



**IMPLEMENTASI PEMODELAN MATEMATIKA MENGGUNAKAN
ALGORITMA GENETIKA DALAM MENYELESAIKAN PERMASALAHAN
PENJADWALAN PROYEK KONSTRUKSI BANGUNAN
(IMPLEMENTATION OF MATHEMATICAL MODELING USING GENETIC
ALGORITHMS IN SOLVING BUILDING CONSTRUCTION PROJECT
SCHEDULING PROBLEMS)**

Lutfan Anas Zahir, S.Si.¹, M.Pd, Krisna Achmad Suhudi²

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tulungagung¹

Jalan Kimangunsarkoro Beji, Kec. Boyolangu, Kab. Tulungagung 66233

Alamat korespondensi:

E-mail: lutfananas@gmail.com

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tulungagung²

Jalan Kimangunsarkoro Beji, Kec. Boyolangu, Kab. Tulungagung 66233

Alamat korespondensi:

E-mail: krisnasuhudi@gmail.com

ABSTRACT

The development of digitalization has accelerated since the covid-19 pandemic that hit the world in 2019. The role of digitalization in the economy is increasingly important, and is one of the enabling factors to increase economic competitiveness in a country. Indonesia realizes the importance of digitalization for a country so that it has initiated the mainstreaming of digital transformation and the implementation of the Strategic Priority Project (Major Project) "Information and Communication Technology Infrastructure to Drive Digital Transformation". The rapid development of technology provides many options for a construction service company to determine the methods and tools of Metaheuristic search algorithms that can be modeled or adapted to various problems including scheduling. This scheduling system aims to minimize the average value of cost deviations. Critical path method (CPM) is used to minimize cost deviation. Critical path analysis produces a length of time intended for completion of the project work duration. Determination of the critical path in this study using Genetic Algorithm. The results of the research on the data of 20 jobs with 3 constraint functions of duration, predecessor, and cost obtained optimal critical path results with the critical path sequence ['D', 'A', 'B', 'G', 'C', 'E', 'H', 'F', 'K', 'T', 'L', 'J', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'T', 'S']. Optimal Project Duration: 78 and Optimal Project Cost: 64000.

Keywords: Critical Path Method (CPM), Genetic Algorithm, Optimization, Scheduling, VScode.

ABSTRAK

Digitalisasi telah berkembang lebih cepat sejak pandemi COVID-19 melanda dunia pada 2019. Digitalisasi menjadi semakin penting dalam ekonomi dan merupakan salah satu komponen yang dapat meningkatkan daya saing ekonomi suatu negara. Indonesia telah memulai pengarusutamaan transformasi digital dan memulai Proyek Prioritas Strategis "Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Mendorong Transformasi Digital" sebagai bukti kesadaran negara akan pentingnya digitalisasi. Perkembangan teknologi yang semakin cepat memberikan banyak opsi bagi sebuah perusahaan jasa konstruksi untuk menentukan metode dan alat/ tools algoritma Metaheuristic pencarian yang dapat dimodelkan atau di adaptasikan pada berbagai permasalahan termasuk pada penjadwalan. Sistem penjadwalan ini bertujuan untuk meminimalkan nilai rata – rata penyimpangan biaya. Metode jalur kritis atau Critical Path Method (CPM) digunakan untuk meminimalisir penyimpangan biaya. Analisis lintasan kritis menentukan berapa lama waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek. Algoritma Genetika digunakan untuk menentukan garis besar penelitian ini. Hasil penelitian pada data 20 pekerjaan dengan 3 fungsi kendala durasi, predesesor, dan cost memperoleh hasil critical path yang optimal dengan hasil urutan critical path ['D', 'A', 'B', 'G', 'C', 'E', 'H', 'F', 'K', 'T', 'L', 'J', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'T', 'S']. Durasi optimal Project Duration: 78 dan Optimal Project Cost: 64000.

Kata kunci: Algoritma Genetika, Critical Path Method (CPM), Optimasi, Penjadwalan, VScode.

PENDAHULUAN

Teknologi digital modern yang semakin canggih menyebabkan perubahan besar di seluruh dunia. Menurut Rencana Induk Pengembangan (RIP) Industri Digital Indonesia 2023–2045 yang dikeluarkan oleh Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan

Pembangunan Nasional, perkembangan digitalisasi telah berdampak pada sebagian besar kehidupan masyarakat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Selain itu, manusia dapat dengan mudah mendapatkan akses terhadap informasi melalui berbagai cara (Wendratama, 2017). Digitalisasi telah berkembang lebih cepat sejak pandemi COVID-19 melanda dunia pada 2019. Digitalisasi menjadi semakin penting dalam ekonomi dan merupakan salah satu komponen yang dapat meningkatkan daya saing ekonomi suatu negara. Diproyeksikan bahwa sektor digital akan tetap menjadi kekuatan ekonomi global yang paling menonjol di masa mendatang. Indonesia menyadari pentingnya digitalisasi sebagai bagian dari rencana pembangunan nasionalnya. Karena itu, pemerintah telah mengutamakan transformasi digital dan memulai Proyek Prioritas Strategis "Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) untuk Mendorong Transformasi Digital" dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024, dengan sasaran untuk optimalisasi penjadwalan pembangunan sebagai salah satu tujuan (Bappenas, 2022).

Selain anggaran dan kualitas, jadwal merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan proyek konstruksi. Dalam manajemen proyek, penjadwalan harus diperhatikan untuk menentukan durasi dan urutan kegiatan proyek sehingga terbentuk penjadwalan yang logis dan realistis. Penjadwalan proyek biasanya menggunakan estimasi durasi. Namun, ada banyak faktor ketidakpastian, atau ketidakpastian, sehingga durasi setiap tugas tidak dapat ditentukan dengan pasti. Beberapa faktor ketidakpastian tersebut adalah produktivitas pekerja, cuaca, dan lainnya (Kusnanto, 2010). Perencanaan jadwal, perencanaan mutu, dan perencanaan biaya tentunya merupakan bagian dari proses konstruksi. Menurut Soeharto (1999), tiga hal tersebut merupakan parameter yang sangat penting untuk penyelenggaraan proyek. Mereka biasanya dikaitkan dengan sasaran proyek atau Triple Constrain. Pengendalian dan pengelolaan proyek diperlukan karena tiga hal tersebut kadang-kadang menyimpang dari rencana. Sesuai dengan kebutuhan proyek, sistem pemantauan dan pelaporan dapat digunakan untuk mengendalikan suatu proyek. Semakin detail hasil pemantauan dan pelaporan, semakin mudah proyek dikendalikan dan semakin sedikit kemungkinan keterlambatan proyek. Menurut Fadhilat (2018), penjadwalan sendiri adalah pengaturan sumber daya untuk menyelesaikan tugas. Penjadwalan sendiri mencakup elemen kegiatan, waktu, dan sumber daya yang diperlukan untuk mencapai target. Dengan kemajuan teknologi yang cepat, perusahaan jasa konstruksi memiliki banyak pilihan untuk menemukan metode dan alat untuk algoritma pencarian metaheuristik yang dapat dimodelkan atau disesuaikan untuk berbagai permasalahan. Algoritma metaheuristik menggunakan metode trial-and-error untuk menghasilkan hasil terbaik di seluruh dunia dengan menggabungkan peraturan (rule) dan keacakan (randomness) dari fenomena alam (Cheng, Prayogo, Wu, & Lukito, 2016). Salah satu solusi untuk mengoptimalkan masalah pencarian adalah algoritma genetik, yang termasuk dalam kategori algoritma metaheuristik (Assagaf et al., 2018). Teknik komputasi yang disebut algoritma genetika berbasis pada prinsip evolusi genetika. Untuk menyelesaikan masalah, prinsip dasar genetika digunakan untuk memilih, menggabungkan, dan mengubah sekumpulan kromosom. Dalam bidang konstruksi, memilih algoritma pencarian yang memerlukan konstrain dan multi-variable dapat membantu mengoptimalkan dan meningkatkan efisiensi perhitungan iterasi (looping) dari perhitungan fungsi tujuan (Muftikhali et al., 2018).

Dalam penelitian sebelumnya, algoritma genetika telah banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah. Ini termasuk, tetapi tidak terbatas pada, menentukan rute bus cepat terpendek (Massalesse, 2019), algoritma genetika sebagai solusi untuk masalah persamaan linier (Zahir, 2022), optimalisasi damper massa tertanam (Ariadi, 2021), menentukan rute topologi cincin optimal pada jaringan luas (Muftikhali et al., 2018), dan optimalisasi penawaran biaya pekerjaan konstruksi (Ratulangi et al., 2018). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat mengoptimalkan masalah dan membuat solusi terbaik untuk pengambilan keputusan.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, sangat menarik untuk menggunakan Algoritma Genetika (GA) sebagai alat untuk mengoptimalkan tata letak fasilitas untuk proyek konstruksi. Diharapkan bahwa solusi yang dihasilkan akan lebih baik dan minimal daripada yang dihasilkan oleh algoritma sebelumnya.

Penjadwalan Proyek

Penjadwalan adalah penggunaan waktu dan sumber daya untuk menyelesaikan sejumlah tugas. Penjadwalan juga dapat didefinisikan sebagai rencana untuk mengatur urutan kerja dan pembagian sumber, baik waktu maupun fasilitas, untuk setiap tugas yang harus diselesaikan. Penjadwalan adalah pengalokasian segala sumber daya sesuai dengan waktu dan batasan yang harus dipenuhi. Oleh karena itu, penjadwalan dapat didefinisikan sebagai sebuah masalah dengan empat parameter: himpunan berhingga waktu (T), himpunan berhingga sumber daya (R), himpunan berhingga pertemuan (M), dan himpunan berhingga batasan (C) (Affandi, 2017).

Menurut Arifudin (2011), ada beberapa tujuan penjadwalan proyek, yaitu: (1) Menentukan waktu mulai dan berakhir paling awal dan paling akhir untuk setiap kegiatan, yang menghasilkan waktu penyelesaian paling awal untuk proyek secara keseluruhan; (2) Menghitung kemungkinan bahwa proyek akan selesai dalam jangka waktu tertentu; (3) Menemukan biaya jadwal minimum yang akan menyelesaikan proyek dengan tanggal tertentu; (4) Mengidentifikasi alasan mengapa keterlambatan waktu penyelesaian Tujuan sistem penjadwalan ini adalah untuk mengurangi rata-rata penyimpangan biaya per hari. Sebagai contoh, fungsi objektif sistem ini dijelaskan sebagai berikut.:

$$\min B = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |b_i - \bar{b}|$$

Dengan:

- T = waktu rencana proyek secara keseluruhan (dalam hari),
- b_i = adalah ketidaksesuaian dalam biaya proyek setiap hari,
- \bar{b} = adalah biaya rata-rata per hari untuk proyek

Meminimumkan fungsi B adalah tujuan objektif sistem ini, sehingga fungsi fitnessnya dapat ditulis sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{(B - \alpha)}$$

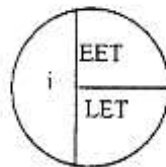
di mana α adalah bilangan real yang sangat kecil untuk menghindari pembagian 0.

Metode Scheduling

Salah satu metode yang dapat membantu analisis Diagram Perencanaan Jaringan adalah Metode Jalur Kritis (CPM). Metode perencanaan ini menggunakan analisis jaringan, yang berpusat pada logika ketergantungan aktivitas. Hubungan antara aktivitas diperlukan untuk menentukan apakah suatu aktivitas dapat dimulai tanpa tergantung pada aktivitas lain atau hanya dapat dimulai setelah aktivitas lain selesai. Analisis lintasan kritis ini bergantung pada hubungan antara pendahulu dan pengikut, juga dikenal sebagai hubungan predator-successor. Berapa lama proyek harus diselesaikan dapat ditentukan melalui analisis lintasan kritis. Lintasan kritis adalah rangkaian aktivitas yang berhubungan yang memiliki durasi terpanjang secara keseluruhan. Proyek tidak dapat diselesaikan sampai semua tugas penting selesai.

Analisis Jaringan CPM dilakukan setelah informasi diperlukan dalam jadwal. Berikut ini adalah ringkasan metode analisis jaringan CPM:

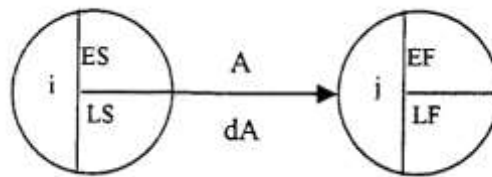
1. CPM MODEL



Gambar 1. Model CPM Terjadi

dengan

- Earliest Event Time (EET)* = waktu kejadian paling cepat yang dapat terjadi
- Latest Events Time (LET)* = Suatu peristiwa harus segera terjadi.



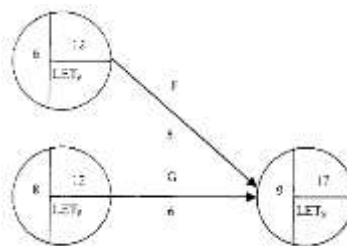
Gambar 2. Model Event CPM

dengan

A	=	Nama aktivitas
dA	=	Durasi
i, j	=	Nama/ nomor event
<i>Earliest Start (ES)</i>	=	Waktu paling cepat kegiatan dapat dimulai
<i>Latest Start (LS)</i>	=	Waktu kejadian paling lambat yang diperbolehkan untuk dimulai adalah $LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$
<i>Earliest Finish (EF)</i>	=	Waktu kejadian paling cepat yang dapat diselesaikan adalah $EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$
<i>Latest Finish (LF)</i>	=	Waktu paling lambat kejadian harus selesai
<i>Total Float (TF)</i>	=	jumlah waktu yang dapat dihabiskan untuk menyelesaikan tugas tanpa mengganggu proyek secara keseluruhan. TF berguna dalam menentukan kegiatan mana yang harus diprioritaskan. $Tf_{ij} = LF_{ij} - Es_{ij} - D_{ij}$

2. Perhitungan Maju

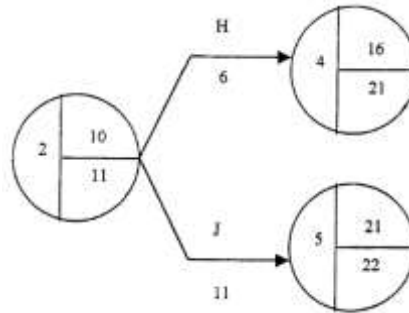
Untuk mendapatkan seluruh EET dari kejadian, perhitungan maju dilakukan dari 0 dan seterusnya sampai akhir kegiatan. Jika ada dua atau lebih waktu kejadian, harga kejadian terbesar akan diambil.



Gambar 3. Perhitungan Maju pada CPM

3. Perhitungan Mundur

Untuk mendapatkan seluruh LET dari kejadian, perhitungan mundur digunakan. Perhitungan ini dimulai di akhir rangkaian kegiatan dengan menghitung harga LET kegiatan terakhir = harga EET kegiatan terakhir, dan kemudian kembali ke awal kegiatan proyek. Jika ada dua atau lebih waktu kejadian, nilai terkecil akan diambil.



Gambar 4. Perhitungan Mundur pada CPM

4. Perhitungan Waktu Tenggang

Ada beberapa float di dalam CPM, yaitu :

- Start Float (SF), float pada awal aktivitas, $SF_i = LSi - ES_i$
- Finish Float (FF), float ketika kegiatan selesai, $FF_i = LFi - EF_i$
- Total Float (TF), yaitu jumlah waktu di mana suatu kegiatan dapat ditunda tanpa mengganggu proyek secara keseluruhan. TF digunakan untuk menempatkan kegiatan mana yang lebih penting. ($TF_{ij} = LF_{ij} - ES_{ij} - D_{ij}$)
- Free Float (FF), adalah jangka waktu di mana suatu kegiatan dapat diperlambat tanpa mengubah waktu awal kembalinya. ($FF_{ij} = EF_{ij} - ES_{ij} - D_{ij}$)
- Independent Float (IF) dimaksudkan sebagai jangka waktu di mana suatu kegiatan dapat diperlambat tanpa mempengaruhi TF kegiatan sebelumnya dan selanjutnya, ($LF_{ij} = EF_{ij} - LSi - D_{ij}$)

Beberapa catatan:

Untuk kegiatan yang tidak terputus, $SF = FF$

$TF > FF > IF$

Jika float bernilai negatif, harus diartikan float = 0

5. Jalur Kritis dan Durasi Proyek

Jalur kritis diperoleh jika :

$$EET_i = LET_i$$

$$EET_j = LET_j$$

$$TF_{ij} = LET_j - EET_i - D_{ij} = 0$$

Jalur kritis menunjukkan durasi proyek.

6. Estimasi Durasi

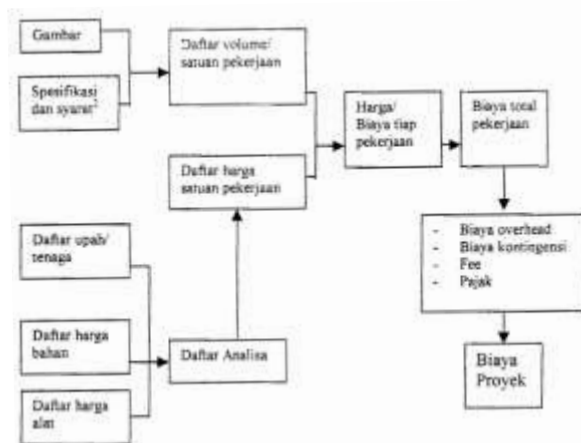
Jumlah pekerjaan dan tingkat produktivitas sumber daya yang digunakan menentukan durasi:

$$t = \frac{\text{kuantitas pekerjaan}}{\text{produktivitas}}$$

Tekanan kerja, peralatan, metode, dan efisiensi membentuk produktivitas. Karena tidak ada data CPM dari kontraktor, diagram balok digunakan untuk mendapatkan durasi kegiatan secara umum, tetapi informasi lebih rinci diperoleh dari pengalaman pembuat jadwal atau estimator.

Estimasi Biaya

Jika gambar rencana, spesifikasi, dan data lain sudah tersedia, atau jika pekerjaan desain sudah selesai, estimasi biaya dapat dilakukan dengan menggunakan Analisa Harga Satuan untuk perhitungan rinci dari setiap item pekerjaan yang ada dalam proyek. Gambar berikut menunjukkan cara umum untuk mengestimasi biaya proyek.



Gambar 5. Proses Estimasi Biaya Proyek

Oprimasi Durasi Proyek

Tim proyek memecah proyek konstruksi ke dalam kegiatan-kegiatan dan menyatukannya kembali dalam bentuk jadwal dan estimasi biaya. Tim mempunyai berbagai metode pelaksanaan yang mungkin, dan ini memengaruhi waktu dan biaya. Untuk memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan dengan biaya yang rendah dan dalam waktu yang tepat, dilakukan upaya untuk mengoptimalkan proses. Pada saat ini, masih ada kesempatan untuk memperlambat jadwal untuk menghemat waktu dan biaya. Penambahan tenaga kerja, peralatan, atau jam kerja dapat mempercepat durasi suatu kegiatan, dan jika kegiatan ini adalah kegiatan kritis, akan memperpendek durasi proyek.

Crashing adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan proses percepatan suatu kegiatan atau banyak kegiatan untuk memperpendek durasi kelelahan proyek (Gould, 1997). Ada banyak alasan mengapa kegiatan dipercepat. Salah satunya adalah karena alasan kontraktual. Percepatan diperlukan karena beberapa kegiatan dapat diselesaikan dengan lebih hemat jika dilakukan selama waktu tertentu pada tahun tersebut. Biaya yang dikeluarkan untuk proyek selama periode waktu yang sama mungkin lebih rendah daripada biaya yang dikeluarkan untuk mempercepat kegiatan yang memperpendek durasi proyek.

Biaya langsung suatu kegiatan meningkat seiring dengan memperlambatnya. Biaya langsung terdiri dari biaya untuk material, tenaga kerja, dan peralatan yang secara langsung terkait dengan pelaksanaan operasi. Biaya langsung proyek meningkat sebagai akibat dari inefisiensi yang dihasilkan dari pekerjaan yang dilakukan lebih cepat dari yang diharapkan. Namun, biaya tak langsung yang dapat dihemat atau bonus atau insentif mungkin lebih besar daripada kenaikan biaya langsung.

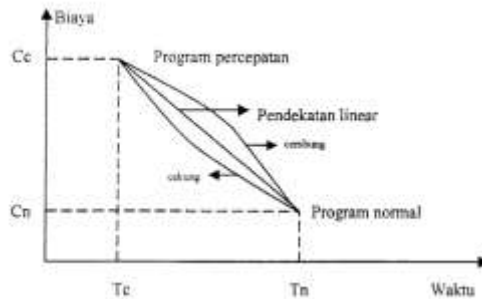
Hubungan Waktu dan Biaya

Hubungan antara waktu dan biaya proyek tidak pernah lepas; oleh karena itu, jika waktu proyek dipercepat dari waktu normal, itu akan menghasilkan peningkatan pembiayaan. Jika ini terjadi, biaya akan meningkat:

- a. Penambahan tenaga kerja,
- b. Pengadaan alat penunjang untuk percepatan pekerjaan,
- c. Kerja lembur, dll.

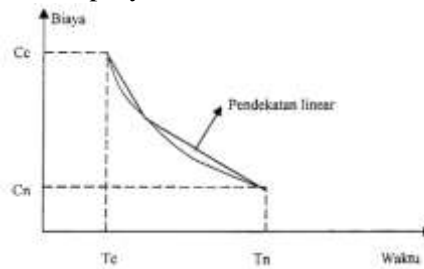
Untuk analisis biaya CPM, kami membutuhkan data dari dua program pekerjaan, yaitu program pekerjaan normal dan program pekerjaan percepatan. Dalam program pekerjaan normal, waktu yang dibutuhkan disebut waktu normal (T_n) dan biaya yang terjadi disebut waktu percepatan atau crash time (T_c). Dalam program pekerjaan percepatan, waktu yang dibutuhkan disebut waktu percepatan atau crash cost (C_c). Tidak selalu mudah untuk menemukan hubungan yang tepat antara biaya dan waktu

untuk tiap kegiatan. Karena biaya pelaksanaan proyek terdiri dari biaya langsung dan tidak langsung, hubungan waktu-biaya sebenarnya dapat berbentuk kurva cekung atau cembung.



Gambar 5. Hubungan antara waktu dan biaya

Untuk maksud-maksud praktis dalam prakteknya sering dipergunakan hubungan yang linear antara waktu dengan biaya dalam suatu proyek.



Gambar 6. Pendekatan Praktis

Dengan menggunakan pendekatan linear untuk melihat hubungan antara waktu dan biaya, kemiringan, atau slope, adalah konstan di berbagai titik sepanjang garis hubungan waktu dan biaya. Biaya tambahan (I_c) per unit pengurangan waktu ditunjukkan dalam kemiringan ini. Biaya tambahan (I_c) untuk setiap kegiatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$I_c = \frac{C_c - C_n}{T_n - T_c} \left(\frac{Rp}{\text{Hari}} \right)$$

dengan

- I_c = *Incremental Cost* I Biaya tambahan
- C_n = *Normal cost* I biaya nonnal
- C_c = *Crash cost* I biaya percepatan
- T_n = *Normal time* /waktu normal
- T_c = *Crash time* I waktu setelah dipercepat

Setelah mengetahui hubungan waktu normal dan biaya normal, langkah berikutnya adalah mencari cara untuk mempersingkat durasi proyek. Agar pengurangan waktu paling menguntungkan, perhatian harus diberikan pada kegiatan yang penting dan tidak memiliki biaya tambahan (I_c) yang kecil. Namun, perlu diingat bahwa pengurangan waktu suatu kegiatan hanya dapat dilakukan sampai batas tertentu. Pengurangan waktu kegiatan dapat menghasilkan jadwal waktu baru dan jalur kritis. Oleh karena itu, untuk mempersingkat waktu, proyek ham dilakukan:

1. Menghitung asumsi semua kegiatan terjadi pada waktu normal dan biaya normal,
2. Menghitung besarnya tambahan biaya (I_c) untuk semua kegiatan,

3. Mengurangi waktu proyek dengan menekan sebanyak mungkin kegiatan - kegiatan kritis dengan koefisien arah terkecil. Hal ini perlu memperhatikan batasan pengurangan waktu maksimal tiap kegiatan dan perubahan jalur kritis bila terjadi.

Prosedur no. 3 ini diulang-ulang sampai menghasilkan waktu yang paling menguntungkan. dengan menganalisis hubungan antara waktu dan biaya, maka target pelaksanaan proyek diharapkan memperoleh hasil yang paling optimum.

Algoritma Genetika

Suatau algoritma pencarian yang berbasis pada mekanisme seleksi genetika dan alam disebut algoritma genetika. Menurut Sam'ani (2012), algoritma genetika adalah salah satu algoritma terbaik untuk menyelesaikan masalah optimasi kompleks yang sulit dilakukan oleh metode konvensional. Untuk menyelesaikan masalah seperti optimasi wadah atau masalah semacam itu, dapat digunakan metode heuristik, yaitu pencarian yang didasarkan pada aturan empiris atau intuisi, untuk mendapatkan solusi yang lebih baik daripada yang telah dicapai sebelumnya. Hukum genetika mengacu pada individu atau generasi yang memiliki kualitas terbaik yang dapat dihasilkan. Menurut Mitsuo Gen dan Runwei Cheng (2000), algoritma genetika, sebuah metode optimasi yang kuat, mungkin telah menjadi teknik komputasi evolusioner yang paling terkenal saat ini. Menurut Michalewicz (1999) yang ditulis kembali dalam buku "Optimization of Genetic Algorithms and Engineering" oleh Mitsuo Gen dan Runwei Cheng (2000), algoritma genetika biasanya terdiri dari lima komponen utama: (1) representasi genetika untuk solusi masalah, (2) metode untuk menciptakan penyelesaian awal populasi, (3) evaluasi nilai fitness berdasarkan kemungkinan solusi, dan (4) metode genetika untuk penggantian generasi.

Alur Dasar Algoritma Genetika

Secara umum, alur dasar algoritma genetika dinyatakan sebagai berikut (Bambrick, L.,1997) :

1. Mulai, generasi populasi pertama secara acak sebanyak n orang.
2. Fitness, menilai nilai fitness $f(x)$ untuk setiap orang x dalam populasi.
3. Populasi Baru: Buat populasi baru dengan melakukan pengulangan langkah. Langkah-langkah berikut akan digunakan untuk membentuk populasi baru:
 - a. Selection: Pilih dua orang sebagai induk dari populasi berdasarkan tingkat fitness (peluang untuk dipilih lebih besar).
 - b. Crossover: Pergi antara kedua induk sesuai dengan kemungkinan crossover untuk membentuk keturunan baru.
4. Mutasi, mengubah setiap keturunan yang baru sesuai dengan kemungkinan mutasi di setiap gen
5. Accepting, menyesuaikan keturunan dengan populasi yang baru
6. Replace, gunakan populasi yang baru dibentuk untuk menjalankan algoritma
7. Tes, berhenti dan menampilkan solusi dari populasi
8. Loop, ulangi langkah-langkah ini sampai iterasi maksimum.

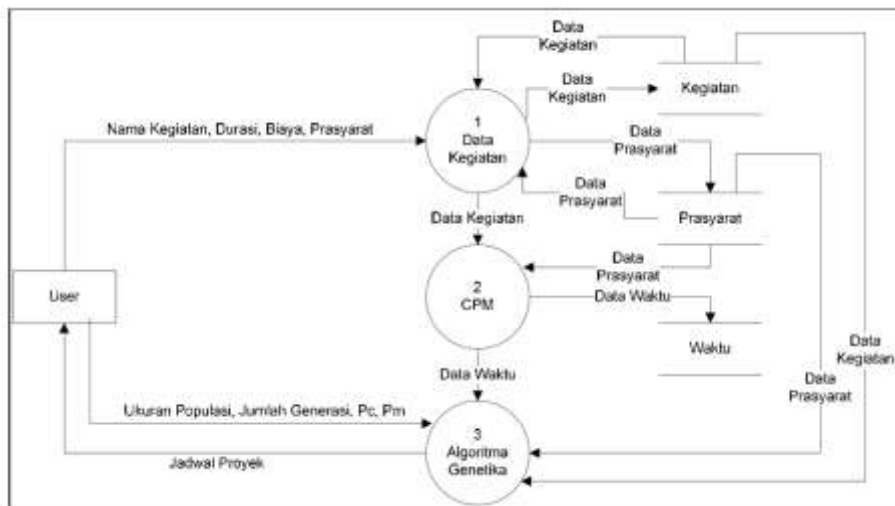
METODE PENELITIAN

Tujuan utama dari optimasi penjadwalan adalah menentukan jarak tempuh antar lokasi dengan total jarak tempuh pekerja paling minimum serta biaya yang dikeluarkan. Prioritas pekerjaan dibatasi dengan variable predesesor atau prasyarat untuk dapat berjalan. Analisa endahuluan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penentuan Parameter Genetika
Sistem dijalankan dengan menggunakan data parameter genetika dengan parameter ukuran populasi, probabilitas crossover, probabilitas mutasi, dan jumlah generasi. Parameter genetika yang dipakai dalam percobaan ini menggunakan parameter hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kim dan Ellis (2008).
2. Data Jarak Tempuh antar Lokasi
Parameter data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, sumber data berasal dari observasi oleh peneliti sebelumnya (Arifudin, 2011) meliputi data pekerjaan, durasi pekerjaan, syarat (predesesor) dan cost biaya yang di butuhkan. Pada penelitian penalty untuk keterlambatan tidak diabaikan.
3. Prosedur Penelitian

Langkah – Langkah yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Inialisasi data meliputi kegiatan, durasi, biaya, dan prasyarat
 - b. Pengolahan data awal menggunakan metode CPM
 - 1) Perhitungan Jalur Kritis
 - 2) Perhitungan Jalur Mundur
 - 3) Pengembangan Jadwal Proyek dan Penyeimbangan Biaya
 - c. Pengoptimalan hasil CPM dengan Algoritma Genetika
 - 1) Insialisasi populasi awal genetika
 - 2) Perhitungan nilai fungsi tujuan (*fitness*)
 - 3) Seleksi Kromosom menggunakan (*roulette wheel selection*)
 - 4) Crossover (pindai silang) hasil untuk menambahkan varian
 - 5) Mutasi, Mutasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah mutasi dengan pengkodean b ulat. Mutasi gen ini dilakukan dengan cara pemilihan nilai secara acak.
 - 6) Update populasi, dalam proses update, kromosom dengan fitness yang terbaik selalu dipertahankan
 Ulangi langkah 4 sampai 7 sampai kriteria berhenti tercapai, seperti jumlah generasi atau nilai fitness tertentu sebanyak max_iterasi.
 - d. Membuat Program algoritma genetika untuk optimasi tata letak fasilitas proyek
 - e. Mengimplementasikan program pada kasus
4. Flowchart Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, sumber data berasal dari observasi oleh peneliti sebelumnya (Arifudin, 2011) meliputi data pekerjaan, durasi pekerjaan, syarat (predesesor) dan cost biaya yang di butuhkan. Pada penelitian penalty untuk keterlambatan tidak diabaikan.

No	Nama Pekerjaan	Durasi	Predesesor	Biaya (dalam ribuan)
1	A	6	-	5,000
2	B	3	-	3,000
3	C	4	A	2,000
4	D	6	-	5,000
5	E	7	A, B	3,000
6	F	5	C	4,000
7	G	2	D	4,000
8	H	2	A, B	5,000
9	I	2	G, H	3,000
10	J	6	F	1,000
11	K	1	C, E	3,000
12	L	2	E, G, H	3,000
13	M	4	I, K	2,000
14	N	2	F, L	1,000
15	O	3	L	5,000
16	P	5	J, M, N	3,000
17	Q	8	O	4,000
18	R	2	D, O	5,000
19	S	6	P, R	2,000
20	T	2	Q	1,000

Gambar 7. Data Analisa

Proses Pengolahan Data dengan Bahasa Pemrograman python

Optimasi prioritas pekerjaan dengan syarat atau predesesor di selesaikan dengan tehnik Critical Path Method (CPM) dan dioptimalakan dengan algoritma genetika sebagai metode pencarian untuk mendapatkan solusi optimal. Hasil dari solusi akan dijadikan sebagai urutan dalam menentukan fungsi tujuan yaitu untuk meminimalkan cost pekerjaan sesuai dengan kriteria. Proses pengkodean atau *pseudocode* akan dijelaskan sebagai berikut:

Proses utama dalam pada pengoptimalan pekerjaan bersyarat (predesesor) adalah mendeklarasikan data dan parameter. Data aktivitas adalah list pekerjaan yang harus diselesaikan dengan memiliki predesesor tertentu sebagai syarat pekerjaan tersebut telah dpat dilaksanakan atau belum. Berikut input dalam bahasa pemrograman pyhton:

```
# Data activities
activities = {
    "A": Activity("A", 6, 5000), "B": Activity("B", 3, 3000),
    "C": Activity("C", 4, 2000), "D": Activity("D", 6, 5000),
    "E": Activity("E", 7, 3000), "F": Activity("F", 5, 4000),
    "G": Activity("G", 2, 4000), "H": Activity("H", 2, 5000),
    "I": Activity("I", 2, 3000), "J": Activity("J", 6, 1000),
    "K": Activity("K", 1, 3000), "L": Activity("L", 2, 3000),
    "M": Activity("M", 4, 2000), "N": Activity("N", 2, 1000),
    "O": Activity("O", 3, 5000), "P": Activity("P", 5, 3000),
    "Q": Activity("Q", 8, 4000), "R": Activity("R", 2, 5000),
    "S": Activity("S", 6, 2000), "T": Activity("T", 2, 1000)
}
```

Pada proses kedua penentuan pekerjaan berdasarkan durasi, cost dan task yang memiliki predesor harus ditentukan dahulu menggunakan metode CPM. Metode CPM akan menseleksi task/ pekerjaan yang tidak memiliki atau telah memenuhi syarat dijalankan (predesesor terpenuhi) dapat dijalankan sebagai prioritas. Berikut model pemrograman penentuan Critical Path Method (CPM):

```
def find_critical_path(tasks, num_generations=1000, population_size=15,
mutation_rate=0.1):
```

Critical Path Method didasarkan pada list task pekerjaan yang di golongan menjadi 2 (dua) yaitu : Earlist Start (ES) finish dan Lastest Start (ls) finish. Pada ES di jalankan pekerjaan sesuai dengan kriteria predesosr yang dimiliki, dimana task akan otomatis berjalan apabila syarat terpenuhi. Berebeda denagn LS, task hanya akan berjalan mundur. Yaitu mencari pekerjaan terakhir dan dihitung mundur. Kedua metode CPM ini di dibandingkan, jika ES = LS maka solusi task dianggap optimal.

Hasil dari output CPM otomatis akan di lakukan optimasi dengan algoritma genetika. Langkah awal algoritma genetika adalah Representasi dan inisialisasi populasi awal. Prosedur generate populasi awal sebagai berikut:

```
population = [get_random_chromosome(tasks) for _ in
range(population_size)]
```

Pada generate populasi awal sebanyak task / pekerjaan yang dimiliki dengan bilangan random secara urut sebagai pengacakan namun tetap memperhatikan predesesor aktivitas yang telah ditentukan. Langkah selanjutnya sesuai dengan tahapan algoritma genetika adalah melakukan crossover pada populasi awal untuk mendapatkan child atau kromosom baru. Proses crossover disajikan pada gambar berikut:

```
for generation in range(num_generations):
    # Seleksi dan crossover untuk menciptakan generasi baru
    new_population = []
```

Hasil dari proses crossover merupakan kromosom baru (child) dan selanjutnya dilakukan mutation pada populasi awal. Mutation ini bertujuan untuk menukar parent sebelumnya terhadap child yang telah dibentuk sebelumnya dari proses crossover. Langkah dalam melakukan mutation sebagai berikut:

```
for _ in range(population_size):
    # Seleksi parent berdasarkan panjang durasi yang sama dengan
    durasi terpendek
    parents = [chromosome for chromosome, fitness in
zip(population, population_fitness) if fitness[0] == min_duration]
    parent1 = random.choice(parents)
    parent2 = random.choice(parents)

    child_chromosome = crossover(parent1, parent2)
    mutate(child_chromosome)
    new_population.append(child_chromosome)
```

Setelah semua deklarasi pendefinisian parameter, fungsi, dan metode telah dimodelkan dalam pemodelan matematika dalam logika bahasa python selanjutnya di deklarasikan running program algoritma genetika untuk memanggil seluruh fungsi yang telah di definisikan sebelumnya. Proses pemanggilan fungsi sebagai berikut:

```
print("Pekerjaan yang tidak memiliki tanggung jawab predecesor:")
print(independent_tasks)
```

Optimalisasi telah dilakukan oleh algoritma genetika, selanjutnya program harus menentukan output yang di inginkan. Proses penulisan output didasarkan pada perhitungan fungsi tujuan yaitu meminimalan biasa / cost pekerjaan. Bentuk output juga dapat berupa jalur kritis sesuai dengan syarat yang ditentukan. Berikut code program untuk pemanggilan output untuk perhitungan fungsi tujuan dan menggambaran CPM yang telah di optimasi oleh Algoritma Genetika. Code Plot dan Output Program sebagai berikut:

```
if __name__ == "__main__":
    critical_path = find_critical_path(activities)
    early_start_times = early_start(critical_path, predecessors)
    print("Early Start Times:")
    for task in early_start_times:
        print(f"{task}: {early_start_times[task]}")
    # Cetak hasil jalur kritis dan jadwal proyek optimal
    late_start_times = late_start(critical_path, predecessors,
early_start_times)
    print("Late Start Times:")
    for task in late_start_times:
        print(f"{task}: {late_start_times[task]}")
    print("Critical Path:", critical_path)
    total_duration, total_cost = calculate_fitness(activities,
critical_path)
    print("Optimal Project Duration:", total_duration)
    print("Optimal Project Cost:", total_cost)
    G = nx.DiGraph()
    for task in critical_path:
        G.add_node(task, label=f"{task}\nLS: {late_start_times[task]}")
    for task in critical_path:
        for dependent in predecessors[task]:
            G.add_edge(task, dependent) # Add edges backward for Late
Start
```

```

pos = nx.spring_layout(G)
labels = nx.get_node_attributes(G, 'label')
nx.draw(G, pos, with_labels=True, labels=labels, node_size=800,
node_color='skyblue', font_size=10, font_weight='bold', arrowsize=15,
arrowstyle='->', connectionstyle='arc3,rad=-0.3')
plt.title('Late Start Calculation')
plt.show()

```

Seluruh proses algoritma genetika untuk optimasi penjadwalan menggunakan metode algoritma genetika pada proyek konstruksi bangunan telah selesai. Program compiler pada penelitian ini menggunakan Visual Code Version 1.80.1 dengan menggunakan bahasa pemrograman python. Hasil running program dengan iterasi/ generation sebanyak 1000 dengan population size GA sebesar 10, dan mutation rate = 0.1 menunjukkan hasil solusi fitness minimum sebagai Critical Path dengan jalur ['D', 'A', 'B', 'G', 'C', 'E', 'H', 'F', 'K', 'T', 'L', 'J', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'T', 'S']. Durasi optimal Project Duration: 78 dan Optimal Project Cost: 64000.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Algoritma Genetika dapat digunakan untuk optimasi penjadwalan menggunakan metode algoritma genetika pada proyek konstruksi bangunan dengan langkah – langkah algoritma sesuai dengan Critical Path Method yang di optimasikan dengan Algoritma Genetika.

Program untuk menyelesaikan permasalahan optimasi penjadwalan menggunakan metode algoritma genetika pada proyek konstruksi bangunan berdasarkan metode CPM, artinya fungsi tujuan program adalah melakukan meminimalan pada setiap fungsi kendala (*constrains*) yang ada. Program di buat sesuai dengan kriteria prosedur algoritma genetika yang di buat dengan program Visual Code versi 1.80.1 dengan bahasa pemrograman *python*.

Implementasi program untuk contoh kasus menggunakan data 20 pekerjaan dengan 3 fungsi kendala durasi, predesesor, dan cost memperoleh hasil critical path yang optimal dengan hasil urutan *critical path* ['D', 'A', 'B', 'G', 'C', 'E', 'H', 'F', 'K', 'T', 'L', 'J', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'T', 'S']. Durasi optimal Project Duration: 78 dan Optimal Project Cost: 64000.

SARAN

Untuk penelitian berikutnya, dapat menambahkan fungsi kendala lain seperti denda keterlambatan pekerjaan dan intensif tambahan apabila pekerjaan selesai sebelum atau melebihi target yang di tentukan. Untuk mendukung proses optimasi di harapkan pada penelitian selanjutnya melakukan hybrid dengan algoritma metaheuristic lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, B. Y. (2017). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Mengajar Pratikum Asisten Laboratorium Sistem Dan Jaringan Komputer *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 1(2), 185–190. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/2116>
- Ariadi, D. (2021). Aplikasi Algoritma Genetika Dalam Mengoptimasi Tuned Mass Damper Untuk Mereduksi Getaran Pada Gedung Akibat Beban Gempa. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(1), 19. <https://doi.org/10.31602/jk.v4i1.5125>
- Arifudin, R. (2011). Riza Arifudin. *Jurnal Masyarakat Informatika*, 2, 1–14.
- Fadhilah, C. T. 2018. Evaluasi Perencanaan Dan Pengendalian Waktu Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan – Kuala Namu – Tebing Tinggi. *Tugas Akhir*. Universitas Medan Area. Medan.
- K. S. & C. Maufrais (2020), Introduction to Programming using Python, Boston.
- Kusnanto. (2010). Dengan Metode Pert. *Penjadwalan Proyek Konstruksi Dengan Metode Pert (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung R.Kuliah Dan Perpustakaan PGSD Kleco Fkip Uns Tahap I)*, 24–73.

- Massalesse, J. (2019). Penerapan Algoritma Genetika Pada Penentuan Lintasan Terpendek Jalur Bus Rapid Transit Makassar. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 16(2), 114. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v16i2.7016>
- Muftikhali, Q. E., Yudhistira, A. Y. F. D., Kusumawati, A., & Hidayat, S. (2018). Optimasi Algoritma Genetika Dalam Menentukan Rute Optimal Topologi Cincin Pada Wide Area Network. *Informatika Mulawarman : Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 13(1), 43. <https://doi.org/10.30872/jim.v13i1.1007>
- Nasional, K. P. P. N. / B. P. P. (2022). *Rencana Induk Pengembangan Industri Digital Indonesia 2023 – 2045* (1st ed., Issue 1).
- Ratulangi, D. R. G., Balai, S., & Sulawesi, W. S. (2019). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Optimasi Penawaran Biaya Pekerjaan Konstruksi Dengan Bantuan Software Matlab. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 9(1), 2087–9334.
- Romzi, M., & Kurniawan, B. (2020). Implementasi Pemrograman Python Menggunakan Visual Studio Code. *Jurnal Ilmu Komputer (JIK)*, 5(2), 1–9.
- Soeharto, Iman. 1999. *Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)*, Jilid 1. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Wendratama, W. (2017). Era Digital dan Tantangannya. *Seminar Nasional Pendidikan*, 1–5. <https://kumparan.com/rendi-eko-budi-s/era-digital-masalah-dan-tantangannya-1tRDSMOLfZT/3>
- Zahir, L. A. (2022). Algoritma Genetika Sebagai Solusi Permasalahan Persamaan Linear Matematika. *Journal of Research in Science and Mathematics Education (J-RSME)*, 1(2), 87–95. <https://doi.org/10.56855/jrsme.v1i2.62>