Standard error of estimate
Head	0.0306W + 2.46	0.43
Head and neck	0.0534W + 2.33	0.60
Neck	0.0146W + 0.60	0.21
Head, neck and torso	0.5940W - 2.20	2.01
Neck and torso	0.5582W - 4.26	1.72
Total arm	0.0505W + 0.01	0.35
Upper arm	0.0274W - 0.01	0.19
Forearm and hand	0.0233W - 0.01	0.20
Forearm	0.0189W - 0.16	0.15
Hand	0.0055W + 0.07	0.07
Total leg	0.1582W + 0.05	1.02
Thigh	0.1159W - 1.02	0.71
Shank and foot	0.0452W + 0.82	0.41
Shank	0.0375W + 0.38	0.33
Foot	0.0069W + 0.47	0.11

Gaya yang digunakan dalam pengujian kekuatan material rangka dapat dihitung menggunakan empiris tersebut. Pembebanan/load tubuh pengendara yang akan ditempatkan pada rangka untuk simulasi static structural akan ditempatkan pada 3 titik, berat pengendara yang ditetapkan sebesar $W = 75$ kg.

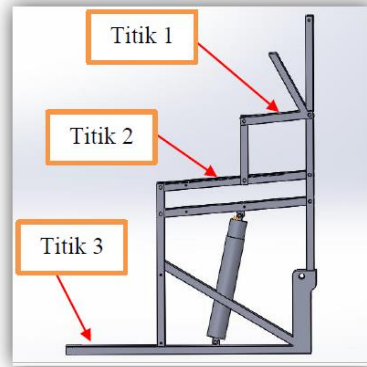
Berikut perhitungan pada setiap titik pembebanan terhadap rangka kursi roda posisi duduk, posisi 45°, dan posisi berdiri :

- Titik pembebanan kursi roda posisi duduk
 - a) Titik pertama adalah gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} terdiri dari berat bagian tubuh lengan bawah dan tangan. Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya total Forearm and hand ($0.0233W - 0,01$) dikali gravitasi:

$$F_{p1} = (0.0233 \times 75 - 0,01) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

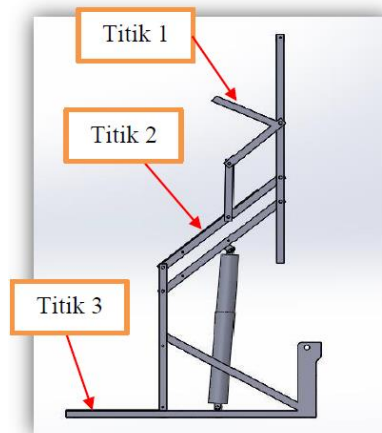
$$F_{p1} = 17,044 \text{ N}$$

- b) Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat anggota tubuh. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya Head, neck, torso + thigh $(0.5940W - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02)$ dikali gravitasi:
- $$F_{p2} = (0.5940 \times 75 - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$
- $$F_{p2} = 415,453 \text{ N} + 75,267 \text{ N}$$
- $$F_{p2} = 490,720 \text{ N}$$
- c) Titik ketiga adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya total foot $(0.0069W + 0.47)$ dikali gravitasi:
- $$F_{p3} = (0.0069 \times 75 + 0.47) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$
- $$F_{p3} = 9,687 \text{ N}$$



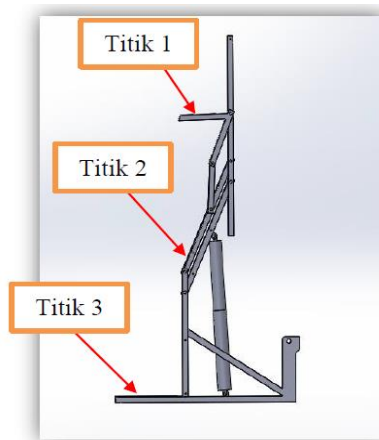
Gbr 5. Titik pembebanan rangka kursi roda posisi duduk

- Titik pembebanan kursi roda posisi 45°
- a) Titik pertama adalah gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} terdiri dari berat anggota tubuh bagian lengan bawah, tangan. Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya total forearm dan hand $(0.0233W - 0,01)$ dikali gravitasi:
- $$F_{p1} = (0.0233 \times 75 - 0,01) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$
- $$F_{p1} = 17,044 \text{ N}$$
- b) Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kepala, leher, batang tubuh dan paha. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya Head, neck, torso + Thigh $(0.5940W - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02)$ dikali gravitasi:
- $$F_{p2} = (0.5940 \times 75 - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$
- $$F_{p2} = 415,453 \text{ N} + 75,267 \text{ N}$$
- $$F_{p2} = 490,720 \text{ N}$$
- c) Titik kedua adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya foot $(0.0069W + 0,47)$ dikali gravitasi:
- $$F_{p3} = (0.0069 \times 75 + 0,47) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$
- $$F_{p3} = 9,687 \text{ N}$$



Gbr 6. Titik pembebanan rangka kursi roda posisi 45°

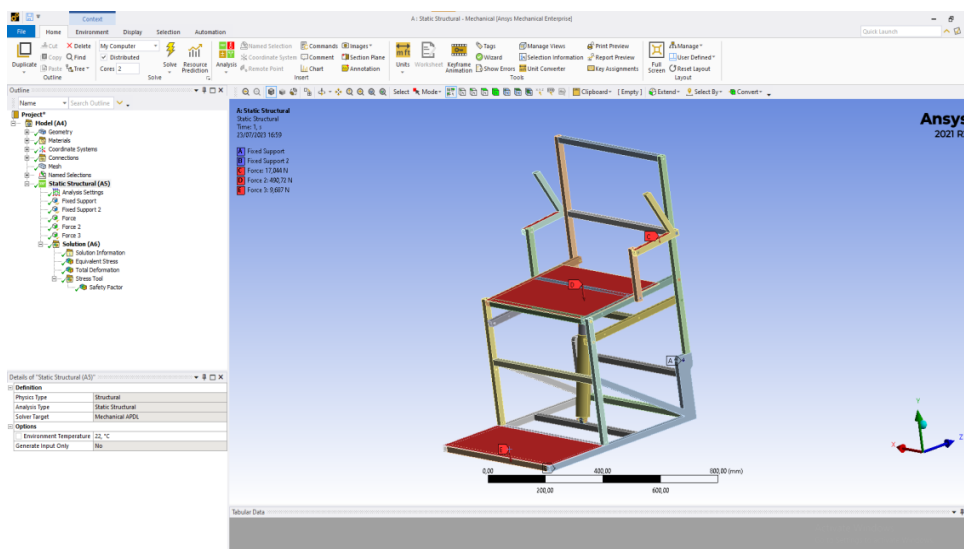
- Titik pembebanan kursi roda posisi berdiri
 - a) Titik pertama adalah gaya F_{p1} , dimana gaya F_{p1} terdiri dari berat bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan tangan. Perhitungan gaya F_{p1} yaitu gaya total arm $(0.0505W + 0,01)$ dikali gravitasi:
$$F_{p1} = (0.0505 \times 75 + 0,01) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$
$$F_{p1} = 37,253 \text{ N}$$
 - b) Titik kedua adalah gaya F_{p2} , dimana gaya F_{p2} terdiri dari berat anggota tubuh bagian kepala, leher, batang tubuh dan paha. Perhitungan gaya F_{p2} yaitu gaya Head, neck, torso + Thigh $(0.5940W - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02)$ dikali gravitasi:
$$F_{p2} = (0.5940 \times 75 - 2,20) + (0.1159 \times 75 - 1,02) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$
$$F_{p2} = 415,453 \text{ N} + 75,267 \text{ N}$$
$$F_{p2} = 490,720 \text{ N}$$
 - c) Titik ketiga adalah gaya F_{p3} , dimana gaya F_{p3} terdiri dari berat anggota tubuh badan bagian, paha, betis dan kaki. Perhitungan gaya F_{p3} yaitu gaya total leg $(0.1582W + 0.05)$ dikali gravitasi:
$$F_{p3} = (0.1582 \times 75 + 0.05) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$
$$F_{p3} = 116,886 \text{ N}$$



Gbr 7. Titik pembebanan rangka kursi roda posisi berdiri

Force (Pembebanan) tahap selanjutnya yaitu menentukan bagian mana saja yang akan menjadi tumpuan dan bagian yang diberi pembebanan. Tumpuan pada rancangan rangka ini terdapat pada gambar dibawah ini :

- Kursi roda posisi duduk

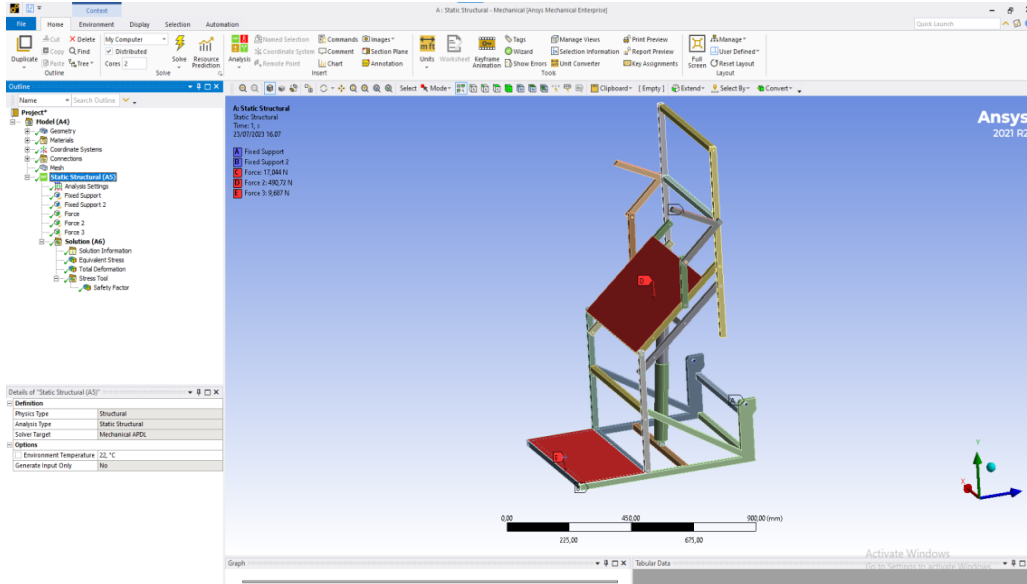


Gbr 8. Letak pembebanan rangka kursi roda posisi duduk

Tabel 2. Nilai titik pembebanan kursi roda posisi duduk

	Titik pembebanan	Asal pembebanan	Nilai pembebanan
1	Titik C	Forearm and hand	17,044 N
2	Titik D	Head,neck,torso + thigh	490,720 N
3	Titik E	Foot	9,687 N

➤ Kursi roda posisi 45°

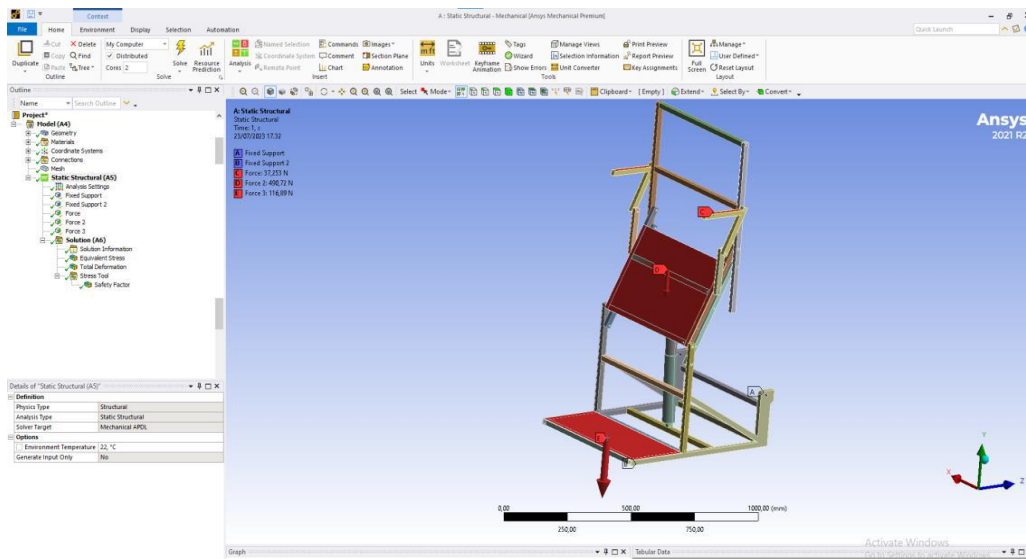


Gbr 9. Letak pembebanan rangka kursi roda posisi 45°

Tabel 3. Nilai titik pembebanan kursi roda posisi 45°

	Titik pembebanan	Asal pembebanan	Nilai pembebanan
1	Titik C	Forearm and hand	17,044 N
2	Titik D	Head,neck,torso + thigh	490,720 N
3	Titik E	Foot	9,687 N

➤ Kursi roda posisi berdiri



Gbr 10. Letak pembebanan rangka kursi roda posisi berdiri

Simulasi Desain Kursi Roda Dengan Fitur Berdiri Untuk Pasien Pasca Stroke
Menggunakan Software Ansys Workbench

Tabel 4. Nilai titik pembebanan kursi roda posisi berdiri

	Titik pembebanan	Asal pembebanan	Nilai pembebanan
1	Titik C	Total arm	37,253 N
2	Titik D	Head,neck,torso + thigh	75,267 N
3	Titik E	Total leg	116,886 N

Tahapan selanjutnya yaitu memasukkan parameter solusi yang akan digunakan untuk mengolah bentuk hasil perhitungan pada simulasi ini. Parameter yang ditetapkan meliputi : Equivalent stress (Von-Mises) sebagai nilai distribusi tegangan, Total deformation yang akan digunakan sebagai nilai deformasi, dan Safety factor sebagai nilai faktor keamanan. Kemudian dilakukan proses perhitungan numerik simulasi metode elemen hingga dijalankan.

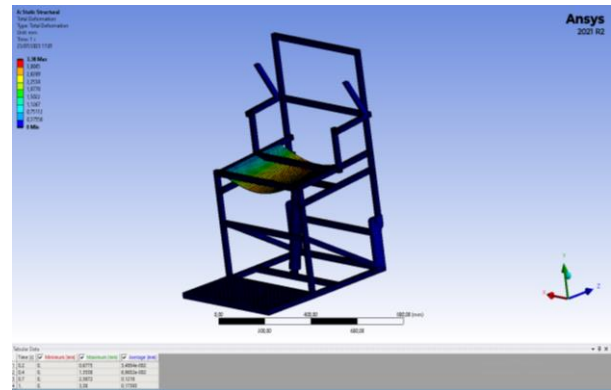
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan dari simulasi merupakan gambaran dari fenomena statika struktur dari rancangan rangka yang terdapat pada kursi roda dengan posisi yang berbeda antara lain kursi roda posisi duduk, posisi 45°, dan posisi berdiri sehingga mendapatkan hasil dari parameter distribusi tegangan, total deformasi, faktor keamanan. Berikut data yang didapatkan dari simulasi menggunakan software Ansys Workbench :

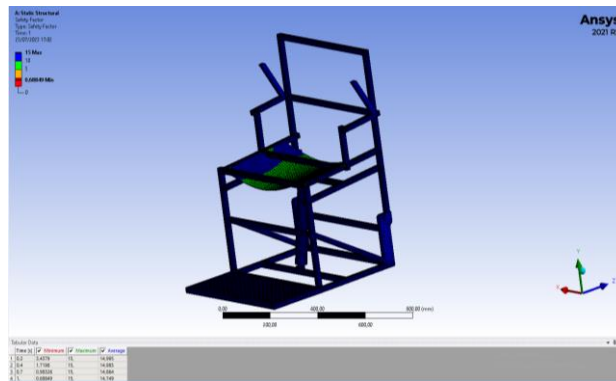
➤ **Simulasi kursi roda posisi duduk**



Equivalent stress

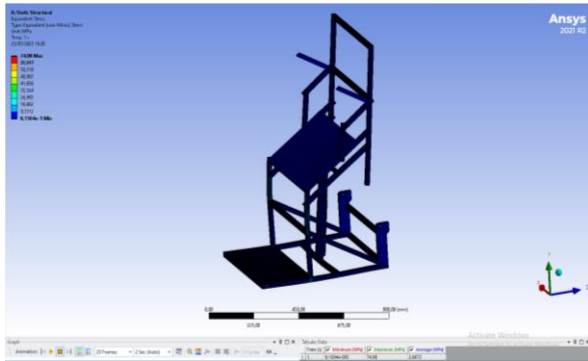


Total deformation

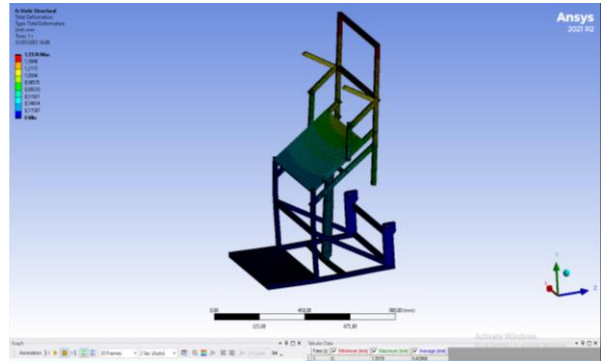


Safety factor

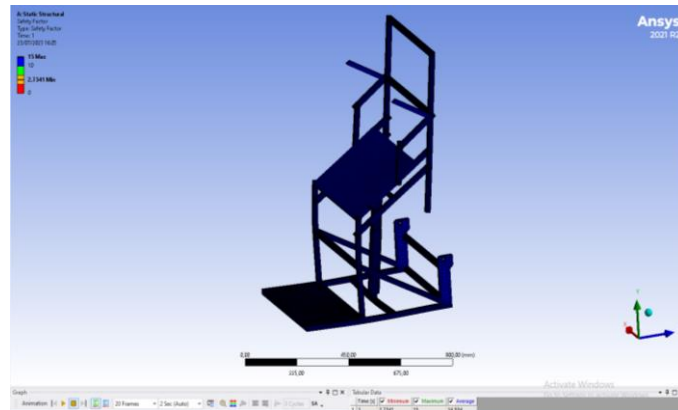
➤ Simulasi kursi roda posisi 45°



Equivalent stress

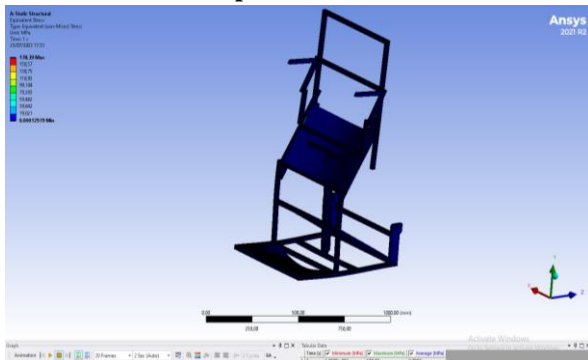


Total deformation

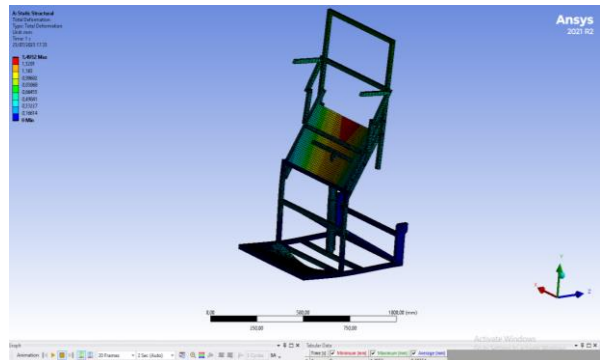


Safety factor

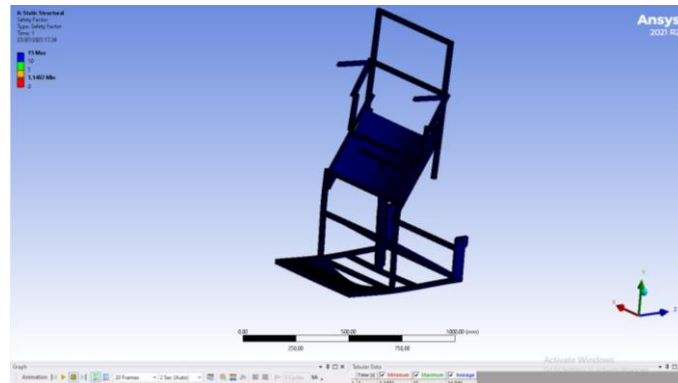
➤ Simulasi kursi roda posisi berdiri



Equivalent stress



Total deformation



Safety factor

Hasil yang diperoleh dari simulasi FEM yang dilakukan pada rancangan rangka kursi roda terhadap posisi yang berbeda-beda dengan menggunakan material Stainless steel 316L, telah didapatkan data sebagaimana pada tabel dibawah ini.

Tabel Data hasil simulasi ke-1

	Kursi roda posisi duduk		
	Distribusi tegangan (MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	297,75	3,38	15
Min	1,3038e-012	0	0,68849
Rata-rata	2,5884	0,17393	14,749

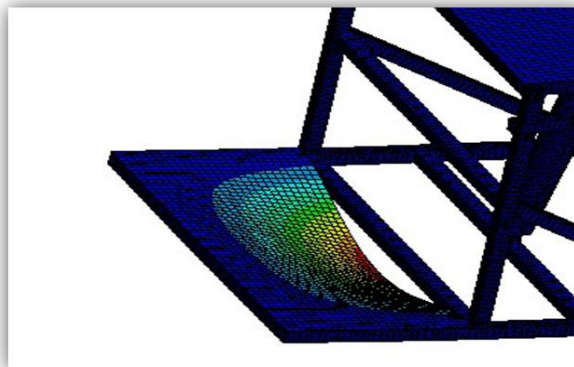
Tabel Data hasil simulasi ke-2

	Kursi roda posisi 45° derajat		
	Distribusi Tegangan(MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	74,98	1,5576	15
Min	8,1504e-005	0	2,7341
Rata-rata	2,6672	0,42966	14,934

Tabel Data hasil simulasi ke-3

	Kursi roda posisi berdiri		
	Distribusi tegangan (MPa)	Total deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	178,39	1,4952	15
Min	1,2979e-004	0	1,1492
Rata-rata	2,7962	0,30354	14,946

Rancangan rangka kursi roda dengan menggunakan material Stainless steel 316L memiliki massa sebesar 28.25994 kg. Berdasarkan tabel diatas telah didapatkan nilai equivalent stress, total deformation, dan safety factor dari masing-masing bentuk dari posisi kursi roda



Gbr 11. Deformasi maksimum

Seperti pada Gbr 11 defleksi yang terjadi dibagian footrest (pijakan kaki) dikarenakan karena sambungan material Stainless steel yang kurang pada bagian tengah footrest. Maka dari itu solusi yang tepat untuk mengatasi masalah yang terjadi yaitu harus menambah material Stainless steel pada bagian tengah footrest supaya bisa menopang pijakan kaki secara aman.

KESIMPULAN

Metode perancangan desain rangka menggunakan software Solidworks 2018 dan dianalisis menggunakan Ansys Workbench untuk mengetahui nilai distribusi tegangan, nilai deformasi, dan nilai faktor keamanan dari masing-masing bentuk posisi kursi roda.

Distribusi tegangan yang terjadi pada rangka kursi roda fitur berdiri pada bagian footrest (pijakan kaki) mendapatkan nilai equivalent stress maksimal sebesar 178,39 MPa, nilai equivalent stress minimal sebesar $1,2979 \times 10^{-4}$ MPa dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 2,7962 MPa. Hasil nilai distribusi tegangan masih dalam batas aman karena hasil simulasi indikasi warna merah hampir tidak tampak.

Deformasi yang terjadi pada rangka kursi roda fitur berdiri pada bagian footrest mendapatkan nilai total deformation maksimal 1,4952 mm, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm dan nilai rata-rata total deformation sebesar 0,30354 mm.

Faktor keamanan pada rangka kursi roda fitur berdiri mendapatkan nilai maksimal sebesar 15 pada bagian pijakan kaki, nilai safety factor minimal sebesar 1,1492 dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,946. Hasil nilai faktor keamanan tidak mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 1,1492 kali dari gaya semula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AJIMAN, B. (2022). Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- [2] Aszul. K. (2020) "PERANCANGAN MEKANISME FITUR BERDIRI PADA KURSI RODA ELEKTRIK. (Laporan Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia)
- [3] Budiman, F. A., Septiyanto, A., Sudiyono, S., Musyono, A. D. N. I., & Setiadi, R. (2021). Analisis Tegangan von Mises dan Safety Factor pada Chassis Kendaraan Listrik Tipe In-Wheel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(1), 100-108
- [4] Kroemer, Karl H. E., Hiltrud J. Kroemer, and Katrin E. Kroemer-Elbert. 2010. *Engineering Physiology*
- [5] Alafgani, M. K. (2018). Desain Kursi Roda Untuk Difabel Daksa Yang Ergonomi Dan Inovatif. (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- [6] Long-Chang Hsieh¹, T.-H. C.-J. (2016). Desain Inovatif Kursi Roda dengan Lifting dan Fungsi Berdiri. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, vol. 4, 2016, 4, 10-12.
- [7] Iksal, I., & Darmo, D. (2012). Perancangan dan Implementasi Kursi Roda Elektrik Ekonomis sebagai Sarana Rehabilitasi Medik. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 3(1), 203-210.
- [8] Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design*. S. Chand Publishing
- [9] Karunia, E. (2016). Hubungan antara dukungan keluarga dengan kemandirian activity of daily living pasca stroke. *Jurnal Berkala Epidemiologi*, 4(2), 213-224