

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk menjadi salah satu acuan memperkaya teori dan bahan perbandingan sehingga dapat menghindari kesamaan dalam menulis. Literatur yang digunakan berupa Jurnal dan Artikel dari peneliti terdahulu sehingga dapat dikembangkan oleh penulis. Berikut beberapa jurnal maupun artikel yang berkaitan dan menunjang dengan penyusunan tugas akhir ini.

No	1
<b>Judul Literatur</b>	OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEMBANGUNAN GEREJA BETHANY YESTOYA KOTA MALANG (Jurnal Eprints ITN MALANG) (Anggreini, 2023)
<b>Metode</b>	Metode yang digunakan ialah studi kasus. Penelitian ini dilakukan dengan cara observasi langsung ke lapangan dan pengolahan data proyek pembangunan.
<b>Variabel</b>	<b>Variabel Bebas:</b> Jenis dan kapasitas Tower Crane, Waktu siklus <b>Variabel Terikat:</b> Produktivitas Tower Crane, Biaya Operasional Tower Crane
<b>Hasil</b>	Berdasarkan hasil analisa menunjukkan produktivitas Tower Crane eksisting Zoomlion QTZ 125 memiliki nilai produktivitas Tower Crane eksisting di lapangan sebesar 2.900,993 kg/jam, dan perhitungan biaya operasional Tower Crane eksisting Zoomlion QTZ 125 sebesar 612.952,06 /jam.

<b>No</b>	<b>2</b>
<b>Judul Literatur</b>	OPTIMASI POSISI TOWER CRANE BERBASIS GENETIKA ALGORITMA PADA PROYEK APARTEMEN BELLA TOWER 3 SURABAYA (Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember) (Santosa, 2024)
<b>Metode</b>	Metode ini menggunakan metode komparasi dengan acuan Benchmark (Data Eksisting) dan Hasil Genetika Algoritma yang digunakan untuk mengoptimalkan posisi tower crane dengan memodelkan pergerakan waktu dan biaya operasional dengan bantuan aplikasi MATLAB.
<b>Variabel</b>	<b>Variabel Bebas:</b> Posisi Tower Crane, Radius Kerja Tower, Jarak antara titik <i>supply</i> dan <i>demand</i> , Kecepatan <i>hoisting</i> , <i>slewing</i> , dan <i>trolleying</i> . <b>Variabel Terikat:</b> Waktu kerja total Tower Crane, Biaya Operasional Total
<b>Hasil</b>	Hasil analisa menunjukkan bahwa optimasi waktu dan biaya yang dapat mengurangi waktu operasional total sebesar 6,24% dan penghematan biaya total sebesar 15,95% (dari waktu dan biaya awal sebelum optimasi) menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan produktivitas dan profitabilitas proyek.
<b>No</b>	<b>3</b>
<b>Judul Literatur</b>	OPTIMASI PENEMPATAN TOWER CRANE TERHADAP WAKTU SIKLUS PADA PROYEK X (Jurnal Teknik Sipil POLITEKNIK NEGERI JAKARTA) (Muliawan & Nursin, 2022)
<b>Metode</b>	Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan

	dengan cara observasi langsung ke lapangan dan pengolahan data proyek pembangunan.
<b>Variabel</b>	<p><b>Variabel Bebas:</b> Posisi Tower Crane, Radius Kerja Tower, dan Feasible Area.</p> <p><b>Variabel Terikat:</b> Produktivitas, Waktu Siklus Tower Crane</p>
<b>Hasil</b>	Penelitian ini menekankan pentingnya mempertimbangkan berbagai faktor dalam penempatan Tower Crane untuk mengoptimalkan waktu siklus dan meningkatkan efisiensi dalam proyek konstruksi. Waktu siklus yang paling optimal <b>TC1:</b> sebesar 2.287,747 menit dan <b>TC2</b> sebesar 1.940,891 menit. Produktivitas pada rencana lebih efisien dibanding kondisi eksisting.
<b>No</b>	<b>4</b>
<b>Judul Literatur</b>	MANAJEMEN TOWER CRANE PROYEK PEMBANGUNAN HOTEL SANTIKA WONOSARI (Jurnal MANAJEMEN REKAYASA KONSTRUKSI POLINEMA) (Sissatrio et al., 2022)
<b>Metode</b>	Metode penelitian yang digunakan menggunakan pengolahan data seperti data primer dan data sekunder, kemudian melakukan manajemen data waktu siklus dan produktivitas.
<b>Variabel</b>	<p><b>Variabel Bebas:</b> Tata letak Tower Crane dan Site Layout</p> <p><b>Variabel Terikat:</b> Waktu kerja proyek, Biaya operasional Tower Crane</p>
<b>Hasil</b>	Hasil analisa menunjukkan tata letak optimal ( <b>X: 62,550, Y: 54,825</b> ) serta memilih Site Layout alternatif terbaik ( <b>Travelling Distance: 30,490, Safety Index: 981</b> ). Dari 2

	Tower Crane tersebut Tower Crane Dahan QTZ 125 lebih hemat biaya meskipun memerlukan waktu lebih lama dibandingkan Tower Crane Sany SYT 80.
<b>No</b>	<b>5</b>
<b>Judul Literatur</b>	PENDEKATAN ALGORITMA GENETIKA PADA OPTIMALISASI PEKERJAAN BANGUNAN AIR (Jurnal Talenta Sipil) (Sapta. et al., 2024)
<b>Metode</b>	Metode menggunakan Genetika Algoritma digunakan untuk menganalisa jarak tempuh dan kapasitas alat berat serta volume pekerjaan dengan bantuan aplikasi MATLAB.
<b>Variabel</b>	<b>Variabel Bebas:</b> Kombinasi Alat Berat pekerjaan Galian Spillway <b>Variabel Terikat:</b> Waktu dan Biaya Penggunaan Alat Berat Galian Spillway
<b>Hasil</b>	Hasil analisa menunjukkan bahwa Biaya dan waktu yang optimal untuk pekerjaan Galian Spillway yaitu sebesar Rp. 51.070.618,00 dengan waktu pelaksanaan pekerjaan 104 hari. Hal ini menunjukkan adanya efisiensi percepatan dari durasi pekerjaan sebelumnya yaitu 360 hari dengan biaya Rp. 10.203.700.200,00 sehingga mempunyai selisih waktu 256 hari dan selisih biaya Rp. 40.866.917.860,00 sehingga proyek mengalami percepatan waktu tetapi ada penambahan biaya.
<b>No</b>	<b>6</b>
<b>Judul Literatur</b>	Optimalisasi Penempatan Tower Crane Pada Proyek Pembangunan Gedung Pascasarjana, Universitas Riau (Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil) (Yurianingrum, 2024)

<b>Metode</b>	Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengamatan langsung (observasi) di lapangan dan wawancara. Setelah itu menganalisa Skenario alternatif penggunaan Tower crane dan produktivitas dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel 2019 dan Autocad.
<b>Variabel</b>	<b>Variabel Bebas:</b> Alternatif Tower Crane <b>Variabel Terikat:</b> Produktivitas dan Biaya Operasional TC
<b>Hasil</b>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan Tower Crane alternatif 7 (dengan koordinat 764722,537; 53537,493) memberikan produktivitas maksimum dan biaya operasional minimum. Pada posisi ini, total waktu pelaksanaan berkurang menjadi 590,637 jam dengan biaya operasional sebesar Rp1.389.917.824,27, dibandingkan dengan tower crane eksisting yang memiliki durasi 598,195 jam dan biaya operasional Rp1.402.373.077,80
<b>No</b>	7
<b>Judul Literatur</b>	Analisis Perbandingan Efisiensi Produktivitas Tower Crane Proyek Pembangunan Apartemen Di Surabaya Barat (Jurnal Rekayasa Infrastruktur HEXAGON) (Utari & Afrida, 2023)
<b>Metode</b>	Metode yang digunakan dengan pengamatan secara langsung (observasi) dengan melakukan perbandingan spesifikasi, Cycle Time, Produktivitas dan Biaya Operasional. Data yang dikumpulkan berupa data yang masih mentah atau belum diproses. Kemudian data asli (primer) dilakukan perhitungan secara teoritis

	menggunakan data spesifikasi tower crane tipe lain.
<b>Variabel</b>	<p><b>Variabel Bebas:</b> Tipe Tower Crane (Potain MC 205 B, Potain MC 175 B, dan Zoomlion TC 6520-10 E)</p> <p><b>Variabel Terikat:</b> <i>Cycle Time</i>, Produktivitas, dan Biaya Operasional.</p>
<b>Hasil</b>	Hasil dari analisa Tipe Zoomlion TC 6520-10 E lebih efisien dipakai di proyek Apartment Westown View, karena Zoomlion TC 6520-10 E memiliki kinerja alat yang baik sebesar 128,88 m <sup>3</sup> /jam serta dapat menyelesaikan pekerjaan lapangan dengan lebih cepat, hal ini juga dapat berpengaruh pada besarnya biaya operasional alat yang mana Zoomlion TC 6520-10 E memerlukan biaya yang lebih rendah dari tipe Potain MC 205 B dan Potain MC 175 B yaitu sebesar Rp. 5.398.389.240.
<b>No</b>	<b>8</b>
<b>Judul Literatur</b>	<i>Mixed integer programming (MIP) for dynamic tower crane and storage area optimization on construction sites (Automation in Construction)</i> (Riga et al., 2020)
<b>Metode</b>	Membuat model untuk mengevaluasi solusi posisi secara objektif melalui Linked Mixed Integer Programs. Posisi dihasilkan pada grid Cartesian, dengan mempertimbangkan jumlah waktu kerja yang dihabiskan
<b>Variabel</b>	<p><b>Variabel Bebas:</b> Posisi Crane, Tipe Tower Crane, Area Penyimpanan.</p> <p><b>Variabel Terikat:</b> Jumlah Crane, Kendala Jarak aman, Kapasitas Angkut, Biaya Operasional.</p>

<b>Hasil</b>	Hasil analisa menunjukkan waktu proses untuk menyelesaikan COP adalah sekitar 5 jam pembuatan, semua set yang diperlukan memakan waktu 80 menit, pembacaan fungsi objektif dan semua kondisi 90 menit lagi, dan penyelesaian model hingga celah optimalitas yang diinginkan memakan waktu 2 jam lagi. Untuk SOP, pembuatan semua set memakan waktu 2 menit, pembacaan fungsi objektif dan kendala 20 menit, dan penyelesaian masalah dengan celah optimalitas 3,6% memakan waktu satu jam.
<b>No</b>	<b>9</b>
<b>Judul Literatur</b>	Tower Crane Location Optimization for Heavy Unit Lifting in High-Rise Modular Construction (Buildings) (Hyun et al., 2021)
<b>Metode</b>	Metode ini menggunakan model optimasi berbasis algoritma genetik (Genetic Algorithm, GA). Model ini digunakan untuk menentukan lokasi crane dan trailer yang optimal serta kapasitas crane yang sesuai dengan kondisi pengangkatan.
<b>Variabel</b>	<b>Variabel Bebas:</b> Lokasi Pemasangan Tower Crane, Lokasi Trailer  <b>Variabel Terikat:</b> Kapasitas Tower Crane, Waktu, Biaya
<b>Hasil</b>	Hasil studi kasus menunjukkan bahwa melalui model yang diusulkan, manajer proyek dapat mencerminkan pilihan lokasi yang optimal dan pilihan tower crane yang optimal dengan biaya minimal. Ketika membandingkan spesifikasi dan biaya sewa 10 tower crane teratas yang dipilih berdasarkan lokasi, dipastikan bahwa

	perbedaannya biaya sewa antara peringkat 1 dan peringkat 10 adalah \$16.361/bulan
<b>No</b>	<b>10</b>
<b>Judul Literatur</b>	Spatio-temporal planning for tower cranes in construction projects with simulated annealing (Automation in Construction) (Wu et al., 2020)
<b>Metode</b>	Metode yang digunakan menggunakan <i>Simulated Annealing</i> , yang merupakan algoritma optimasi untuk menyelesaikan masalah pengoptimalan kombinatorial yang kompleks.
<b>Variabel</b>	<b>Variabel Bebas:</b> Lokasi Tower Crane, Tipe Tower Crane <b>Variabel Terikat:</b> Biaya Operasional
<b>Hasil</b>	Hasil dari penerapan model ini menunjukkan bahwa Posisi tower crane optimal menghasilkan waktu operasional total sebesar 40.51 satu satuan waktu yang dipengaruhi oleh waktu pergerakan hook solusi optimal yang dihitung dapat memberikan penghematan biaya antara 23,27% hingga 41,73%, dengan rata-rata penghematan sebesar 31,10% dibandingkan dengan solusi awal. Ini menunjukkan efektivitas model dalam mengurangi total biaya proyek.

Dari tabel 2.1 tentang penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa optimasi dalam penggunaan Tower Crane dapat dicapai melalui berbagai metode, untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam proyek konstruksi. Perbedaan utama penelitian ini dan studi literatur terdahulu terletak pada metode dan pendekatan yang digunakan. Beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Anggreini (2023), Yurianingrum (2024), Sissatrio (2022), dan (Utari & Afrida,

2023) hanya memanfaatkan observasi lapangan serta perangkat bantu seperti Microsoft Excel dan AutoCAD, tanpa menerapkan pendekatan algoritma evolusioner. Penelitian Santosa (2024) menggunakan metode Genetika Algoritma dan perangkat lunak MATLAB. Studi lain juga menunjukkan variasi metode optimasi, seperti Feasible Area (Muliawan & Nursin, 2022), Simulated Annealing (Wu et al., 2020), dan Mixed Integer Programming (Riga et al., 2020). Sementara itu, beberapa penelitian yang menggunakan Genetika Algoritma seperti oleh Sapta et al. (2024) dan Hyun et al. (2021) lebih difokuskan pada konteks pekerjaan galian atau konstruksi modular, bukan pada pengangkutan material menggunakan Tower Crane pada proyek gedung bertingkat. Dalam Tugas akhir ini ingin berkontribusi mengoptimalkan waktu dan biaya operasional penggunaan Tower Crane dengan menggunakan Metode Genetika Algoritma yang dibantu dengan aplikasi *Matrix Laboratory* (MATLAB) untuk menyelesaikan proyek pembangunan Gedung Kuliah Bersama (GKB) V Universitas Muhammadiyah Malang.

## **2.2 Optimasi**

Optimasi adalah sebuah proses untuk menemukan solusi terbaik dari sebuah permasalahan dengan tujuan memaksimalkan atau meminimalkan suatu nilai tertentu sesuai dengan kriteria atau batasan yang telah ditetapkan dari Sarker & Charles S. Newton (2008). Melalui pemodelan matematika, masalah-masalah nyata dapat diubah menjadi bentuk optimasi dan kemudian diselesaikan menggunakan berbagai teknik.

### **2.2.1 Komponen Optimasi**

Dalam optimasi, terdapat tiga komponen utama yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk mencari solusi terbaik: variabel keputusan (faktor-faktor yang dapat diatur), batasan-batasan (kondisi yang harus dipenuhi), dan fungsi objektif (tujuan yang ingin dioptimalkan). Tujuan dan fungsi dalam komponen optimasi sebagai berikut:

1. **Variabel Keputusan (*Decision Variable*)** yaitu faktor-faktor yang dapat dimodifikasi. Nilai dari variabel-variabel ini akan menentukan hasil akhir dari masalah yang dipecahkan.
2. **Variabel Batasan (*Constraint*)** merupakan syarat satu kondisi yang harus dipenuhi oleh variabel keputusan. Batasan ini berperan untuk mempersempit area solusi yang memungkinkan, sehingga solusi yang dihasilkan lebih realistis dan mencerminkan keadaan sebenarnya. *Constraint* dapat diekspresikan dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan matematis. Adapun 2 jenis kategori dalam Batasan masalah optimasi:
  - a. Batasan Longgar (*Soft Constraints*) adalah batasan yang memberikan ruang gerak dalam pencarian solusi. Meskipun pelanggaran terhadap batasan ini mungkin terjadi, pada umumnya akan berdampak pada penurunan kualitas solusi yang dihasilkan.
  - b. Batasan Ketat (*Hard Constraints*) adalah batasan yang mutlak dan wajib dipenuhi. Jika batasan ini dilanggar, solusi yang dihasilkan tidak akan valid.
3. **Fungsi Objektif (*Objective Function*)** adalah ekspresi matematis yang dipakai untuk mengukur keberhasilan atau kegagalan sebuah solusi dalam optimasi. Fungsi ini bisa berbentuk persamaan yang mengandung satu atau lebih variabel keputusan. Tujuan optimasi ini adalah untuk memaksimalkan atau meminimalkan nilai fungsi objektif, tergantung pada jenis masalahnya. Koefisien dalam fungsi objektif menunjukkan seberapa besar pengaruh setiap variabel keputusan terhadap nilai akhir fungsi objektif.

### 2.2.2 Komponen Pemodelan

Proses pembuatan model selalu melibatkan tiga elemen utama antara lain:

1. Masukan (*Input*),

Merupakan data atau informasi yang menjadi landasan utama. Data ini bisa berupa variabel yang menggambarkan kondisi awal atau faktor-faktor yang mempengaruhi masalah yang ingin dipecahkan.

2. Proses,

Merupakan rangkaian langkah atau algoritma yang mengubah masukan menjadi keluaran. Cara kerja proses ini sangat dipengaruhi oleh jenis model yang dipilih, seperti optimasi, simulasi, atau prediksi. Misalnya, dalam model optimasi, prosesnya melibatkan pencarian nilai terbaik dari variabel keputusan dengan mempertimbangkan tujuan dan batasan yang ada.

### 3. Keluaran hasil (*Output*).

Proses pemodelan menghasilkan keluaran sebagai puncaknya. Keluaran ini dapat berupa data numerik, representasi grafik, atau opsi keputusan yang dapat dimanfaatkan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang muncul.

## 2.3 Tower Crane

Berdasarkan Rostiyanti (2008), Tower Crane merupakan alat yang sangat penting untuk digunakan mengangkat material secara vertikal dan horizontal ke suatu tempat yang tinggi pada ruang gerak yang terbatas. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, Tower Crane terdiri dari bermacam-macam jenis. Pertimbangan ini harus direncanakan sebelum proyek dimulai karena Tower Crane diletakkan di tempat yang tetap selama proyek berlangsung, Tower Crane harus dapat memenuhi kebutuhan pemindahan material sesuai dengan daya jangkauan yang ditetapkan serta pada saat proyek telah selesai pembongkaran crane harus dapat dilakukan dengan mudah.

Tower Crane memiliki sistem pergerakan yang canggih, meliputi kemampuan mengangkat, menggeser, memutar, dan memindahkan beban. Selain itu, adanya limit *switch* memastikan operasi crane berjalan aman dan terkendali. Pada Tower Crane terdapat limit switch yang berperan penting dalam menjaga keamanan operasi, antara lain:

- Dengan adanya *switch* ini, keamanan operasi crane dapat terjamin karena risiko kerusakan akibat kelebihan beban dapat diminimalisir.

- Sensor beban ini memastikan bahwa operator tidak melebihi batas aman saat mengoperasikan crane.
- Alat ini terpasang pada bagian yang memutar crane dan akan memberikan peringatan jika beban terlalu berat.

### 2.3.1 Komponen Tower Crane

Alat Berat Tower Crane memiliki komponen untuk bekerja sama memungkinkan beroperasi dengan efisien dan aman dalam mengangkat dan memindahkan material berat di lokasi konstruksi. Komponen utamanya meliputi *cab*, *concrete footing*, *counter jib*, *pendant*, *counterweight*, *jib*, *load block*, *Mast Section*, *tower top*, *trolley*, dan *turntable*. Berikut adalah bagian-bagian Tower Crane beserta fungsinya dari masing-masing komponen yang mengacu pada (The American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2020) dan (Lawrence K. Shapiro & Jay P. Shapiro, 2011) sebagai berikut :

#### 1. *Counter Weight*

*Counter Weight* adalah beban berat yang dipasang di bagian belakang Tower Crane, berlawanan dengan jib. Fungsinya untuk menyeimbangkan beban yang diangkat oleh crane dan menjaga stabilitasnya.

#### 2. *Jib* atau *Working Arm*

Lengan utama Tower Crane, yang dikenal sebagai *jib* atau *working arm* adalah lengan horizontal panjang yang menjulur dari Tower Crane. Fungsi utamanya adalah untuk mengangkat dan memindahkan material secara horizontal ke berbagai lokasi dalam jangkauan crane.

#### 3. *Counter Jib*

*Counter Jib* adalah lengan penyeimbang yang berada di sisi berlawanan dengan jib utama. Counter jib dilengkapi dengan beban penyeimbang (*Counterweight*) untuk menjaga keseimbangan Tower Crane saat mengangkat beban.

#### 4. *Pendant*

*Pendant* merupakan serangkaian kabel baja (*Wire ropes*) yang berfungsi sebagai penopang struktural utama untuk menahan dan menjaga bentuk *jib* (lengan utama) dan *counter-jib* (lengan penyeimbang).

#### 5. *Tower Top*

*Tower Top* adalahn komponen atas Tower Crane yang berfungsi sebagai titik tumpu untuk jib dan komponen lainnya.

#### 6. *Mast Section Tower*

*Mast Section Tower* adalah komponen krusial pada Tower Crane yang berfungsi mengatur ketinggiannya. Pemasangannya dilakukan secara vertikal dengan bantuan alat hidrolik. Ketinggian crane disesuaikan dengan bangunan yang sedang dibangun, menjadikannya elemen penting dalam keberhasilan proyek konstruksi.

#### 7. *Operator Cab atau Joint Pin*

*Operator Cab atau Joint Pin* adalah tempat ruang operator pergerakan jib Tower Crane bekerja dan mengendalikan pergerakan alat berat pergerakan Jib Tower Crane. Terdapat dua tombol, yaitu tombol beban maksimal dan tombol momen beban, yang digunakan untuk memastikan beban yang diangkat tidak melebihi batas aman.

#### 8. *TurnTable*

*TurnTable* memungkinkan seluruh bagian atas tower crane (jib, counter-jib, dan kabin operator) untuk berputar 360 derajat secara horizontal.

#### 9. *Load Block*

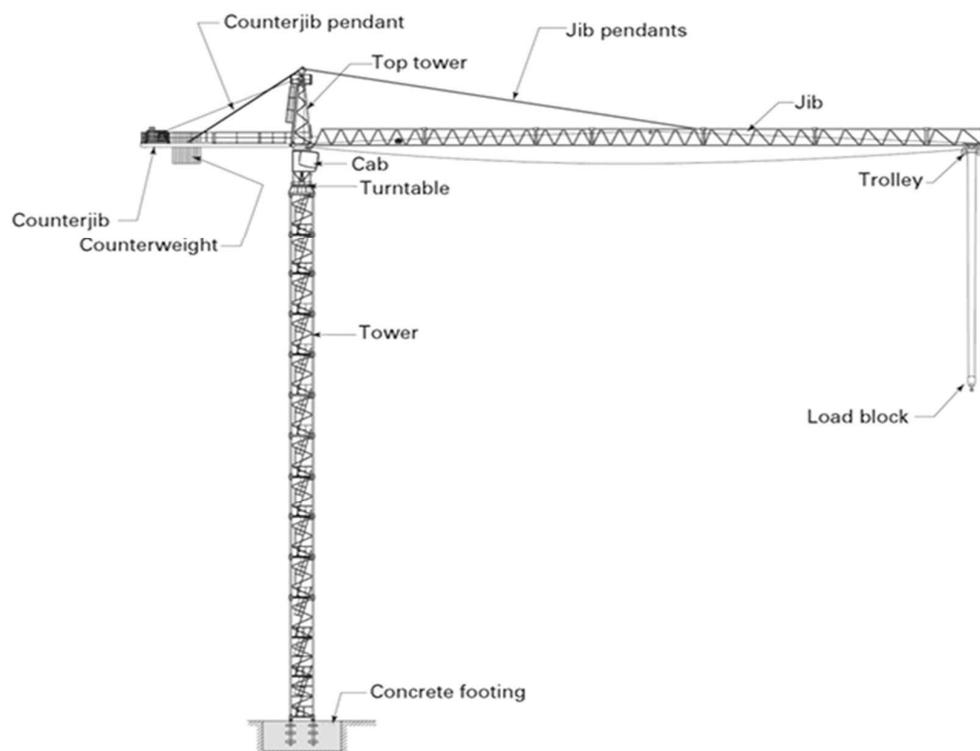
*Load Block* merupakan komponen utama yang terletak di ujung tali pengangkat (*hoisting rope*) dan berfungsi sebagai tempat untuk mengaitkan beban yang akan diangkat yang terdiri dari: kait (*hook*), konektor putar (*swivel*), katrol (*sheaves*), pasak (*pins*), dan rangka (*frame*) yang digantung oleh tali pengangkat (*hoisting rope*).

#### 10. *Trolley*

*Trolley* pada Tower Crane digunakan untuk menggerakkan beban secara horizontal atau sejajar, baik ke kanan maupun ke kiri. Kemampuan trolley dalam bergerak sesuai dengan lengan crane memungkinkan pengangkutan material dengan presisi dan meminimalkan risiko kesalahan penempatan.

#### 11. *Concrete Footing* (Pondasi Beton)

*Concrete Footing* adalah dasar penopang utama dan memberikan stabilitas bagi seluruh struktur tower crane. Fungsinya sangat krusial karena harus menahan seluruh beban vertikal (berat Tower Crane dan beban yang diangkat), serta momen guling (kecenderungan Tower Crane untuk tumbang akibat beban dan angin).



**Gambar 2. 1** Bagian-bagian dalam Tower Crane

Sumber: (The American Society of Mechanical Engineers (ASME), (2020))

### 2.3.2 Jenis-jenis Tower Crane

Tower crane dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan desain dan cara kerjanya dari Rostiyanti (2008), antara lain:

#### 1. *Rail-Mounted Tower Crane*



**Gambar 2. 2** *Rail-Mounted Tower*

Sumber: ([www.findadistributor.com](http://www.findadistributor.com))

*Rail-Mounted Crane* adalah jenis alat berat yang bergerak di atas rel. Tower Crane ini memberikan solusi efisien untuk proyek konstruksi yang membutuhkan mobilitas horizontal yang tinggi. Desain ini memungkinkan crane untuk memindahkan beban secara akurat di sepanjang jalur yang telah ditentukan. Crane rel dapat berupa *Crane overhead* yang berada di atas atau *Crane gantry* yang bergerak di permukaan tanah.

#### 2. *Tied In Crane*



**Gambar 2. 3** *Hammerhead Tower*

Sumber: (<https://protect.cermati.com/tied-in-tower-crane/>)

*Tied In Crane* adalah jenis Tower Crane yang distabilkan dengan cara diikatkan ke struktur bangunan yang sedang dibangun untuk membantu mengurangi goyangan akibat angin. *Tied In Crane* ini sering digunakan untuk membangun gedung-gedung yang tidak lebih dari 100 meter tingginya. Fitur uniknya Tower Crane ini adalah pengait baja pada mast-nya yang terhubung dengan bangunan, Tower Crane ini memberikan solusi untuk konstruksi bangunan tinggi yang memerlukan stabilitas dan jangkauan vertikal yang besar.

### 3. *Climbing Tower Crane*



**Gambar 2. 4** *Climbing Tower Crane*

Sumber: (<https://sky-line.co.il/en/cranes/climbing-tower-cranes/>)

Climbing Tower Crane adalah jenis Tower Crane yang diletakkan didalam struktur bangunan yaitu pada core atau inti bangunan. Crane bergerak naik bersamaan dengan struktur naik. Pengangkatan crane dimungkinkan dengan adanya dongkrak hidrolis (*Hydraulic jacks*). Apabila lahan yang ada terbatas, maka alternatif penggunaan crane yakni Crane panjang atau Climbing Crane. Tower Crane ini memberikan solusi sangat efisien untuk pembangunan vertikal yang memaksimalkan penggunaan ruang di lokasi konstruksi yang padat.

### **2.3.3 Kriteria Pemilihan Tower Crane**

Menurut Rostiyanti (2008), tujuan utama dalam memilih Tower Crane adalah untuk mendapatkan alat yang paling sesuai dengan kebutuhan proyek. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan kapasitas Tower Crane harus

didasarkan pada pertimbangan yang matang terhadap berbagai faktor seperti:

1. Berat, dimensi dan daya jangkau pada beban terberat,
2. Berat alat yang harus ditahan strukturnya,
3. Ketinggian maksimum alat,
4. Perakitan alat di proyek,
5. Ruang yang tersedia untuk alat,
6. Luas area yang harus dijangkau alat,
7. Kecepatan alat untuk memindahkan material.

Sedangkan faktor luar yang harus diperhatikan juga tentang kekuatan angin terhadap alat, ayunan beban pada saat dipindahkan, kecepatan pemindahan material, dan pengereman mesin dalam pergerakannya.

#### **2.3.4 Kapasitas Tower Crane**

Menurut Kholil (2012) kapasitas crane bergantung dari beberapa faktor dari material yang diangkut oleh crane melebihi kapasitasnya maka akan terjadi jungkir. Oleh karena itu, berat material yang diangkut sebaiknya sebagai berikut:

- Untuk mesin beroda crawler adalah 75% dari kapasitas alat.
- Untuk mesin beroda ban karet adalah 85% dari kapasitas alat.
- Untuk mesin yang memiliki kaki (*outrigger*) adalah 85% dari kapasitas alat.

Untuk faktor luar yang harus diperhatikan dalam kapasitas alat :

- Kekuatan angin terhadap alat.
- Ayunan beban pada saat dipindahkan.
- Kecepatan pemindahan material.
- Pengereman mesin dalam pergerakannya.

#### **2.3.5 Faktor yang mempengaruhi posisi Tower Crane**

Berikut ini merupakan faktor yang dapat mempengaruhi posisi alat berat Tower Crane dari (Anggreini, 2023), antara lain:

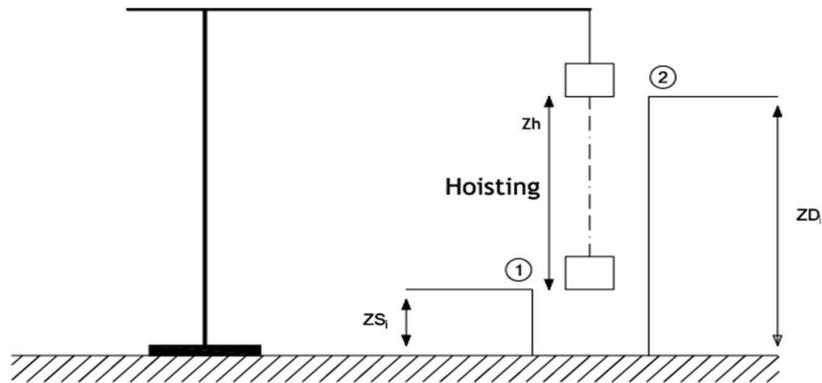
1. Keamanan: Tower crane harus ditempatkan dengan jarak yang aman untuk memastikan tidak ada potensi konflik faktor tabrakan.
2. Kapasitas Angkatan Tower Crane: Kapasitas angkat maksimum tower crane dicapai pada radius terpendek. Sebaliknya, apabila semakin panjang radiusnya, maka semakin kecil beban yang dapat diangkat.
3. Ruang Kerja: Keterbatasan ruang gerak tower crane dapat memicu berbagai masalah, termasuk tabrakan dan gangguan keselamatan kerja.
4. Lokasi *Supply* dan *Demand*: Pada proyek konstruksi, lokasi *supply* berperan sebagai sumber material, sementara lokasi *demand* adalah lokasi tujuan akhir material tersebut.
5. *Feasible Area*: adalah lokasi ideal yang paling memungkinkan dan optimal untuk menempatkan *Tower Crane*.

#### 2.3.6 Pergerakan Tower Crane

Analisis ini mempelajari proses pengiriman muatan menggunakan Tower Crane, termasuk waktu tempuh antara titik asal dan tujuan. Seperti yang digunakan dalam Santosa (2024), untuk mempermudah perhitungan dan memberikan detail waktu yang lebih akurat dari setiap pergerakan Tower Crane, adapun waktu pergerakan seperti:

##### a. *Hoisting*

Pergerakan naik turun *hook* secara vertikal disebut *Hoisting*. *Hook* bergerak antara titik suplai dan permintaan, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.5**. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus *hoisting* dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1, yaitu dengan membagi jarak tempuh vertikal *hook* dengan kecepatan *hoisting*. Persamaan 2.2 menjelaskan bahwa jarak vertikal ini sama dengan selisih ketinggian antara titik awal dan akhir gerakan.



**Gambar 2.5** *Hoisting*

Sumber: (Santosa, 2024)

$$Tv = \frac{Zh}{Vh} \quad (2.1)$$

$$Zh = |ZSi - ZDi| \quad (2.2)$$

Keterangan:

$Zh$  = jarak hoisting (m)

$Tv$  = waktu hoisting (menit)

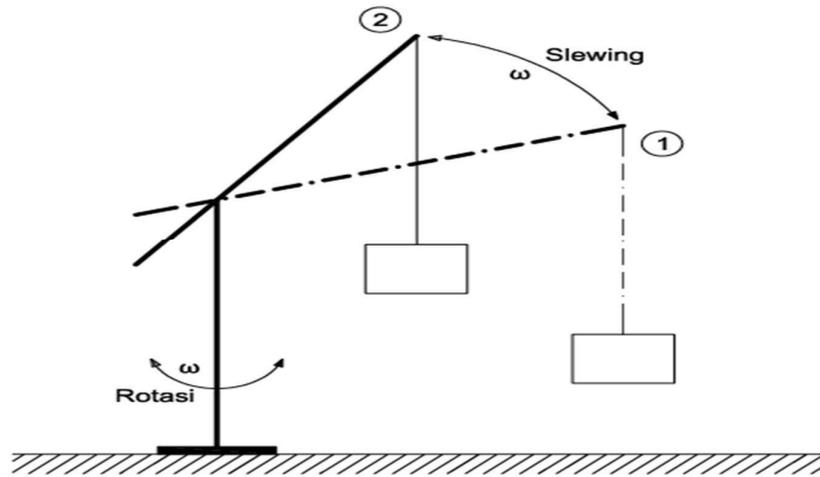
$ZSi$  = elevasi titik supply (m)

$ZDi$  = elevasi titik demand (m)

$Vh$  = kecepatan hoisting (m/menit)

b. *Slewing*

*Slewing* adalah gerakan memutar *jib* Tower Crane secara horizontal, sehingga *hook* bergerak membentuk lingkaran seperti pada **Gambar 2.6**. Waktu yang dibutuhkan untuk satu putaran *Slewing* bergantung pada seberapa jauh titik suplai dan titik permintaan muatan dari Tower Crane, serta seberapa cepat *jib* berputar. Perhitungan waktu *Slewing* terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:



**Gambar 2. 6** Slewing

Sumber: (Santosa, 2024)

1. Untuk mengetahui seberapa jauh posisi *demand* dari Tower Crane secara horizontal ( $\rho Di$ ), kita bisa menggunakan Persamaan 2.3. Jarak ini diukur berdasarkan sumbu putaran *Tower Crane*.

$$\rho(Di) = \sqrt{(XDi - XCr)^2 + (YDi - YCr)^2} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\rho(Di)$  = jarak radial antara titik supply dengan titik tower crane (m)

$XDi, YDi$  = posisi titik demand pada sumbu x dan y (m)

$Cr, YCr$  = posisi *Tower Crane* pada sumbu x dan y (m)

2. Untuk mengetahui seberapa jauh posisi *supply* dari Tower Crane secara horizontal ( $\rho Si$ ), kita bisa menggunakan Persamaan 2.4. Jarak ini diukur berdasarkan sumbu putaran *Tower Crane*.

$$\rho(Si) = \sqrt{(XSi - XCr)^2 + (YSi - YCr)^2} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\rho(Si)$  = jarak radial antara titik supply dengan titik tower crane (m)

$XDi, YDi$  = posisi titik *supply* pada sumbu x dan y (m)

$Cri, YCri$  = posisi *Tower Crane* pada sumbu x dan y (m)

3. Sebelum melakukan analisis lebih lanjut, perlu dipastikan bahwa jarak antara titik *demand* dan *supply* muatan ke *Tower Crane* tidak melebihi jangkauan lengan atau *jib*. Jangkauan *jib* ini merupakan batas operasional maksimum *Tower Crane*. Jika jaraknya terlalu jauh, *Tower Crane* tidak akan mampu mencapai titik yang diinginkan. Batasan jarak ini telah diformulasikan dalam Persamaan 2.5 untuk titik *demand* dan Persamaan 2.6 untuk titik *supply*.

$$\rho(Di) \leq \text{radius } \textit{Tower Crane} \quad (2.5)$$

$$\rho(Si) \leq \text{radius } \textit{Tower Crane} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\rho(Di)$  = jarak radial antara titik *demand* dengan titik tower crane (m)

$\rho(Si)$  = jarak radial antara titik *supply* dengan titik tower crane (m)

4. Jarak horizontal ( $li$ ) antara posisi *supply* dan *demand* (sejajar sumbu x) dihitung menggunakan Persamaan 2.7 berdasarkan selisih koordinat x keduanya.

$$li = \sqrt{(XDi - XSi)^2 + (YDi - YSi)^2} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$li$  = jarak horizontal antara posisi *supply* dan *demand* (m)

$XDi, YDi$  = posisi titik *demand* pada sumbu x dan y (m)

$Si, YSi$  = posisi titik *supply* pada sumbu x dan y (m)

$Cri, YCri$  = posisi *Tower Crane* pada sumbu x dan y (m)

5. Besar sudut putaran *jib* ( $\theta$ ) yang diperlukan untuk mencapai titik target dihitung menggunakan Persamaan 2.8. Perhitungan ini didasarkan pada data jarak yang telah dihitung sebelumnya.

$$\theta = \frac{Li^2 - \rho(Di) \cdot 2 \cdot \rho(Si)^2}{2 \cdot \rho(Di) \cdot \rho(Si)} \quad (2.8)$$

Keterangan:

- $\theta$  = besar perpindahan jib dari posisi *supply* ke posisi *demand* (rad)
- $Li$  = jarak antara posisi *supply* dan *demand* secara horizontal (m)
- $XDi, YDi$  = posisi titik *demand* pada sumbu x dan y (m)
- $XSi, YSi$  = posisi titik *supply* pada sumbu x dan y (m)
- $XCri, YCri$  = posisi *Tower Crane* pada sumbu x dan y (m)
6. Untuk menghitung waktu *slewing*, sudut putar *jib* perlu ditentukan. Sudut ini dihitung menggunakan inversi trigonometri dari perpindahan *jib*, yang nilainya harus antara -1 (180 derajat atau  $\pi$  radian) dan 1 (0 derajat). Rentang nilai sudut putar dan perpindahan *jib* didefinisikan dalam Persamaan 2.9 dan 2.10.

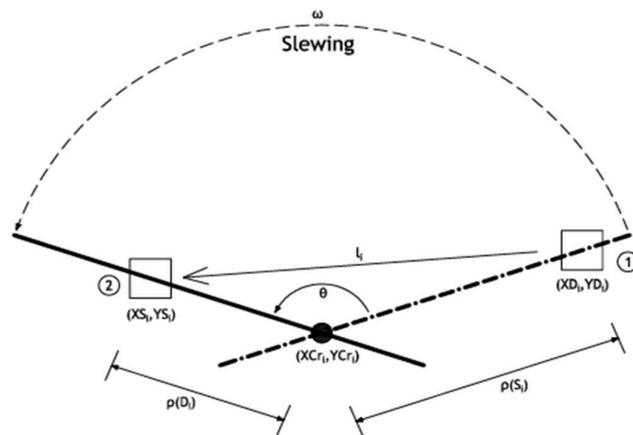
$$-1 \leq \theta \leq 1 \quad (2.9)$$

$$0 \leq \arccos(\theta) \leq \pi \quad (2.10)$$

Keterangan:

- 1 = batas bawah *domain*  $\theta$  (rad)
- $\theta$  = besar perpindahan jib dari posisi *supply* ke posisi *demand* (rad)
- 1 = batas atas *domain*  $\theta$  (rad)
- 0 = batas bawah nilai  $\theta$  (rad)
- Arc cos = inversi fungsi trigonometri *cosinus*
- $\pi$  = batas atas nilai  $\theta$  (rad)

7. Untuk mengetahui berapa lama gerakan *slewing* berlangsung, kita bisa membagi sudut putaran *jib* dengan kecepatan putarnya. Sudut putaran ini tergantung pada seberapa jauh *hook* bergerak dari tempat barang diambil (*supply*) ke tempat barang diletakkan (*demand*), seperti yang terlihat pada **Gambar 2.7**. Cara menghitung waktu *slewing* bisa dilihat di Persamaan 2.11.



**Gambar 2. 7** Pergerakan jib dan hook

Sumber: (Santosa, 2024)

$$Tw = \frac{1}{W} * \text{arc cos}(\theta) \quad (2.11)$$

Keterangan:

Tw = waktu slewing (menit)

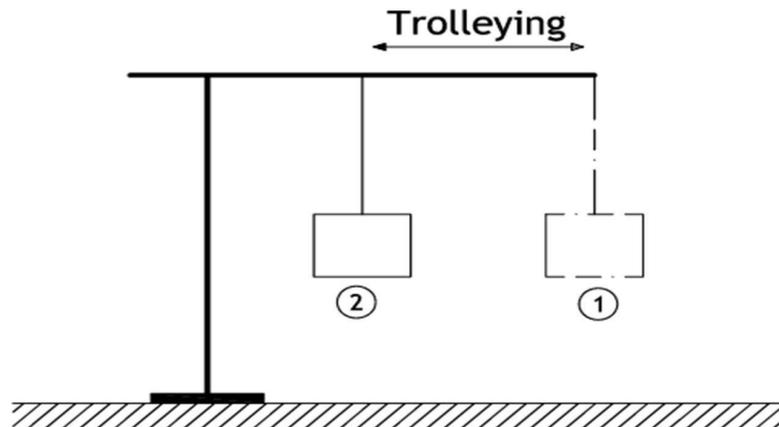
W = kecepatan slewing (rad/menit)

arc cos = inversi fungsi trigonometri cosinus

$\theta$  = besar perpindahan jib dari posisi *supply* ke posisi *demand* (rad)

c. *Trolleying*

Gerakan *trolley* adalah gerakan horizontal *hook* pada *jib* Tower Crane (**Gambar 2.8**). Waktu *trolleying* dihitung dengan membagi jarak horizontal yang ditempuh *hook* dengan kecepatan horizontalnya (Persamaan 2.12).



**Gambar 2. 8** *Trolleying*

Sumber: (Santosa, 2024)

$$T_a = \frac{|\rho(D_j) - \rho(S_j)|}{V_a} \quad (2.12)$$

Keterangan:

$T_a$  = waktu *trolleying* (menit)

$\rho(D_j)$  = jarak radial titik *demand* (m)

$\rho(S_j)$  = jarak radial titik *supply* (m)

$V_a$  = kecepatan *trolleying* (menit)

### 2.3.7 Waktu Siklus

Waktu Siklus ialah total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proses atau operasi yang berulang. Ini mencakup semua tahapan atau aktivitas yang terlibat dalam siklus tersebut, dari awal hingga akhir, hingga kembali ke titik awal. Waktu siklus untuk alat berat

Tower Crane dibagi menjadi 2 yaitu waktu siklus total dan waktu kerja total Tower Crane.

1. Waktu siklus total

Total waktu siklus Tower Crane merupakan durasi ketiga gerakan Tower Crane, yang perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan 2.13.

$$T = 2Tv + 2Tw + 2Ta \quad (2.13)$$

Keterangan:

T = waktu Tower Crane menyelesaikan satu siklus pengiriman (menit)

Tv = waktu *hoisting* (menit)

Tw = waktu *slewing* (menit)

Ta = waktu *trolleying* (menit)

2. Waktu kerja total Tower Crane

a. Jumlah siklus kerja yang diperlukan ditentukan oleh total muatan yang akan diangkat dan kapasitas angkut maksimum Tower Crane. Perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2.14, yang didasarkan pada penelitian oleh Abdelmegid et al. (2015)

$$N = \frac{Q_{ij}}{C_{ij}} \quad (2.14)$$

Keterangan:

N = jumlah siklus

Q<sub>ij</sub> = kuantitas muatan yang dibawa (ton)

C<sub>ij</sub> = kapasitas muatan *Tower Crane* (ton)

- b. Waktu kerja total dipengaruhi oleh dua faktor utama: waktu siklus dan jumlah siklus kerja. Jumlah siklus kerja ini dihitung menggunakan Persamaan 2.15, yang juga mempertimbangkan jenis muatan yang berbeda. Asumsi yang digunakan adalah proses *loading* dan *unloading* tidak signifikan.

$$TT = \sum_{m=1}^M (2Tv + 2Tw + 2Ta) + N \quad (2.15)$$

Keterangan:

TT = waktu operasional total tower crane (menit)

M = banyak jenis muatan yang dikirimkan

N = jumlah siklus pengiriman material tower crane

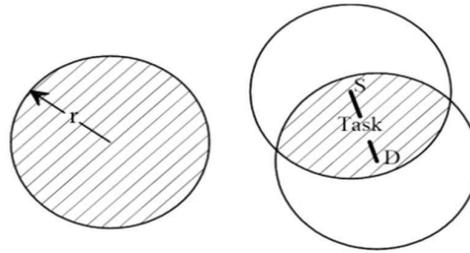
Tv = waktu *hoisting* (menit)

Tw = waktu *slewing* (menit)

Ta = waktu *trolleying* (menit)

### 2.3.9 Menentukan Kapasitas Angkatan

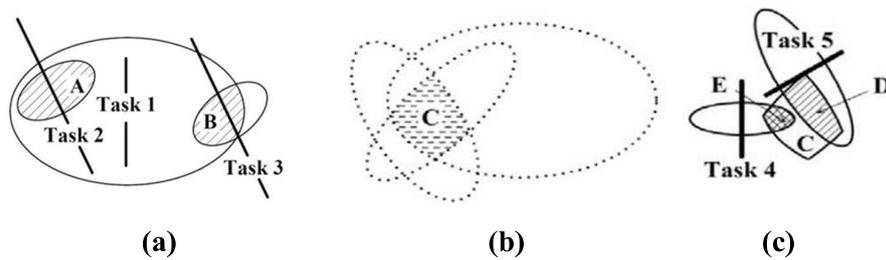
Menurut (Shahabi et al., 2008), kapasitas crane yang telah ditentukan dari kurva radius-beban dimana semakin besar beban yang diterima crane, semakin kecil radius area operasi crane. Untuk mengangkat beban dari titik *supply* (S) ke titik *demand* (D), *Tower Crane* harus diletakkan pada area irisan dari dua lingkaran seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.9**. Area irisan tersebut merupakan *Feasible Area*. Luas *Feasible Area* tergantung oleh jarak antara titik Supply (S) ke titik Demand (D). Semakin besar *Feasible Area* maka semakin mudah *Tower Crane* menangani pekerjaan tersebut.



**Gambar 2. 9** *Feasible Task*

Sumber: (Shahabi et al., 2008)

Dalam menentukan lokasi Tower Crane yang ideal, konsep *Feasible Task Area* digunakan untuk mengevaluasi jangkauan crane terhadap semua titik suplai dan permintaan material. Dengan menggunakan irisan lingkaran yang menggambarkan jangkauan Tower Crane, area kerja yang tercakup dapat divisualisasikan. Perubahan sekecil apapun pada lokasi titik suplai atau permintaan dapat mengubah irisan lingkaran tersebut dan berdampak pada penentuan posisi tower crane yang paling efektif. Saat menentukan *Feasible Task Area*, perlu diperhatikan hubungan geometris antara area-area yang berdekatan, sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2. 10** *Overlap Feasible Area*

Sumber: (Shahabi et al., 2008)

### 2.3.10 Faktor Efisiensi Alat

Faktor yang mempengaruhi antara lain :

- Faktor Peralatan,
- Operator dan Manajemen,
- Cuaca,
- Kondisi medan/lapangan,

Kondisi operasi	Pemeliharaan mesin				
	Baik sekali	Baik	Sedang	Buruk	Buruk sekali
Baik sekali	0,83	0,81	0,76	0,70	0,63
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65	0,60
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Buruk sekali	0,53	0,50	0,47	0,42	0,32

**Gambar 2. 11** Faktor Efisiensi Alat ( $F_a$ )

Sumber: (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2022)

## 2.4 Genetika Algoritma

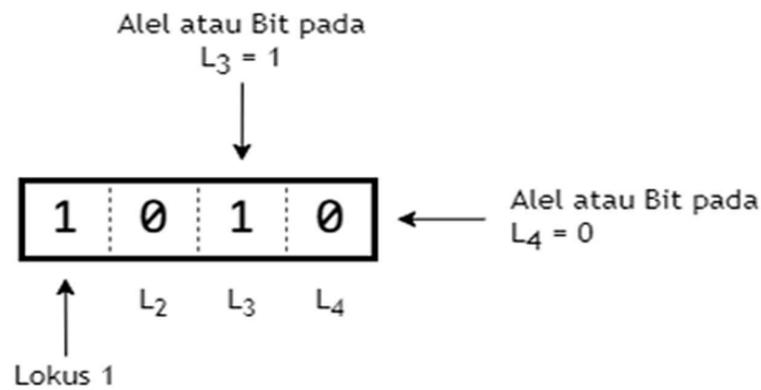
Dalam Suyanto (2005), Genetika Algoritma adalah salah satu teknik komputasi yang memiliki prinsip-prinsip evolusi biologis untuk menyelesaikan masalah optimasi yang kompleks. Semua langkah pada Genetika Algoritma hanya didasarkan pada proses random. Algoritma ini secara bertahap mengembangkan populasi solusi. Genetika Algoritma itu seperti mencari solusi terbaik dengan cara meniru evolusi sebagai kromosom. Kromosom yang dibuat secara acak dilihat dari kromosom yang paling kuat atau baik. Kromosom-kromosom terbaik ini kemudian berkembang biak melalui penyilangan (*crossover*) dan mutasi untuk menghasilkan generasi baru yang diharapkan lebih baik. Proses ini diulang terus-menerus sampai kita menemukan solusi terbaik atau target kita tercapai. *Toolbox* dalam konteks ini mencakup berbagai Teknik dalam analisis data, pembelajaran mesin, atau optimasi seperti Algoritma Evolusi, *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Simulated Annealing*, Algoritma Genetik *Diferensial*.

### 2.4.1 Pembangkitan Populasi Awal

Untuk memahami proses pembentukan populasi awal dalam algoritma genetika, kita perlu mengenal istilah-istilah yang sering digunakan dalam bidang ini, antara lain:

### 1. Alel dan Lokus

Dalam genetika, Alel (atau bit) adalah variasi nilai suatu gen yang menempati posisi tertentu pada kromosom, yang disebut lokus. Lokus adalah lokasi spesifik di kromosom, sedangkan alel adalah informasi genetik yang mengisi lokasi tersebut. Ilustrasi tentang alel dan lokus dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.

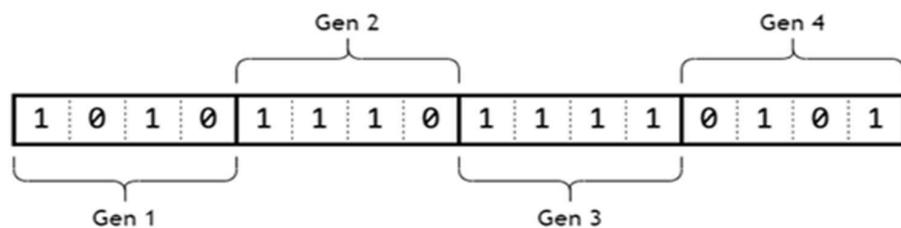


**Gambar 2. 12** Alel dan Lokus

Sumber: (Santosa, 2024)

### 2. Gen

Dalam Algoritma Genetika, Gen adalah rangkaian bit yang berperan sebagai komponen dasar pembentuk solusi. Panjang rangkaian bit ini bervariasi. Gen mewakili solusi potensial, namun tidak menjamin solusi optimal. Terlalu banyak Gen dapat memperlambat komputasi (Deepa, 2008; Suyanto, 2005). Ilustrasi gen dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



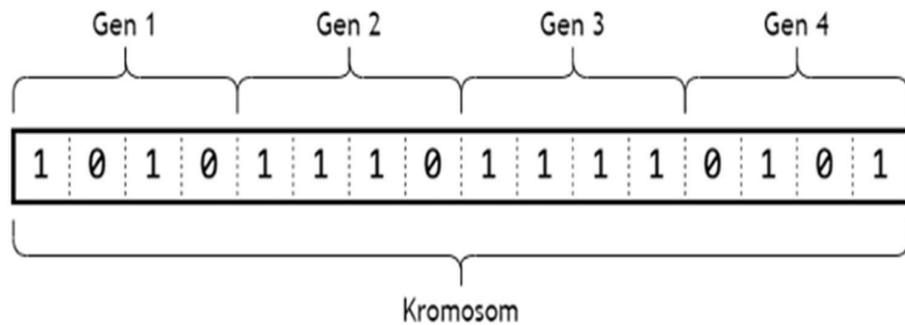
**Gambar 2. 13** Gen

(Sumber: Sivanandam dan Deepa, 2008)

### 3. Kromosom

Kromosom merupakan gabungan dari beberapa gen yang membentuk satu unit. Istilah kromosom dan "*string*" sering digunakan secara bergantian (Sivanandam dan Deepa, 2008;Wirsansky, 2020).

**Gambar 2.14** mengilustrasikan kromosom.



**Gambar 2. 14** *Kromosom*

Sumber: (Wirsansky, 2020)

### 4. Panjang Kromosom

Panjang kromosom sangat menentukan akurasi solusi. Masalah yang lebih kompleks umumnya membutuhkan kromosom yang lebih panjang. Batasan ruang pencarian akan menentukan panjang kromosom yang sesuai. Meski demikian, panjang kromosom yang bervariasi terkadang menghasilkan solusi yang lebih baik, terutama dalam implementasi algoritma genetika yang kompleks (Santosa, 2024).

### 5. Kromosom dan Populasi

Setiap solusi potensial dalam algoritma genetika direpresentasikan oleh sebuah kromosom, yang juga dikenal sebagai "*string*". Kumpulan kromosom ini disebut populasi. Populasi awal yang beragam sangat penting untuk membantu algoritma menemukan solusi terbaik. Jumlah kromosom dalam populasi umumnya antara 50 dan 500, meskipun 100 sering digunakan sebagai patokan (Sivanandam dan Deepa, 2008).

Dengan memahami komponen dan proses dalam *Toolbox* Genetika Algoritma, pengguna dapat menerapkan teknik ini untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dan menemukan solusi optimal.

#### 2.4.2 Pengkodean (*Encoding*)

Tahap awal yang penting dalam penerapan algoritma genetika adalah proses pengkodean. Pada tahap ini, solusi potensial dari suatu permasalahan diubah ke dalam format yang dapat dikenali dan diolah oleh algoritma. Format tersebut bisa berupa bilangan biner, bilangan riil, struktur pohon, array, atau bentuk representasi lainnya (Sivanandam dan Deepa, 2008) Dari berbagai jenis representasi, pengkodean biner—yang memanfaatkan kombinasi angka 0 dan 1—merupakan bentuk yang paling sering digunakan. Dengan metode ini, baik bilangan bulat maupun bilangan riil dapat direpresentasikan secara efektif. Contoh representasi kromosom dalam bentuk biner ditampilkan pada **Gambar 2.15**.

Chromosome 1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0
Chromosome 2	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0

**Gambar 2. 15** Pengkodean Biner

Sumber: (Sivanandam dan Deepa, 2008)

#### 2.4.3 Evaluasi Nilai *Fitness*

Evaluasi nilai *Fitness* dalam Genetika Algoritma (GA) adalah proses krusial yang menentukan kualitas setiap individu (kandidat solusi) dalam suatu populasi. Nilai *Fitness* ini menjadi landasan bagi proses seleksi, di mana individu dengan *Fitness* yang lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk dipilih sebagai "orang tua" dan menghasilkan keturunan pada generasi berikutnya. Fase ini mencakup beberapa langkah penting sebagai berikut:

1. Pada saat menganalisis *Fitness* individu, penilaian ini setiap anggota populasi didasarkan pada hasil perhitungan fungsi tujuannya.
2. Penanganan Batasan dalam algoritma genetika, seringkali solusi yang dihasilkan oleh operator tidak memenuhi semua persyaratan masalah.

Untuk mengatasi isu ini, teknik pemberian sanksi (penalti) sering diterapkan. Salah satu jenisnya, penalti statis, memberikan nilai hukuman yang konstan selama proses pencarian. Nilai sanksi ini berbanding lurus dengan jumlah batasan yang dilanggar.

3. Kualitas solusi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai penalti. Penelitian ini menerapkan batasan yang ketat dengan tujuan memastikan seluruh area konstruksi tercakup oleh layanan Tower Crane.

#### **2.4.4 Seleksi Induk**

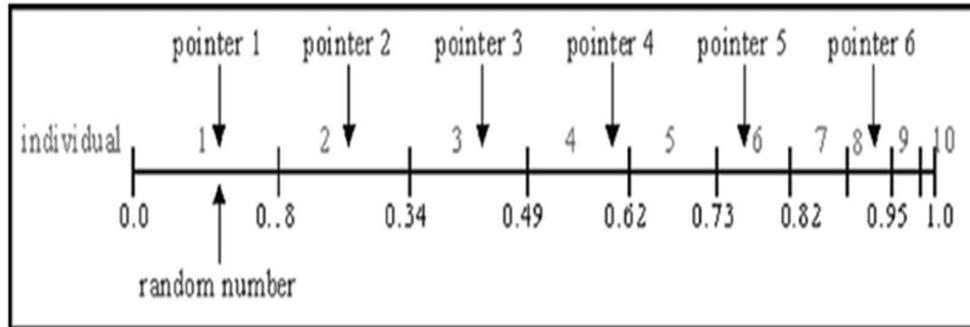
Seleksi Induk adalah proses memilih dua induk dari populasi untuk disilangkan. Setelah menentukan pengkodean, langkah selanjutnya adalah memutuskan cara melakukan seleksi, yaitu dengan cara memilih individu dalam populasi yang akan menghasilkan keturunan untuk generasi berikutnya dan berapa banyak keturunan yang akan dihasilkan masing-masing (Sivanandam dan Deepa, 2008). Tujuan seleksi adalah untuk menekankan individu yang lebih bugar dalam populasi dengan harapan keturunannya memiliki kebugaran yang lebih tinggi. Kromosom dipilih dari populasi awal untuk menjadi induk bagi reproduksi. Proses seleksi ini diulang hingga diperoleh jumlah individu yang diinginkan.

#### **2.4.5 Crossover (Penyilangan)**

Crossover adalah proses mengambil dua solusi induk dan menghasilkan anak dari keduanya. Setelah proses seleksi (reproduksi), populasi diperkaya dengan individu yang lebih baik. Reproduksi menghasilkan klon dari string yang baik tetapi tidak menghasilkan yang baru. Operator *crossover* diterapkan pada kumpulan perkawinan dengan harapan dapat menghasilkan keturunan yang lebih baik (Sivanandam dan Deepa, 2008). Crossover berekombinasi yang berlangsung dalam tiga langkah:

1. Operator reproduksi memilih secara acak sepasang dua string individual untuk perkawinan.
2. Sebuah situs persilangan dipilih secara acak sepanjang string.
3. Nilai posisi ditukar antara dua string mengikuti situs persilangan.

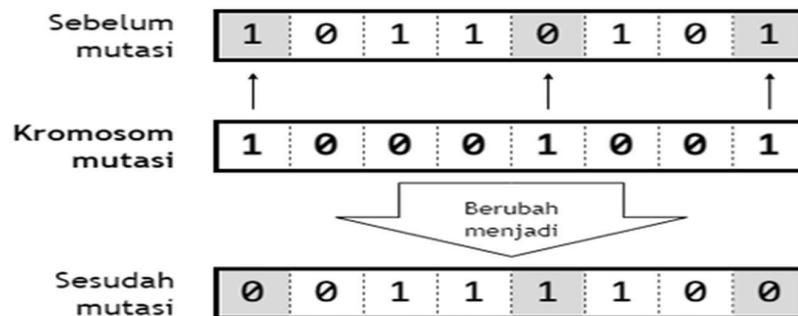
Gambaran tahapan *crossover* dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.



**Gambar 2. 16** Pengambilan sampel universal stokastik  
Sumber: (Sivanandam dan Deepa, 2008)

#### 2.4.5 Mutasi

Setelah proses *crossover* atau penyilangan, setiap solusi berpotensi mengalami mutasi. Mutasi memiliki dua peran utama: memulihkan informasi genetik yang mungkin hilang dan secara acak memperkenalkan variasi genetik baru. Mutasi dapat dianalogikan sebagai mekanisme perlindungan terhadap hilangnya materi genetik yang tak tergantikan. Secara konseptual, mutasi adalah operator pencarian mendasar yang melengkapi *crossover*. Sementara *crossover* berfokus pada eksploitasi solusi yang ada untuk mencari yang lebih baik, mutasi bertujuan untuk mengeksplorasi wilayah solusi yang lebih luas. Berbagai bentuk mutasi tersedia untuk representasi yang berbeda. Dalam representasi biner, mutasi sederhana melibatkan pembalikan nilai setiap bit dengan probabilitas rendah (seringkali  $1/L$ , di mana  $L$  adalah panjang kromosom). Mutasi bit secara spesifik berarti mengubah nilai biner, dari 0 menjadi 1 atau sebaliknya. Pada **Gambar 2.17** menyajikan contoh bagaimana mutasi diterapkan.



**Gambar 2. 17** Mutasi dengan individu mutasi  
 Sumber: (Santosa, 2024)

#### 2.4.6 Elitisme

Elitisme adalah sebuah strategi yang digunakan untuk mempertahankan individu terbaik dari satu generasi ke generasi berikutnya tanpa mengalami perubahan. Tujuannya untuk memastikan bahwa solusi individu terbaik yang sudah ditemukan tidak hilang selama proses evolusi (seleksi, crossover, mutasi) yang bisa saja merusak atau menghilangkan solusi yang bagus. Pada proses Setelah evaluasi fitness pada setiap generasi, sejumlah kecil individu dengan fitness terbaik diidentifikasi. Individu-individu elit ini kemudian disalin tanpa perubahan ke generasi berikutnya, berdampingan dengan keturunan yang dihasilkan dari proses seleksi, *crossover*, dan mutasi.

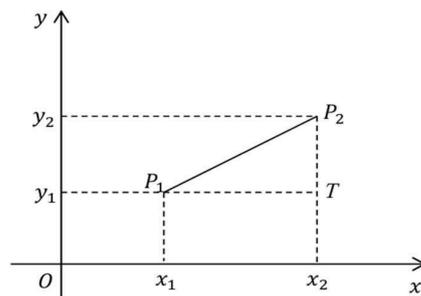
#### 2.4.7 Pembangkitan Populasi Baru

Pembangkitan populasi baru adalah proses menciptakan generasi penerus dalam algoritma genetika dengan menggabungkan individu-individu hasil dari operasi seleksi, *crossover*, dan mutasi dengan tujuan untuk melanjutkan proses evolusi menuju solusi yang lebih baik. Oleh karena itu, populasi yang baru terbentuk akan terdiri atas perpaduan antara individu orang tua dan anak, yang memiliki kemungkinan untuk menghasilkan solusi yang lebih optimal. Metode ini memfasilitasi penjelajahan area solusi yang lebih luas.

## 2.5 Pemodelan

### 2.5.1 Sistem Koordinat Kartesius

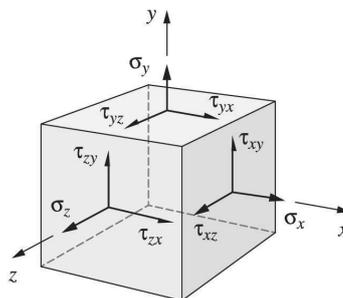
Sistem Koordinat Kartesius ini terdiri atas dua sumbu yang saling tegak lurus, yaitu sumbu  $x$  (absis) dan sumbu  $y$  (ordinat) dengan pertemuan kedua sumbu  $(0,0)$ . Setiap titik di bidang datar memiliki koordinat  $(x, y)$  yang menandakan jaraknya dari sumbu  $y$  dan sumbu  $x$  secara berurutan. Ilustrasi penentuan letak titik tengah pada **Gambar 2.18**.



**Gambar 2. 18** Penentuan koordinat titik tengah pada bidang datar

Sumber: (Wijayanti Pradnyo, 2021)

Selain sumbu  $x$  dan  $y$ , sistem ini juga memiliki sumbu  $z$  yang tegak lurus terhadap bidang  $xy$ . Sumbu  $z$  memberikan informasi tentang posisi suatu titik dalam arah vertikal atau kedalaman. Dengan demikian, setiap titik dalam ruang tiga dimensi dapat ditentukan oleh tiga koordinat, yaitu  $(x, y, z)$ , yang masing-masing menunjukkan jarak titik tersebut terhadap bidang  $yz$ ,  $xz$ , dan  $xy$ . Cara menentukan posisi titik tengah dapat dilihat pada **Gambar 2.19**.



**Gambar 2. 19** Penentuan koordinat pada sumbu xyz

Sumber: (Budynas & Sadegh, 2020)

Sistem Koordinat Kartesius memiliki prinsip yang sama dengan sistem koordinat Global dan lokal, dimana posisi ditentukan oleh sumbu xyz tetapi dengan titik pertemuan sumbu (titik 0) yang berbeda.

- a. Sistem Koordinat Global, merupakan sistem referensi yang digunakan untuk menentukan posisi suatu titik di permukaan Bumi. Sistem ini biasanya menggunakan dua komponen utama Garis Lintang (Latitude) dan Garis Bujur (Longitude).
- b. Sistem Koordinat Lokal, merupakan sistem yang digunakan untuk menggambarkan posisi objek dalam konteks area tertentu atau sistem referensi lokal. Ini sering kali menggunakan titik acuan yang spesifik untuk wilayah tertentu. Sistem ini menggunakan sumbu X, Y (dan Z untuk 3D) yang biasanya ditetapkan berdasarkan titik acuan lokal.

Pada penelitian ini, jenis sistem yang digunakan hanya mencakup Sistem Koordinat Lokal karena menggunakan titik acuan berdasarkan sumbu (x, y, z).

### 2.5.2 Titik Tengah Geometri

Dalam studi ini, lokasi titik suplai dan permintaan tidak selalu diketahui dengan pasti. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa titik-titik tersebut terletak di titik tengah (*Centroid*) pusat area suplai dan permintaan. Titik tengah sebuah persegi panjang pada sumbu x dapat ditentukan melalui pembagian panjangnya menjadi dua bagian yang identik, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan 2.16. Proses serupa berlaku untuk sumbu y, di mana lebar persegi panjang dibagi dua untuk mendapatkan titik tengahnya seperti pada persamaan 2.17. Visualisasi penentuan titik tengah ini tersedia pada **Gambar 2.20**.

$$X_c = \frac{b}{2} \quad (2.16)$$

$$Y_c = \frac{d}{2} \quad (2.17)$$

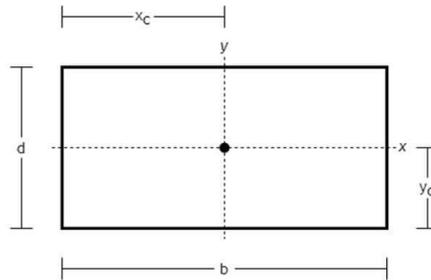
Keterangan:

$Y_c$  = jarak dari tepi ke titik tengah pada sumbu x (m)

$X_c$  = jarak dari tepi ke titik tengah pada sumbu y (m)

$b$  = panjang persegi panjang (m)

$d$  = lebar persegi panjang (m)



**Gambar 2. 20** Titik tengah pada persegi Panjang  
Sumber: (Budynas & Sadegh, 2020)

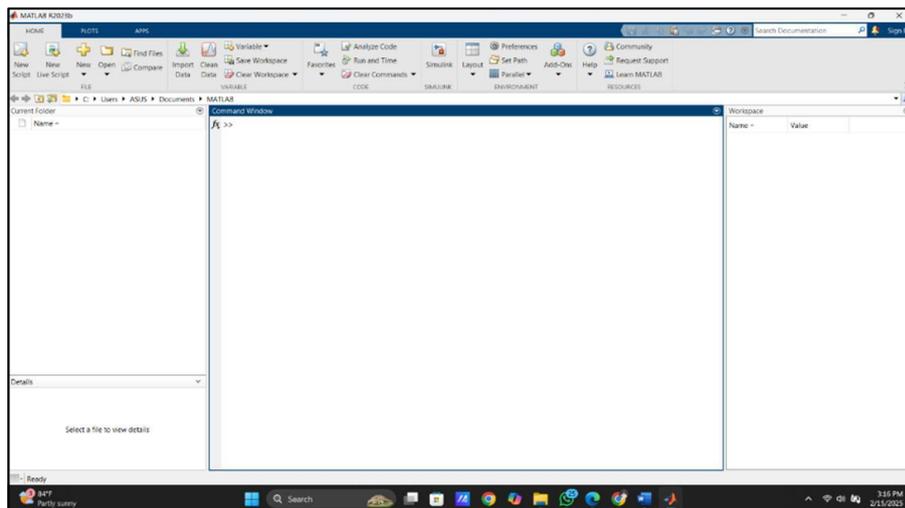
## 2.6 MATLAB

Menurut (Fatwa et al., 2022), perangkat lunak *Matrix laboratory* (MATLAB) adalah program untuk menganalisis dan mengkomputasi numerik, serta bahasa pemrograman matematika tingkat lanjut yang berbasis matriks. Dikembangkan oleh *Mathworks, Inc.*, MATLAB sangat berguna dalam aljabar linear dan perhitungan matematis lainnya. MATLAB memudahkan tugas-tugas yang sulit dilakukan dalam pengolahan angka, terutama perhitungan numerik berbasis matriks. MATLAB sangat umum digunakan di kalangan mahasiswa teknik untuk menyelesaikan masalah matematika, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lainnya. Aplikasi ini banyak digunakan dalam matematika dan komputasi, pengembangan algoritma, pemrograman *modeling*, simulasi, pembuatan prototipe, analisis data, eksplorasi dan visualisasi, analisis numerik dan statistik, serta pengembangan aplikasi teknik. Keuntungan dari aplikasi MATLAB antara lain:

1. Fitur dan Fungsi Analisis data, optimasi, dan simulai yang lengkap.
2. Mampu menangani data dalam skala besar.
3. Fasilitas eksplorasi ide-ide baru dan pengembangan solusi inovatif.

Cocok untuk berbagai bidang aplikasi dan riset akademis hingga industri.  
Adapun kegunaan pada aplikasi Matlab sendiri, diantaranya:

1. Analisis data  
digunakan untuk analisis statistik dan pemrosesan data.
2. Simulasi  
Simulasi membantu dalam simulasi setiap kontrol, pengolahan sinyal, dan simulasi sistem dinamis.
3. Pengembangan Algoritma  
Memudahkan pengembangan dan pengujian algoritma baru.
4. Pemrograman GUI  
Pemrograman GUI memungkinkan pengguna untuk membuat antarmuka pengguna grafis (GUI) untuk aplikasi mereka.



**Gambar 2. 21** Menu awal aplikasi MATLAB 2023