

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

1. I Made Londen Batan (2007)

I Made Londen Batan menerbitkan jurnal yang berjudul *Pengembangan Kursi Roda Sebagai Upaya Peningkatan Ruang Gerak Penderita Cacat Kaki*. Dalam jurnal tersebut dilakukan pengujian tegangan material dan risiko cedera tubuh yang mungkin timbul pada pengguna kursi roda. Rancangan kursi roda di Indonesia dapat direalisasi untuk dikembangkan sebagai sarana transportasi yang aman dipakai oleh penderita cacat kaki dalam beraktifitas di dalam rumah maupun di luar rumah. I Made Londen Batan juga menyimpulkan bahwa dengan simulasi tegangan material rangka serta simulasi RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*), Maka kursi roda yang dikembangkan adalah aman terhadap beban statis 150kg dan nyaman untuk digunakan.

2. Katherine Froehlich-grobe, Richard A. Washburn (2010)

Katherine dan Richard menerbitkan jurnal yang berjudul *Exploring Obesity Among Wheelchair Users: BMI vs Body Composition*. Tujuan penulis menerbitkan jurnal ini adalah untuk mengetahui sejauh mana *Body Mass Index* (BMI) merepresentasikan obesitas pada pengguna kursi roda. Kemudian penulis membandingkan hasil *Body Mass Index* dengan komposisi tubuh yang sebenarnya menggunakan alat yg bernama DXA Scan pada 42 pengguna kursi roda. Penulis menemukan hasil yaitu pada peserta dengan *Body Mass Index* yang normal presentase lemak tubuh yang dimiliki pria rata-rata $28,6 \pm 7,1\%$, dan presentase lemak tubuh yang dimiliki oleh wanita rata-rata $41,2 \pm 0,6\%$. Pada kategori *Overweight*, presentase lemak tubuh pria rata-rata $34,2 \pm 3,1\%$, dan presentase lemak tubuh wanita rata-rata $48,9 \pm 5,9\%$. Dan kategori terakhir yaitu *Body Mass Index Obesity* didapat lemak tubuh pria rata-rata $42,7 \pm 4,9\%$, dan lemak tubuh wanita rata-rata $55,0 \pm 4,4\%$. Kemudian penulis mengambil kesimpulan banyak pengguna kursi roda dengan *Body Mass Index* normal atau sedikit kelebihan berat memiliki presentase lemak tubuh yang masuk ke dalam golongan obesitas. Serta *Body Mass Index* tidak memadai untuk menilai level obesitas pada pengguna kursi roda karena tidak mempertimbangkan komposisi antara otot dan lemak. Penulis juga menyarankan untuk melakukan pengukuran komposisi tubuh untuk mendapat diagnosis yang tepat.

3. Ali Ebrahimi, Alireza Kazemi, Azin Ebrahimi (2016)

Dalam jurnal yang diterbitkan penulis, penulis mengambil latar belakang gaya hidup yang aktif dalam program rehabilitasi bagi penderita gangguan mobilitas, dan bagaimana desain kursi roda yang digunakan dapat mempengaruhi secara langsung aktivitas fisik dan kualitas hidup pengguna kursi roda. Penulis mencakup beberapa aspek utama dalam desain kursi roda, diantaranya adalah desain ban dan rangka, dan teknologi bantuan. Kemudian penelitian tersebut membuahkan hasil. Hasil tersebut adalah desain yang ergonomis yang dapat meningkatkan efisiensi propulsi, mengurangi beban pada bahu dan tangan yang akan berdampak positif pada penggunaan jangka panjang, kemudian ditemukan juga fitur seperti sistem otomatis, *power-assist*, dan frame kerangka kursi roda yang ringan dapat digunakan untuk meningkatkan aktivitas fisik.

4. Giuseppe Quaglia, Walter Franco, Matteo Nisi (2017)

Quaglia menerbitkan jurnal yang membahas tentang perkembangan dan batasan dari berbagai jenis sistem pergerakan (lokomosi) yang pernah digunakan dalam kursi roda pendaki tangga. Di dalam jurnal tersebut, penulis mengatakan kebutuhan akan kursi roda dengan model pendaki tangga cukup besar. Dikarenakan kursi roda dengan model tersebut jarang ditemukan di pasaran. Kemudian desain dari kursi roda yang banyak beredar terlalu rumit, mahal, dan sulit untuk digunakan, terutama dalam segi ukuran. Maka dari itu, Quaglia dkk merancang sistem pergerakan kursi roda yang sederhana, ringan, stabil, dan tetap nyaman untuk digunakan. Penulis memetakan pendekatan sistem pergerakan kursi roda yang sudah dikembangkan, antara lain roda, kaki, dan rantai. Penulis memulai simulasi dengan menggunakan *software MSC ADAMS* untuk menganalisis gaya dan torsi saat mendaki tangga, dan juga menilai distribusi berat dan titik pusat beban. Serta untuk memastikan tidak terjadinya slip atau rotasi yang membahayakan pengguna. Hasil yang didapat adalah kursi roda stabil saat mendaki tangga dan distribusi berat sangat mendukung kestabilan. Hasil kedua didapati gerak pengguna hampir lurus dan halus berkat *CAM Mechanism*. Hasil yang terakhir didapat adalah torsi motor yang dihasilkan tetap dalam batas wajar. Artinya, rancangan kursi roda tersebut cocok untuk digunakan dan direalisasikan. Kemudian penulis menemukan solusi yaitu menggunakan sistem pergerakan hibrida yang menggabungkan keunggulan dari ketiga sistem pergerakan yang sudah pernah dikembangkan. Kemudian ditemukan juga solusi lainnya yaitu dengan

menggunakan sistem pergerakan *Wheel-Leg* yang dapat meminimalkan kompleksitas sistem control dan mekanik, namun tetap mempunyai kemampuan menanjak yang mumpuni.

5. Ayu Anggit Pradhita, Ilham Priadythana, Susy Susmartini (2018)

Ayu Anggit Pradhita, dkk mencoba merancang ulang kursi roda manual dengan menggunakan kriteria standar ISO 7176-5. Hasil yang didapat adalah kursi roda awal yang dikaji belum dapat memenuhi ISO 7176-5 yang ditetapkan oleh pemerintah. Hal ini mengakibatkan beberapa komponen yang tidak sesuai dengan ISO 7176-5 membuat pengguna kursi roda menjadi tidak aman dan nyaman dalam mengoperasikan kursi roda. Kursi roda yang dirancang ulang mengalami perubahan bentuk pada rangka utama sehingga hasil dari rancangan ulang kursi roda tersebut dapat memenuhi 22 dari 27 item ISO 7176-5. Lima item belum dapat dipenuhi karena rancangan belum direalisasikan atau dibuat sehingga belum dapat dibandingkan.

6. Ayundyahrini, AM Boynawan, Fakhрина Fahma, Susanto (2021)

Melinda Ayundyahrini, menerbitkan jurnal yang berjudul *Uji Parameter Kekuatan Produk Sesuai ISO 7176-8:2014 Untuk Pengembangan Standar Kursi Roda Manual Di Indonesia*. Jurnal tersebut menjelaskan tentang pengujian parameter kekuatan kursi roda yang meliputi statis, impact, dan *fatigue* produk. Hasil dari pengujian tersebut menjelaskan bahwa kursi roda impor dan kursi roda lokal dapat memenuhi uji kekuatan statis dengan 3 sampel membutuhkan perbaikan pada *tipping lever*. Pada pengujian stabilitas statis, 80% produk kursi roda dapat memenuhi uji stabilitas statis. Sedangkan untuk uji *fatigue* rem dapat dipenuhi oleh semua sampel, namun berlainan dengan uji jatuh yang dimana semua sampel produk kursi roda tidak dapat memenuhi uji jatuh. Menurut Melinda Ayundyahrini, *tipping lever* dapat diusulkan menjadi salah satu syarat di SNI karena merupakan keunggulan produk dalam negeri dan mendukung keamanan kursi roda.

7. Nur Kholis, Yudha Pratama, Hamza Tokomadoran, Vio Galuh (2022)

Nur Kholis, dkk melakukan perancangan kursi roda ergonomis untuk penunjang disabilitas dengan menggunakan metode *Ergonomic Function Deployment* (EFD). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kursi roda yang ada saat ini merupakan kursi roda yang memungkinkan munculnya cedera bagi para pengguna kursi roda. Terjadinya penurunan tingkat ketidaknyamanan pada bagian kaki karena dengan adanya tambahan

penopang kaki lebih panjang sehingga dapat meminimalisir kaki untuk tidak dalam posisi duduk biasa yang dapat menyebabkan kelelahan dan juga kebas.

8. Rizqi Fathurrohman (2023)

Mahasiswa ITN Malang, Rizqi Fathurrohman membuat simulasi uji kekuatan yang berjudul *Simulasi Desain Kursi Roda Dengan Fitur Berdiri Untuk Pasien Pasca Stroke Menggunakan Software Ansys Workbench*. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai distribusi tegangan, nilai deformasi, dan nilai faktor keamanan kursi roda tersebut dengan desain kursi roda di posisi duduk, posisi 45 derajat, dan posisi berdiri. Hasil dari penelitian tersebut 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 regangan masih dalam batas aman karena hasil simulasi yang terindikasi warna merah hampir tidak tampak

Sedangkan deformasi yang terjadi pada rangka kursi roda dengan 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 dengan 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. Nilai faktor keamanan tersebut tidak mampu menahan gaya yang ditopang maksimal 1,1492 kali dari gaya semula

2.2 Kursi Roda

Kursi roda atau *wheelchair* adalah alat untuk membantu orang yang mobilitasnya terkendala. Kursi roda biasanya digunakan oleh orang dengan cacat jangka panjang dan penyakit kronis (Science Museum, 2024). Kursi roda tidak hanya membantu untuk mobilitas namun memiliki dampak yang signifikan terhadap aktifitas harian pengguna kursi roda, efisiensi energi pengguna, dan kualitas pemakaian dalam jangka panjang (Ebrahimi, 2016). Kursi roda dapat digerakkan dengan bantuan orang lain, digerakkan dengan tangan, ataupun digerakkan dengan menggunakan penggerak eksternal dengan motor elektrik.

Desain kursi roda yang ergonomis dapat membantu mengurangi beban pada bagian tubuh tertentu, seperti bahu dan tangan. Ini dapat meningkatkan kenyamanan dan mengurangi resiko cedera pada pengguna. (Ebrahimi, 2016).

Pada saat ini, banyak tipe kursi roda yang diperjualbelikan di pasar. Kursi roda dibagi menjadi dua jenis, yaitu kursi roda manual dan kursi roda elektrik. Seiring dengan perkembangan teknologi, rancangan kursi roda semakin bervariasi. Adapun juga kursi roda yang dikhususkan untuk pengguna obesitas yang bisa menampung beban pengguna hingga 100kg. Untuk desain kursi roda khususnya pasien obesitas harus memperhatikan kekuatan struktur kursi roda, terutama pada bagian *frame*. Karena *frame* merupakan pondasi utama dalam kursi roda (Froehlic-Grobe, 2010). Diskusi dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh rangka kursi roda yang berbahan stainless steel jika penggunanya mempunyai bobot 130kg.

2.2.1 Komponen Kursi Roda



Gambar 2.1 Komponen Pada Kursi Roda

Sumber : (Ellyana Sungkar, 2011)

Seperti yang terlihat pada gambar 2.1 berikut adalah komponen-komponen kursi roda dan penjelasannya :

1. *Push Handle* : Push Handle terletak di bagian belakang kursi roda. Bagian pegangan diberi karet untuk membuat pendorong kursi roda merasa nyaman pada saat mendorong kursi roda
2. *Armrest* : Merupakan sandaran tangan untuk pengguna kursi roda. *Armrest* diletakkan di dua bingkai dari kursi roda dan dirancang sangat kokoh untuk menahan beban saat digunakan untuk bersandar.
3. *Backseat* : Adalah tempat untuk meletakkan punggung pengguna
4. *Seat* : Merupakan tempat duduk untuk pengguna. Demi kenyamanan pengguna biasanya *seat* ditambahkan bantal/busanya
5. *Frame* : Adalah struktur yang berbentuk tabung untuk menopang jok dan roda.

6. *Wheel* : Adalah roda belakang yang digunakan untuk menjalankan kursi roda oleh penggunanya sendiri tanpa bantuan orang lain.
7. *Brake* : Brake atau rem berfungsi untuk mengatur kecepatan pada saat kursi roda dijalankan oleh pengguna. Rem juga berfungsi untuk mengunci kursi roda agar tidak bergerak jika pengguna tidak menginginkan
8. *Fork* : Merupakan garpu penghubung antara rangka utama dengan roda depan
9. *Heel Loop* : Komponen yang terletak pada bagian belakang tumit ini berfungsi untuk menjaga posisi kaki agar tetap berada di tengah.
10. *Footplate* : *Footplate* dapat bergerak ke atas dan ke bawah, yang bertujuan untuk mengatur posisi kaki agar tetap berada di tengah
11. *Caster Wheels* : Roda yang terletak di bagian depan dan mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan roda bagian belakang. Ukuran dari *Caster wheel* berdiameter 8 inci
12. *Footrest* : Merupakan tempat pijakan kaki, yang dapat disesuaikan dengan jenis kaki yang berbeda-beda

2.2.2 Jenis – Jenis Kursi Roda

Jenis-jenis kursi roda sangatlah banyak. Selain digunakan sebagai alat medis, kursi roda juga dapat digunakan pada aktifitas di bidang olahraga. Karena setiap kursi roda memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda. Berikut ini adalah macam-macam kursi roda :

1. Kursi Roda Manual



Gambar 2.2 Kursi Roda Manual

Sumber : (Axl Ferrera, 2023)

Kursi roda manual merupakan kursi roda yang paling sering digunakan terutama oleh Masyarakat Indonesia. Perangkat ini juga menyediakan velg yang memungkinkan pengguna kursi roda mendorong secara mandiri ke arah depan dan belakang serta

memungkinkan juga penggunaanya berputar. Kursi roda manual dapat dioperasikan dengan bantuan orang lain ataupun oleh penggunaanya sendiri dengan mendorong komponen pushrim yang terletak pada roda bagian belakang kursi roda. Kursi roda ini pada umumnya digunakan oleh pasien yang mempunyai kondisi cedera atau patah kaki sebagian.

2. Kursi Roda Elektrik



Gambar 2.3 Kursi Roda Elektrik

Sumber : (Galeri Medika, 2025)

Kursi roda elektrik adalah kursi roda yang digerakkan dengan motor listrik yang biasanya digunakan untuk perjalanan jarak jauh bagi penderita cacat atau penderita cacat ganda sehingga tidak mampu untuk menjalankan kursi roda secara mandiri. Untuk menjalankan kursi roda elektrik, mereka hanya cukup menggunakan tuas seperti *joystick* untuk menjalankan kursi roda tersebut. Mengarahkan *joystick* ke arah depan membuat kursi roda tersebut dapat berjalan ke arah depan, begitu juga ketika *joystick* diarahkan ke arah belakang, maka kursi roda tersebut dapat berjalan mundur ke belakang. Pengguna dapat mengarahkan *joystick* ke arah samping kiri dan kanan untuk mengubah arah kursi roda dan juga berfungsi sebagai rem kursi roda. Umumnya, kursi roda elektrik dilengkapi dengan alat untuk mengisi ulang baterainya yang dapat langsung dimasukkan kedalam stop kontak di rumah atau bangunan yang dikunjungi.

3. Kursi roda bariatrik



Gambar 2.4 Kursi Roda Bariatrik

Sumber : (Recare, 2021)

Kursi roda bariatrik adalah kursi roda manual yang desainnya khusus untuk orang yang mengalami *morbid obesity* (Obesitas Tingkat Lanjut). *Seat* untuk kursi roda bariatrik ini lebih besar daripada jenis kursi roda pada umumnya, dan juga kerangka pada kursi roda bariatric dibuat lebih kokoh. Hal ini dikarenakan kursi ini didesain untuk bisa menahan beban hingga 300kg.

4. Kursi Roda Pediatrik



Gambar 2.5 Kursi Roda Pediatrik

Sumber : (Galeri Medika, 2025)

Kursi roda pediatrik dirancang khusus untuk anak kecil yang mengalami kondisi cedera atau patah kaki. Kursi roda ini memiliki berat maksimal sekitar 50kg. Ada dua jenis tipe kursi pediatrik. Yang pertama ada kursi roda pediatrik manual, dan yang kedua adalah kursi roda pediatrik elektrik yang dapat memudahkan anak untuk menjalankan kursi roda secara mandiri dengan menggunakan tuas atau *joystick* yang sudah disediakan di kursi roda.

5. Kursi Roda Olahraga



Gambar 2.6 Kursi Roda Olahraga

Sumber : (MotionAid, 2017)

Kursi Roda Olahraga (*Sport Wheelchair*) merupakan kursi roda yang dikhususkan oleh atlet yang mengalami disabilitas untuk dapat berkompetisi dalam beberapa cabang olahraga yang membutuhkan kecepatan dan kelincahan. Kursi roda ini memiliki fitur dan spesifikasi yang berbeda untuk beberapa cabang olahraga. Salah satu spesifikasi kursi roda olahraga pada gambar 2.6 adalah memiliki kemiringan yang tajam pada roda tersebut.

2.3 Karakteristik Kerangka Kursi Roda

Bagian utama dari kursi roda adalah **frame** atau kerangka. Kerangka merupakan pondasi struktural yang sangat penting karena berfungsi untuk mendistribusikan beban dari berbagai bagian secara merata guna memastikan keseimbangan dan kestabilan kursi roda. Selain itu, kerangka juga menjadi elemen penopang yang mengintegrasikan seluruh komponen kursi roda, seperti roda utama, roda kecil (caster), sandaran, dudukan, sandaran kaki, serta sistem aktuasi (pada kursi roda elektrik). Dengan kata lain, kerangka adalah bagian yang menyatukan keseluruhan sistem sehingga kursi roda dapat berfungsi secara utuh dan optimal.

Kerangka (*frame*) memiliki fungsi untuk mempertahankan bentuk dari kursi roda serta mampu menahan beban pengguna secara aman dan stabil ketika digunakan dalam berbagai kondisi, termasuk di permukaan datar, tanjakan, maupun saat bermanuver. Daya tahan kerangka sangat menentukan keamanan dan kenyamanan pengguna, terutama untuk pengguna dengan kebutuhan khusus seperti pengguna bariatrik (berat badan tinggi) atau lansia yang rentan terhadap ketidakstabilan.

Karakteristik kerangka kursi roda terdiri dari tebal kerangka, bentuk kerangka, dan material yang digunakan. Ketebalan kerangka akan menentukan kapasitas beban maksimum dan tingkat kekakuan strukturalnya. Umumnya, untuk kursi roda standar digunakan pipa dengan ketebalan 1,5–2,5 mm, sedangkan untuk kursi roda heavy-duty (berat tinggi), ketebalan bisa ditingkatkan hingga 3 mm atau lebih. Bentuk kerangka juga sangat penting, karena berpengaruh pada distribusi beban, kestabilan saat berpindah posisi, serta desain ergonomi keseluruhan. Beberapa kursi roda modern menggunakan bentuk tubular oval atau geometri melengkung untuk meningkatkan kekakuan torsi tanpa menambah berat.

Material kerangka biasanya menggunakan aluminium alloy, baja ringan (*mild steel*), *stainless steel*, atau serat karbon. Masing-masing material memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal berat, kekuatan, ketahanan korosi, biaya produksi, dan kenyamanan. Misalnya, aluminium lebih ringan dibandingkan baja, namun *stainless steel* memiliki ketahanan korosi yang lebih tinggi dan cocok untuk penggunaan jangka panjang. Serat karbon memberikan kombinasi kekuatan tinggi dan bobot sangat ringan, namun harganya jauh lebih mahal.

Setiap kursi roda memiliki karakteristik kerangka yang berbeda, tergantung pada fungsi, tujuan penggunaan, dan kebutuhan pengguna. Kursi roda untuk penggunaan harian mungkin cukup menggunakan rangka aluminium sederhana, sedangkan kursi roda olahraga atau off-road membutuhkan struktur yang lebih kuat dan fleksibel. Karakteristik ini juga akan berpengaruh langsung terhadap harga jual kursi roda, karena semakin kompleks dan kuat desain kerangkanya, maka semakin tinggi pula biaya produksi dan nilai pasarnya.

2.4 Tegangan Pada Kerangka

Tegangan merupakan besaran fisika yang merujuk pada gaya per satuan luas yang bekerja pada suatu material, baik itu tarikan, tekanan, geseran, atau puntiran. Tegangan akan menggambarkan bagaimana gaya eksternal memengaruhi material secara internal. Tegangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{p}{A}$$

Sumber : (Yogi Prawoto, 2023)

Keterangan :

- P = Gaya yang bekerja (N)
- A = Luas penampang tempat gaya bekerja (m²)
- σ = Tegangan (N/m² atau Pa)

2.5 Regangan Pada Kerangka

Regangan merupakan perubahan bentuk atau dimensi terhadap material akibat pengaruh gaya atau tegangan yang bekerja pada struktur kerangka. Regangan dinyatakan sebagai perbandingan antara perubahan deformasi terhadap panjang awal material, sehingga tidak memiliki satuan. Regangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Sumber : (Springer, 2011)

Keterangan :

- σ = Tegangan yang dihasilkan
- E = Modulus Elastisitas material

2.6 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan atau *factor of safety* (*FoS*) merupakan ketentuan untuk mendeskripsikan kapasitas beban pada system di atas perkiraan atau beban aktual. Pada dasarnya, *factor of safety* menghitung seberapa kuat suatu sistem yang biasanya dibutuhkan untuk beban yang diinginkan. *Factor of Safety* dihitung menggunakan analisis yang sangat detail karena pengujian dilakukan secara tidak praktis pada beberapa proyek, seperti jembatan dan bangunan. Tetapi kemampuan struktur untuk menahan atau mengangkat beban harus diperhitungkan secara akurat. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung *FoS* :

$$FoS = \frac{\sigma_{Yield}}{\sigma_{Aktual}}$$

Sumber : (Erwin Ashari, 2022)

Keterangan :

- σ_{yield} = Tegangan izin material
- σ_{Aktual} = Tegangan kerja

2.7 Deformasi Pada Kerangka

Deformasi adalah perubahan bentuk atau ukuran suatu benda atau material akibat adanya gaya atau tekanan yang bekerja pada benda tersebut. Deformasi dapat terjadi pada berbagai jenis material, termasuk logam, plastik, karet, dan lain-lain. Faktor yang dapat mempengaruhi deformasi adalah besarnya gaya/tekanan, sifat material, dan temperatur. Berikut adalah rumus yang akan digunakan untuk menghitung nilai deformasi :

$$\Delta L = \varepsilon \cdot L_0 = \frac{\sigma}{E} \cdot L_0$$

Sumber ; (Gere, J.M, 1997)

Keterangan : ε : Modulus elastisitas material

σ : Tegangan kerja

L_0 : Nilai panjang awal material

2.8 Penggunaan Material

Pemilihan material yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kekuatan kerangka pada kursi roda. Material yang sering digunakan untuk membuat kerangka kursi roda adalah *stainless steel*, karena memiliki karakteristik yang unggul dalam hal ketahanan korosi, kekuatan tarik, dan daya tahan jangka panjang. Material ini juga memiliki kemampuan deformasi yang rendah ketika dikenai beban tinggi, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi struktural seperti pada kursi roda yang menopang berat tubuh pengguna.

Pada simulasi uji kekuatan kerangka kursi roda, jenis *stainless steel* yang saya gunakan adalah *stainless steel 201*, *stainless steel 316*, dan *stainless steel 316 annealed*. Ketiga jenis *stainless steel* ini memiliki komposisi kimia dan sifat mekanik yang berbeda, yang tentu saja akan memengaruhi performa struktural kerangka kursi roda dalam menahan beban.

Stainless steel 201 adalah material baja tahan karat dengan kadar nikel yang lebih rendah dan mangan yang lebih tinggi. Jenis ini memiliki kekuatan sedang hingga tinggi, serta lebih ekonomis dibanding tipe 300-series lainnya. Namun, ketahanannya terhadap korosi tidak sebaik tipe 316. *Stainless steel 201* cocok digunakan untuk produk yang tidak terlalu terpapar lingkungan korosif, atau untuk keperluan struktural ringan.

Stainless steel 316 merupakan salah satu jenis *stainless steel* terbaik yang banyak digunakan dalam aplikasi medis dan maritim. Material ini dikenal karena memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, bahkan di lingkungan yang mengandung klorida atau uap air laut. Selain itu, *stainless steel 316* juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan tahan terhadap suhu tinggi, sehingga sangat cocok digunakan pada rangka kursi roda yang harus menahan beban berat dalam waktu lama.

Sementara itu, *stainless steel 316 annealed* adalah versi dari *stainless steel 316* yang telah mengalami proses *annealing*—yaitu proses pemanasan dan pendinginan lambat untuk meningkatkan sifat daktilitas dan menurunkan tegangan sisa pada material. Dengan *annealing*, *stainless steel* menjadi lebih lunak dan ulet, sehingga lebih mudah dibentuk, tetapi tetap

memiliki ketahanan struktur yang baik. Jenis ini sangat cocok untuk bagian rangka yang memerlukan kelenturan atau kemungkinan deformasi tanpa retak, seperti sambungan atau titik tumpu beban dinamis.

Penggunaan material stainless steel dengan tipe yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui tipe stainless steel yang mana yang paling kuat dan paling cocok digunakan untuk menopang bobot pengguna kursi roda sebesar 130 kg. Dengan melakukan simulasi kekuatan dan pembebanan menggunakan software teknik seperti *ANSYS Workbench*, dapat diperoleh data numerik seperti tegangan maksimum (*Von Mises-stress*), deformasi total, dan faktor keamanan (*Factor of Safety*) dari masing-masing material tersebut. Hasil simulasi ini nantinya dapat digunakan untuk menentukan material terbaik, baik dari sisi kekuatan maupun efisiensi material, agar kursi roda tidak hanya aman dan kuat, tetapi juga ringan dan ekonomis.

2.8 Stainless steel 201

Stainless steel atau baja tahan karat adalah baja paduan yang memiliki sifat ketahanan terhadap pengaruh oksidasi dan korosi (karat). *Stainless steel* merupakan logam paduan dari beberapa unsur logam yang dipadukan dengan komposisi tertentu yang secara luas digunakan dalam industri kimia, makanan dan minuman, serta industri yang berhubungan dengan air laut dan semua industri yang memerlukan ketahanan korosi (Raharjo, 2015). *Stainless steel* atau baja tahan karat dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu *stainless steel*, *martensit*, *ferit*, dan *austenite* (Kalpakjian, dkk, 2009). Baja *stainless steel* 201 termasuk dalam kelompok austenit dengan kadar kromium (Cr) 16% dan nikel (ni) 6%. Mangan (Mn) dan nitrogen (N) ditambahkan untuk meningkatkan kekuatannya. Secara umum, baja tahan karat jenis austenit merupakan jenis baja tahan karat yang paling umum digunakan dalam industri. Keunggulan penggunaan material *stainless steel* 201 adalah sebagai berikut :

1. Harga yang lebih terjangkau karena baja *stainless steel* 201 mengandung lebih banyak mangan (Mn) dan kandungan nikel (ni) lebih sedikit. Sehingga harga yang ditawarkan sangat murah
2. Memiliki sifat mekanis yang baik, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan terhadap ketahanan beban statis dan dinamis.
3. Mempunyai ketahanan korosi di level sedang, sangat cocok untuk lingkungan yang tidak terlalu ekstrim contohnya di dalam ruangan dengan kelembaban yang rendah
4. Mempunyai tampilan yang sangat menarik dan memberikan kesan yang modern

Tabel 2.1 Komposisi Kandungan Kimia *Stainless Steel 201*

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	N
$\leq 0,15$	16,00-18,00	3,5-5,5	$\leq 1,00$	5,5-7,5	$\leq 0,060$	$\leq 0,030$	$\leq 0,25$

Sumber : (T. Debnath, 2016)

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Stainless Steel 201*

Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Elongation (%in50mm)	Hardness Rockwell (HRB)	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Specific Heat (J/kg.K)	Electric Resistivity (n Ω .m)
515	275	40-55%	80-90	7850	200	500	720

Sumber : (Q. Wang, 2020)

2.9 *Stainless Steel 316*

Baja paduan *stainless steel 316* merupakan baja tahan karat yang sangat populer di dalam dunia industri karena mengandung *molybdenum* (Mo) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *stainless steel 201*. Kandungan *molybdenum* ini memberikan ketahanan korosi yang sangat baik, terutama terhadap korosi pitting (titik) dan celah (*crevice*), yang biasanya terjadi di lingkungan yang mengandung ion klorida seperti air laut, lingkungan kimia, atau area yang lembap dan asam. Karena itulah, *stainless steel 316* banyak digunakan dalam aplikasi industri berat, farmasi, alat medis, serta peralatan maritim.

Sifat tahan korosi ini menjadikan *stainless steel 316* sebagai pilihan utama untuk produk-produk struktural yang terpapar langsung dengan lingkungan agresif, seperti kursi roda luar ruangan, struktur di rumah sakit, hingga komponen peralatan pabrik kimia. Berbeda dengan *stainless steel 201* yang merupakan baja tahan karat dengan kandungan nikel rendah dan mangan tinggi, *stainless steel 316* mengandung nikel sekitar 10–14% dan *molybdenum* sekitar 2–3%, sehingga memiliki struktur mikro austenitik yang stabil.

Stainless steel 316 merupakan jenis baja *austenite*, yaitu salah satu dari tiga kelompok utama *stainless steel* (*austenite*, *ferrite*, *martensite*). Struktur *austenite* terbentuk karena kandungan nikel yang tinggi, membuat baja ini non-magnetik, tangguh pada suhu tinggi, dan memiliki keuletan (*ductility*) yang baik bahkan dalam kondisi kriogenik (suhu sangat rendah). Karakteristik ini membuat *stainless steel 316* unggul dan sangat fleksibel untuk berbagai bentuk fabrikasi, seperti las, tekuk, atau pembentukan dengan metode pres.

Selain itu, stainless steel 316 juga memiliki *tensile strength* (kekuatan tarik) sekitar 515 MPa dan yield strength sekitar 205 MPa, menjadikannya cukup kuat untuk menopang beban struktural seperti rangka kursi roda untuk pengguna berbobot besar (misalnya 130 kg). Ketika dilakukan proses pengelasan (*welding*), *stainless steel* 316 tetap mempertahankan ketahanan korosinya dengan baik, terutama jika pasca *welding* dilakukan proses passivasi untuk mengembalikan lapisan oksida pelindung permukaan.

Tabel 2.3 Komposisi Kandungan Kimia *Stainless Steel* 316

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	Fe	Mo
0,029%	16,0 - 18,0%	10,0 – 14,0%	≤ 1.0%	≤ 2.0%	≤ 0.045%	≤ 0.030%	-	2.0 – 3.0%

Sumber : (R. Venkatesh, 2021)

Tabel 2.4 Sifat Mekanik *Stainless Steel* 316

Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Elongation (%in50mm)	Hardness Rockwell (HRB)	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Specific Heat (J/kg.K)	Electric Resistivity (nΩ.m)
485	205	40 – 60%	95	8000	193	500	740

Sumber : (Shresta, 2019)

2.10 *Stainless Steel* 316 *Annealed*

Stainless steel 316 *annealed* adalah jenis baja tahan karat austenitik yang telah menjalani proses pemanasan (*annealing*) untuk mengurangi tegangan internal dan meningkatkan sifat mekaniknya. Proses *annealing* dilakukan dengan memanaskan baja hingga suhu sekitar 1010–1120°C, kemudian mendinginkannya secara cepat, biasanya dengan air atau udara, untuk mencapai struktur mikro yang lebih stabil dan homogen.

Tujuan utama dari proses *annealing* adalah untuk menghilangkan sifat kerja dingin (*strain hardening*) yang muncul akibat proses pembentukan atau deformasi mekanis seperti tarik, atau gulung. Saat baja mengalami deformasi, butiran mikrostrukturnya menjadi tidak seragam dan menyimpan tegangan internal. Hal ini bisa menyebabkan baja menjadi keras, getas, atau bahkan mudah retak. Dengan proses *annealing*, struktur mikro baja akan mengalami rekristalisasi dan butiran baru terbentuk kembali secara merata, sehingga baja menjadi lebih lunak, ulet, dan mudah dibentuk (*ductile*) tanpa mengorbankan kekuatan tarik utamanya.

Stainless steel 316 annealed mempertahankan ketahanan korosi tinggi yang sama dengan *stainless steel 316*, namun dengan tambahan keunggulan berupa kemampuan fabrikasi yang lebih baik. Hal ini sangat penting untuk aplikasi struktural seperti rangka kursi roda, di mana bagian tertentu perlu dilas, dibengkokkan, sesuai dengan desain yang ergonomis tanpa menyebabkan retak atau deformasi yang tidak diinginkan.

Tabel 2.5 Komposisi Kandungan Kimia *Stainless Steel 316*

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	Fe	Mo
≤ 0,08%	16,0 – 18,0%	10,0 – 14,0%	≤ 1.00%	≤ 2.00%	≤ 0,045%	≤ 0,030%	-	2,057%

Sumber : (Venkatesh, 2021)

Tabel 2.6 Sifat Mekanik *Stainless Steel 316 Annealed*

Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Elongation (%in50mm)	Hardness Rockwell (HRB)	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Specific Heat (J/kg.K)	Electric Resistivity (nΩ.m)
515	205	≥40	95	8000	193	500	740

Sumber : (J.S Brooks, 2018)

2.11 Finite Element Analysis (FEA)

Finite Element Analysis (FEA) atau metode elemen hingga adalah metode numerik yang dapat memberikan solusi untuk persamaan diferensial yang memodelkan permasalahan yang terkait dengan fisika dan teknik (Darrel W. Pepper, 2006). Metode ini memungkinkan para insinyur dan peneliti untuk menganalisis fenomena kompleks seperti perpindahan panas, aliran fluida, tegangan mekanik, serta respon struktur terhadap beban dinamis dengan cara yang lebih efisien.

Metode elemen hingga dapat digunakan secara luas dan juga diterima di bidang industri. Ini disebabkan oleh kemampuannya untuk memprediksi perilaku sistem teknik secara akurat bahkan sebelum produk tersebut dibuat secara fisik. Dengan demikian, biaya dan waktu yang diperlukan untuk pengembangan produk dapat ditekan secara signifikan. Metode ini dilakukan dengan menganalisis suatu benda kerja yang dibagi menjadi bagian-bagian kecil (*element*) untuk dapat dianalisis lebih lanjut (Amir Hamzah, 2021). Setiap elemen tersebut kemudian dihitung satu per satu menggunakan prinsip mekanika dan hukum fisika, lalu digabungkan untuk membentuk solusi global dari struktur atau sistem yang dikaji.

Pengaplikasian metode elemen hingga di era sekarang dapat dilihat di berbagai sektor, termasuk industri otomotif, kedirgantaraan, dan bahkan industri medis, seperti dalam simulasi jaringan biologis, desain implant ortopedi, dan analisis kekuatan alat bantu medis seperti kursi roda. Dalam bidang biomekanik, *Finite Element Analysis* juga dapat digunakan untuk memahami interaksi antara struktur tubuh manusia dan alat bantu, misalnya gaya tekan pada punggung pengguna kursi roda atau prediksi area resiko luka tekan (*pressure ulcers*).

Finite Element Analysis (FEA) juga menjadi metode utama dalam dunia teknik untuk menganalisis distribusi tegangan, regangan, deformasi, serta memprediksi titik-titik lemah pada suatu struktur. Dalam banyak kasus, terutama pada desain struktur pendukung seperti rangka baja atau komposit, hasil simulasi FEA digunakan untuk memperkirakan faktor keamanan dan umur pakai struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan.

Metode ini sangat penting untuk mengembangkan produk yang aman dan efisien sebelum dilakukan proses manufaktur. Dalam penelitian ini, *Finite Element Analysis* (FEA) sering digunakan untuk mensimulasikan kekuatan rangka terhadap beban pengguna, sehingga dapat ditentukan apakah material dan desain yang digunakan mampu menopang beban secara optimal. Simulasi ini dapat membantu menghindari potensi kegagalan struktur dan memastikan kenyamanan serta keamanan pengguna, terutama dalam aplikasi seperti kursi roda yang akan digunakan sehari-hari oleh orang dengan kebutuhan khusus. Dengan menggunakan software seperti *ANSYS Workbench*, *SolidWorks Simulation*, atau *ABAQUS*, para peneliti dapat melakukan iterasi desain secara *virtual* hingga mendapatkan hasil terbaik, tanpa perlu melakukan uji fisik berulang kali yang memakan biaya dan waktu.

2.12 Solidworks



Gambar 2.7 Logo *Solidworks*

Sumber : (SolidWorks, 2002)

SolidWorks adalah perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) berbasis parametrik 3D yang digunakan untuk mendesain dan memodifikasi model produk secara *virtual*.

SolidWorks menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif dan fitur lengkap seperti *part design*, *assembly*, *drawing*, dan *simulation* (M. Fariz, 2020). Dengan kemudahan penggunaan dan keunggulan yang dimiliki oleh software ini, pembuatan gambar dalam model 2D atau 3D dapat dilakukan secara tepat dan akurat (Slamet Saefudin, dkk, 2024).

SolidWorks dirilis pada tahun 1995 oleh *Dassault Systèmes*, sebuah perusahaan perangkat lunak teknologi asal Prancis yang juga mengembangkan *CATIA* dan *SIMULIA*. Salah satu keunggulan utama dari *software* ini adalah kemudahan dalam penggunaannya, terutama bagi pengguna baru yang belum terbiasa dengan pemodelan CAD tingkat lanjut. *SolidWorks* menggunakan pendekatan parametrik, artinya setiap dimensi dan fitur dalam model dapat diatur menggunakan parameter yang bisa diedit sewaktu-waktu. Ini sangat membantu dalam proses revisi desain secara efisien tanpa harus membuat ulang seluruh model.

Selain itu, *software* ini dapat membuat sketsa 2D yang kemudian dapat dikembangkan menjadi model 3D secara dinamis dan fleksibel. Dengan fitur *history-based modeling*, pengguna dapat melacak dan mengatur setiap langkah dalam pembuatan desain. Fitur ini sangat penting untuk menjaga konsistensi desain dan memungkinkan kolaborasi tim antar divisi teknik. *Software* ini juga dibekali dengan berbagai *tools* untuk menganalisa, seperti *SimulationXpress*, *SolidWorks Simulation*, dan *Motion Analysis*, yang dapat digunakan untuk menghitung dan menganalisis hasil desain seperti tegangan, regangan, *displacement*, serta faktor keamanan. Simulasi ini sangat penting untuk mengevaluasi performa desain sebelum tahap manufaktur dilakukan, sehingga potensi kesalahan atau kegagalan produk bisa diminimalkan sedini mungkin.

Di Indonesia, sudah banyak perusahaan yang telah mengimplementasikan *SolidWorks* dalam proses perancangan desain di berbagai bidang, seperti manufaktur, otomotif, permesinan, konstruksi bangunan, bahkan hingga ke ranah desain produk industri dan *mold* (cetakan). Penggunaan *SolidWorks* tidak hanya terbatas pada perusahaan besar, tetapi juga telah merambah ke pendidikan vokasi dan perguruan tinggi, di mana *software* ini menjadi salah satu alat pembelajaran utama dalam mata kuliah Desain Teknik atau CAD/CAM.

SolidWorks juga mendukung *export* dan *import* file lintas *software*, sehingga dapat terintegrasi dengan program lain seperti *AutoCAD*, *Inventor*, *CATIA*, maupun perangkat lunak CNC dan CAM.

2.13 ANSYS Workbench



Gambar 2.8 Logo *ANSYS Workbench*

Sumber : (ANSYS, 2025)

ANSYS Workbench adalah perangkat lunak (*software*) yang dapat menganalisis elemen hingga untuk menyelesaikan berbagai permasalahan secara numerik. Permasalahan di bidang permesinan yang dapat disimulasikan menggunakan *software ANSYS* adalah *structural simulation* baik linier dan non-linier, perpindahan panas, aliran fluida, dan elektromagnetik (Adhes Gamayel, 2020)

ANSYS Workbench menyediakan kapabilitas simulasi yang jauh lebih kompleks dan akurat, mencakup berbagai jenis analisis seperti struktur statik dan dinamis, perpindahan panas, hingga aliran fluida. Dalam simulasi kerangka kursi roda, *ANSYS* digunakan untuk memperoleh data kuantitatif terkait distribusi tegangan maksimum, nilai deformasi total, serta faktor keamanan dari desain. Hasil yang didapatkan dapat digunakan untuk memperkuat komponen atau memodifikasi bentuk desain agar lebih aman dan efisien. Hal ini sangat penting dalam pengembangan alat bantu kesehatan seperti kursi roda, yang harus lulus uji kekuatan secara virtual sebelum diproduksi secara massal.

ANSYS Workbench dapat berintegrasi dengan *software* CAD sehingga dapat memudahkan pengguna *ANSYS Workbench* untuk membangun model geometri dengan berbagai *software* CAD. *Software ANSYS Workbench* juga dapat digunakan dalam Teknik sipil, Teknik elektro, Teknik fisika, dan juga Teknik kimia. Secara umum, penyelesaian *Finite Element Analysis* (FEA) atau elemen hingga dengan menggunakan *ANSYS Workbench* dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processing merupakan tahapan awal untuk memulai proses *Finite Element Analysis* (FEA). Tahapan ini sangat krusial karena akan menentukan kualitas, akurasi, dan keandalan dari hasil analisis yang diperoleh. Pada *pre-processing* terdapat beberapa fungsi di mana kita harus mengatur secara detail fungsi-fungsi yang terdapat di *software*

ANSYS Workbench, sehingga akan mendapatkan hasil perhitungan yang spesifik dan relevan terhadap benda atau model yang akan dianalisis. Fungsi tersebut terdiri dari:

- *Modelling*

Proses ini mencakup pembuatan geometri atau pemanggilan model dari *software* CAD seperti *SolidWorks*, *Inventor*, atau *CATIA*. Model yang digunakan bisa berupa part tunggal maupun *assembly* (gabungan dari beberapa komponen). Dalam *modelling*, penting untuk memperhatikan kesesuaian skala, simetri, dan kompleksitas model agar sesuai dengan kebutuhan simulasi.

- *Element Type*

Pada tahap ini, kita menentukan jenis elemen yang akan digunakan dalam simulasi. Elemen bisa berupa 1D (*line*), 2D (*shell*), maupun 3D (*solid*) tergantung bentuk geometri dan jenis analisis. Pemilihan elemen yang tepat sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan keakuratan hasil. Misalnya, untuk struktur tipis seperti pelat, digunakan elemen shell, sedangkan untuk volume masif digunakan solid element.

- *Material Properties*

Penentuan properti material meliputi nilai modulus elastisitas (E), massa jenis (ρ), tegangan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), dan lain-lain sesuai dengan jenis simulasi (*linear*, *non-linear*, *termal*, dll). Data ini bisa diperoleh dari *datasheet* material, jurnal, atau hasil uji laboratorium. Pengaturan material yang tepat sangat penting agar hasil simulasi sesuai dengan kondisi riil.

- *Meshing*

Meshing merupakan proses pembagian model menjadi elemen-elemen kecil (*finite elements*). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, kualitas mesh mempengaruhi akurasi dan konvergensi hasil. Pengguna bisa mengatur ukuran mesh secara global maupun lokal pada area-area kritis (*refinement*), serta memilih jenis elemen mesh seperti tetrahedral, hexahedral, atau swept mesh.

- *Entities*

Entities meliputi penentuan batasan-batasan (*boundary conditions*) dan beban (*force*) serta posisi tetap (*fixed position*). Langkah-langkah umum dalam melakukan pre-processing yaitu *mesh lines/area/volumes* dan mendefinisikan tipe elemen/sifat geometrik

Langkah awal adalah membuat atau memanggil model geometri, kemudian membagi (*meshing*) ke dalam elemen-elemen kecil, baik pada garis, bidang, maupun volume. Setelah itu, ditentukan tipe elemen apa yang akan digunakan (*solid, shell, beam*) serta karakteristik geometrinya. Hal ini dilakukan agar *software* dapat memproses model secara matematis menggunakan rumus-rumus dalam metode elemen hingga.

Setelah *pre-processing* selesai, model siap untuk masuk ke tahap *Simulation Processing (solving)*, dimana *ANSYS Workbench* akan menghitung tegangan, regangan, deformasi, dan parameter lainnya. Oleh karena itu, tahap *pre-processing* menjadi fondasi utama untuk memastikan hasil simulasi akurat, dan representatif terhadap kondisi nyata.

2. *Simulation Processing*

Tahap ini memerlukan beban dan titik tekanan serta *constraints* (translasi dan rotasi), kemudian lanjut ke tahap penyelesaian hasil persamaan yang telah diatur. Pada tahapan ini, *Finite Element Analysis* telah mendekati proses akhir, yaitu proses analisa dan perhitungan otomatis yang dilakukan oleh *Software ANSYS Workbench*. Seluruh data yang telah dimasukkan dan disiapkan pada tahap *pre-processing* kini akan digunakan oleh solver untuk menyelesaikan sistem persamaan matematis yang memodelkan perilaku struktur terhadap pembebanan tertentu. Sebelum mencapai proses perhitungan dan analisa, ada beberapa langkah penting dalam proses *solution* (penyelesaian numerik) yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah:

- *Constraint*

Constraint merupakan batasan gerak pada bagian tertentu dari model, baik dalam bentuk translasi (gerakan linear) maupun rotasi. Dalam dunia nyata, constraint ini menggambarkan penopang atau sambungan yang membatasi gerakan objek, seperti bagian kursi roda yang dipasang tetap pada lantai, baut, atau permukaan yang tidak boleh bergerak. Contoh constraint meliputi *fixed support*, *frictionless support*, *hinge*, dan sebagainya. Pemberian constraint yang tepat sangat penting untuk mendapatkan solusi yang stabil dan realistis.

- *Initial Velocity*

Initial velocity digunakan jika simulasi melibatkan gerakan awal atau kondisi dinamis seperti tabrakan, jatuh bebas, atau sistem dengan percepatan awal. Di tahap ini, pengguna dapat menetapkan nilai kecepatan awal (dalam arah tertentu) agar solver dapat

memperhitungkan gaya inersia dan dampaknya terhadap struktur. Ini umum digunakan pada simulasi time-dependent atau analisis transien.

- *Loading Option*

Tahapan ini melibatkan pemberian beban, gaya, tekanan, torsi, percepatan gravitasi, dan jenis pembebanan lainnya. Loading bisa berupa beban statis dan dinamis, Pengguna juga dapat memilih apakah beban akan diberikan secara bertahap (*ramping*) atau langsung (*instant*). Pemilihan jenis *loading* akan memengaruhi respon material dan distribusi tegangan dalam struktur.

- *Time Control*

Time control sangat penting terutama untuk analisis non-linear atau *transien*, di mana hasil simulasi ditinjau berdasarkan waktu. Pengguna dapat mengatur time step, durasi total simulasi, serta konvergensi pada setiap langkah waktu. Semakin kecil *time step*, hasil bisa lebih detail namun waktu komputasi meningkat. Dalam kasus tertentu seperti tumbukan atau getaran, pengaturan waktu ini sangat menentukan keakuratan hasil simulasi.

- *Solven (Solver)*

Solven adalah mesin utama komputasi numerik yang akan menyelesaikan sistem persamaan dari seluruh elemen *finite* yang telah dibuat. *ANSYS* menyediakan beberapa jenis solver, seperti *direct solver* untuk masalah linear, dan *iterative solver* untuk kasus non-linear atau skala besar. *Solver* akan menghitung distribusi tegangan, regangan, deformasi, dan parameter lainnya berdasarkan input yang telah diberikan. Waktu penyelesaian sangat tergantung pada jumlah elemen, kompleksitas geometri, serta kekuatan CPU dan RAM perangkat yang digunakan.

Tahap *solution* merupakan inti dari FEA karena di sinilah semua model matematika yang telah dibangun diterjemahkan menjadi data numerik nyata. Keberhasilan pada tahap ini akan sangat bergantung pada ketelitian input saat pre-processing dan ketepatan setting dalam constraint, beban, serta kontrol waktu

3. *Post-processing*

Post-processing merupakan tahap akhir dari simulasi di mana hasil dari simulasi yang sudah dilaksanakan akan dianalisis lebih lanjut. Pada tahap ini, hasil perhitungan dari simulasi yang sudah dijalankan akan ditampilkan seperti deformasi, tegangan (*stress*), regangan (*strain*), faktor keselamatan (*Factor of Safety*), grafik, dan tabel, serta laporan

hasil keseluruhan simulasi. Hasil ini akan ditampilkan secara visual dalam bentuk kontur warna yang menunjukkan distribusi tegangan atau deformasi pada model. Warna merah umumnya menunjukkan nilai maksimum (area kritis), sedangkan warna biru menunjukkan nilai minimum. Selain visualisasi kontur, pengguna juga dapat melihat nilai numerik pada titik tertentu atau di seluruh permukaan model.

Tahap *post-processing* juga memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis lebih dalam, seperti membandingkan nilai hasil simulasi dengan batas material (yield strength), menentukan apakah struktur aman atau perlu diperkuat, dan melakukan evaluasi desain berdasarkan faktor keamanan (*Factor of Safety*).

2.14 Proses *Meshing*

Meshing adalah proses diskretisasi objek menjadi domain komputasi yang diskrit sehingga dapat diselesaikan persamaan-persamaan di dalamnya dan menghasilkan solusi (Ahmad Khari, 2001). Dalam konteks simulasi numerik seperti *Finite Element Analysis* (FEA) atau *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *meshing* menjadi tahap yang sangat krusial karena menentukan kualitas dan keakuratan hasil simulasi.

Mesh yang lebih halus akan menghasilkan hasil yang lebih tepat, karena pembagian elemen menjadi lebih detail dan mampu menangkap variasi medan fisik seperti tegangan, regangan, suhu, atau aliran fluida dengan lebih akurat. Namun, *mesh* yang halus juga meningkatkan waktu CPU dan kebutuhan memori, karena jumlah elemen yang harus dihitung menjadi sangat banyak. Oleh karena itu, insinyur biasanya harus mencari kompromi antara akurasi dan efisiensi komputasi.

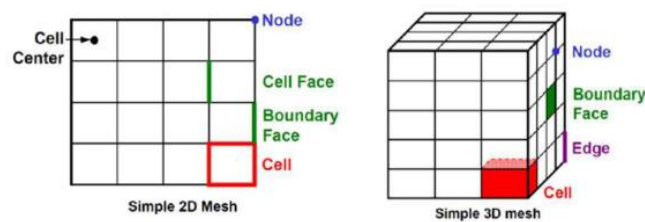
Meshing merupakan bagian penting dari *Finite Element Analysis* (FEA), karena tanpa proses *meshing* yang baik, *Finite Element Analysis* tidak dapat memberikan hasil yang valid dan dapat diandalkan. Elemen-elemen pada *mesh* berfungsi sebagai unit dasar untuk menghitung respons fisik dari struktur terhadap berbagai jenis pembebanan. Proses ini memungkinkan sistem besar dan kompleks untuk dianalisis dalam bentuk kumpulan elemen-elemen kecil yang lebih mudah dipahami secara matematis.

Apabila hasil *meshing* semakin baik, maka tingkat konvergensinya akan tinggi. Konvergensi merupakan indikator bahwa hasil simulasi sudah stabil dan tidak banyak berubah meskipun *mesh* diperhalus. Semakin kecil nilai *meshing* yang dihasilkan, maka proses pembagian elemen pada model akan semakin kecil, namun hasil yang didapat akan

semakin akurat. Sebaliknya, jika nilai *meshing* yang dihasilkan semakin besar, maka pembagian elemen pada model akan kurang akurat dan bisa menyebabkan perhitungan salah atau tidak stabil.

Pembuatan *meshing* merupakan salah satu langkah dalam *pre-processing*, yaitu tahapan awal dalam simulasi numerik yang meliputi pembuatan model, pendefinisian material, batasan (*boundary condition*), dan pembebanan. *Meshing* berguna untuk membagi geometri dari model hingga menjadi elemen-elemen kecil, yang nantinya digunakan untuk membangun *volume control* tempat persamaan fisika akan dihitung.

Kualitas *meshing* sering diukur dari ukuran elemen dan ketepatan bentuknya. Kualitas *meshing* yang baik memiliki nilai rata-rata 0,0–0,4 mm, sedangkan *meshing* menengah berada di kisaran 0,5–0,7 mm, dan *meshing* yang buruk berada antara 0,8–1,0 mm. Selain ukuran, aspek lain seperti *aspect ratio*, *skewness*, dan *orthogonality* juga menjadi parameter penilaian *mesh*, terutama dalam simulasi fluida atau termal. Oleh karena itu, memahami dan mengoptimalkan proses *meshing* merupakan keterampilan penting dalam simulasi numerik yang sukses.

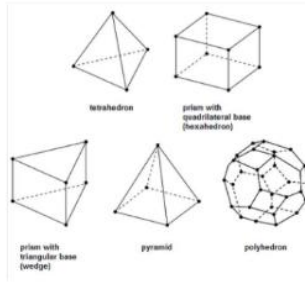


Gambar 2.9 Proses *Meshing*

Sumber : (Sefrian Imam Baskoro., 2022)

Dalam pengaturan pembuatan *mesh*, terdapat pilihan *fine* (halus) dan *coarse* (kasar). *Fine meshing* mengandung lebih banyak *cell* sehingga akan membentuk model yang halus dan juga akan menghasilkan hasil perhitungan yang lebih akurat. Hal ini dikarenakan persamaan dihitung pada jarak *cell* yang lebih rapat. Tentunya ini akan berguna untuk menghasilkan *mesh* yang baik dan juga proporsional. Namun tentunya harus disesuaikan dengan parameter yang bekerja pada *cell*/noda tersebut.

Mesh memiliki beberapa bentuk yang dapat digunakan sesuai kebutuhan penyelesaian masalah, bentuk-bentuk tersebut tertera pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bentuk *Mesh*

Sumber : (Sefrian Imam Baskoro., 2022)

Dalam metode *meshing* yang akan dilakukan untuk menganalisa struktur kerangka kursi roda manual akan menggunakan elemen *Hexahedron* yang akan memberikan akurasi yang lebih baik.