



**PERCEPATAN PENJADWALAN DAN WAKTU MENGGUNAKAN
METODE CIRITICAL PATH METHOD (CPM) DAN ALGORITMA
FIREFLY**

**(SCHEDULING AND TIME ACCELERATION USING THE CIRITICAL
PATH METHOD (CPM) AND THE FIREFLY ALGORITHM)**

Lutfan Anas Zahir¹, Suliana Mafiroh²

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tulungagung¹

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

email: lutfananas@gmail.com

Program Studi Teknik Sipil Universitas Tulungagung²

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

Alamat korespondensi:

E-mail: sulianamafiroh@gmail.com

Abstract

The development of digitalization has been going faster 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 the competitiveness of the economy in a country. Indonesia realizes the importance of digitalization for a country, so it has initiated the mainstreaming of digital transformation and implemented 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 methods and search Meta-heuristic algorithm tools that can be modeled or adapted to various problems including scheduling. This scheduling system aims to minimize the average value of cost deviations. The critical path method or Critical Path Method (CPM) is used to minimize cost deviations. Critical path analysis produces the length of time allotted for the completion of the project work duration. Determination of the critical path in this study using a *Firefly Algorithm*. The parameters in the Firefly Algorithm used include the input $\alpha=\text{rand}(0,1)$, $\beta=\text{rand}(0,1)$, and $\gamma=500$. The optimal duration of project work according to the minimum Work Breakdown Structure is 44 days with a critical path using the CPM and Firefly algorithm according to the ES and LS considerations as follows: 2, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

Keyword : *Critical Path Method (CPM), Firefly Algorithm, Optimization, Scheduling, VScode.*

Abstrak

Perkembangan digitalisasi semakin pesat sejak pandemi Covid - 19 yang melanda dunia pada tahun 2019 lalu. Peran digitalisasi dalam perekonomian semakin penting, dan menjadi salah satu faktor pendukung peningkatan daya saing perekonomian suatu negara. Indonesia menyadari pentingnya digitalisasi bagi suatu negara, sehingga menginisiasi pengarusutamaan transformasi digital dan mengimplementasikan Proyek Prioritas Strategis (Major Project) "Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Mendorong Transformasi Digital". Pesatnya perkembangan teknologi memberikan banyak pilihan bagi perusahaan jasa konstruksi untuk menentukan metode dan pencarian alat algoritma Metaheuristik yang dapat dimodelkan atau disesuaikan dengan berbagai permasalahan termasuk penjadwalan. Sistem penjadwalan ini bertujuan untuk meminimalkan nilai rata-rata penyimpangan biaya. Metode jalur kritis atau Critical Path Method (CPM) digunakan untuk meminimalkan penyimpangan biaya. Analisis jalur kritis menghasilkan lamanya waktu yang dialokasikan untuk penyelesaian durasi pekerjaan proyek. Penentuan jalur kritis pada penelitian ini menggunakan Algoritma Firefly. Parameter pada Algoritma Firefly yang digunakan meliputi input $\alpha=\text{rand}(0,1)$, $\beta=\text{rand}(0,1)$, dan $\gamma=500$. Durasi optimal pekerjaan proyek sesuai dengan *Work Breakdown Structure* minimal adalah 44 hari dengan jalur kritis/ Critical Path dengan menggunakan CPM dan Firefly algoritma sesuai perhingan ES dan LS sebagai berikut: 2, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

Kata Kunci : *Critical Path Method (CPM), Algoritma Firefly, Optimasi, Penjadwalan, VScode.*

PENDAHULUAN

Teknologi digital masa kini yang semakin canggih menyebabkan terjadinya perubahan besar dunia. Manusia telah dimudahkan dalam melakukan akses terhadap informasi melalui banyak cara, serta dapat menikmati fasilitas dari teknologi digital dengan mudah (Wendratama, 2017), Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional melalui Rencana Induk Pengembangan (RIP) Industri Digital Indonesia 2023 – 2045 menyatakan bahwa trend perkembangan digitalisasi telah mempengaruhi sebagian besar kehidupan masyarakat dunia dan di Indonesia. Perkembangan digitalisasi berlangsung lebih cepat sejak pandemi *covid-19* yang melanda dunia di tahun 2019. Peran digitalisasi dalam perekonomian semakin penting, dan menjadi salah satu faktor pemampu untuk meningkatkan daya saing perekonomian di suatu negara. Sektor digital diproyeksi terus menjadi kekuatan utama ekonomi global di masa mendatang. Indonesia menyadari pentingnya digitalisasi bagi sebuah negara sehingga telah menginisiasi pengarusutamaan transformasi digital serta pelaksanaan Proyek Prioritas Strategis (Major Project) “Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) untuk Mendorong Transformasi Digital” dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020 – 2024 dengan sasaran salah satunya optimalisasi penjadwalan pembangunan (Bappenas, 2022).

Penjadwalan merupakan alokasi dari sumber daya terhadap waktu untuk menghasilkan sebuah kumpulan pekerjaan. Penjadwalan juga didefinisikan sebagai rencana pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber, baik waktu maupun fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan (Affandi, 2017). Menurut (Arifudin, 2011), ada beberapa tujuan penjadwalan proyek meliputi : (1) Menentukan jadwal paling awal dan paling akhir dari waktu mulai dan berakhir untuk setiap kegiatan yang mengarah ke waktu penyelesaian paling awal untuk keseluruhan proyek; (2) Menghitung kemungkinan bahwa proyek akan selesai dalam jangka waktu tertentu; (3) Mencari biaya jadwal minimum yang akan menyelesaikan sebuah proyek dengan tanggal tertentu; (4) Menginvestigasi bagaimana keterlambatan untuk kegiatan tertentu mempengaruhi waktu penyelesaian keseluruhan proyek; (5) Monitoring sebuah proyek untuk menentukan apakah berjalan tepat waktu dan sesuai anggaran; (6) Mencari jadwal kegiatan yang akan memuluskan alokasi sumber daya selama durasi proyek.

Salah satu cara penentuan *scheduling* adalah menggunakan representasi Diagram Jaringan Kerja (Network Planning Diagram). Diagram jaringan kerja ini digunakan untuk menggambarkan kegiatan yang disusun berdasarkan urutan-urutan dari semua pekerjaan sedemikian rupa sehingga tampak keterkaitan antar pekerjaan untuk mendapatkan waktu penyelesaian proyek secara efisien. Penentuan network planing dapat menggunakan metode Critical Path Method (CPM). Metode ini merupakan suatu teknik perencanaan dengan analisis jaringan (network) berdasarkan logika ketergantungan aktivitas yang ada. Hubungan antar aktivitas tersebut ditetapkan untuk menunjukkan

apakah suatu aktivitas dapat dimulai tanpa tergantung aktivitas lain atau hanya dapat dimulai bila suatu aktivitas lain telah selesai. Dasar analisis lintasan kritis ini adalah hubungan pendahulu - pengikut (predecessor-successor). Analisis lintasan kritis menghasilkan lama waktu yang diperlukan untuk penyelesaian proyek. Lintasan kritis adalah urutan aktivitas – aktivitas yang berhubungan, dengan durasi kumulatif terpanjang. Proyek tidak akan dapat diselesaikan sampai seluruh aktivitas kritis (*critical activities*) selesai. Proses pencarian critical path method merupakan pencarian perulangan yang menitikberatkan pada fungsi kendala. Pada kasus CPM umumnya kendala yang dialami adalah predesesor dan biaya.

METODE PENELITIAN

Berikut merupakan Teori dasar yang terkait dengan penelitian ini, yaitu:

1. Penjadwalan Proyek

Penjadwalan merupakan alokasi dari sumber daya terhadap waktu untuk menghasilkan sebuah kumpulan pekerjaan. Penjadwalan juga didefinisikan sebagai rencana pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber, baik waktu maupun fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan. Sistem penjadwalan ini bertujuan untuk meminimalkan nilai rata-rata penyimpangan biaya perhari. Fungsi objektif dalam system ini dituliskan sebagai berikut:

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

dengan:

- T = waktu keseluruhan penjadwalan proyek (dalam hari),
- b_i = penyimpangan biaya proyek perhari
- \bar{b} = rata-rata biaya proyek perhari

Fungsi objektif pada sistem ini adalah meminimumkan fungsi B sehingga fungsi fitnessnya dapat ditulis sebagai berikut:

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

Dengan α merupakan suatu bilangan real yang dianggap sangat kecil untuk menghindari pembagian 0.

2. Metode Scheduling

Metode jalur kritis atau Critical Path Method (CPM) merupakan suatu teknik perencanaan dengan analisis jaringan (network) berdasarkan logika ketergantungan antar aktivitas yang ada. Analisis lintasan kritis ini adalah hubungan pendahulu-pengikut (predecessor - successor). Analisis lintasan kritis menghasilkan lama waktu yang diperlukan untuk penyelesaian proyek. Lintasan kritis adalah urutan aktivitas – aktivitas yang berhubungan, dengan durasi kumulatif terpanjang. Proyek tidak akan dapat diselesaikan sampai seluruh aktivitas kritis (*critical activities*) selesai.

3. Firefly Algorithm (FA)

Firefly algorithm pertama diusulkan oleh Yang (2008), dan telah berhasil diaplikasikan untuk Melakukan optimasi dalam berbagai hal (Fister dkk, 2013, Arora dan Singh, 2013, Ritthipakdee

dkk., 2014, Cheung dkk, 2014). Teori ini didasarkan pada perilaku dari kunang-kunang (firefly). Cahaya yang dipancarkan oleh kunang - kunang merupakan suatu pemandangan yang menakjubkan di langit pada musim panas di daerah tropis dan beriklim sedang. Setiap spesies dari kunang-kunang menghasilkan cahaya – cahaya kecil dan berirama dan beberapa spesies dari kunang-kunang tersebut mengeluarkan pola cahaya unik. Dua variabel penting dalam *firefly algorithm*, yaitu formulasi dari daya Tarik oleh masing-masing kunang - kunang, dan variasi dari intensitas cahaya oleh masing - masing kunang - kunang. Secara sederhana, daya tarik dari kunang - kunang ditentukan dari tingkat kecerahan yang berhubungan dengan fungsi obyektif yang ingin dicapai. Adapun langkah-langkah dalam firefly algorithm adalah sebagai berikut ini:

- a. Tentukan fungsi sasaran (objective function) $f(x_i)$.
- b. Generate populasi awal dari masing-masing kunang-kunang x_i ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$).
- c. Tentukan intensitas cahaya masing-masing kunang-kunang I_i yang berhubungan dengan posisi awal dari kunang-kunang x_i berdasarkan fungsi sasaran $f(x_i)$.
- d. Definisikan koefisien penyerapan cahaya γ .
- e. Untuk $i = 1:n$ (semua kunang-kunang)
- f. Untuk $j = 1:n$ (semua kunang-kunang)

Jika nilai $I_i < I_j$: Pindahkan kunang-kunang i ke j .

- g. Formulasikan daya tarik untuk masing- masing kunang-kunang.
- h. Evaluasi solusi yang baru dan perbarui intensitas cahaya masing-masing kunang-kunang
- i. Susun peringkat kunang-kunang dan tentukan nilai global terbaik (g^*).
- j. Interpretasikan hasil yang didapatkan.

4. Pendekatan penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif, umumnya menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya. Pendekatan ini juga dihubungkan dengan variabel penelitian yang memfokuskan pada masalah-masalah terkini dan fenomena yang sedang terjadi pada saat sekarang dengan bentuk hasil penelitian [5]

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Penelitian

Work Breakdown Structure (WBS) atau struktur pekerjaan terperinci adalah suatu metode pengorganisasian proyek menjadi pelaporan hirarkis. WBS biasanya digunakan untuk melakukan pemecahan pada setiap pekerjaan menjadi lebih detail [1]. WBS pada proyek ini berdasarkan dokumen proyek, meliputi kontrak, gambar, dan spesifikasi proyek, kemudian di sesuaikan dengan rangkaian uraian kegiatan. Berikut rangkaian uraian kegiatan:

Tabel 1. Hasil *Work Breakdown Structure*

No	Kode	Uraian Kegiatan
1	A	Persiapan Umum
2	B	Pengukuran
3	C	Pekerjaan Dokumentasi dan Administrasi
4	D	Struktural
5	E	Atap
6	F	Theater

7	G	Hall A
8	H	Hall B
9	I	Hall C
10	J	Hall D
11	K	Hall E
12	L	Hall F
13	M	Coffe Shop dan Kantor
14	N	Mushola dan Toilet
15	O	Inner court dan selasar
16	P	Lobby
17	Q	Entrance
18	R	Mekanikal Elektrikal
19	S	Interior Partisi
20	T	Interior Platfond

2. Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method (CPM) merupakan merincikan setiap aktivitas, kegiatan pendahulu, waktu kegiatan atau waktu normal, dan biaya. Data data tersebut di butuhkan untuk membuat jaringan kerja. Uraian kegiatan dengan metode CPM di sajikan dalam table berikut:

Tabel 2. Model kegiatan CPM

No	Kode	Uraian Kegiatan	Predesesor	Waktu
1	A	Persiapan Umum	-	5
2	B	Pengukuran	A	4
3	C	Pekerjaan Dokumentasi dan Administrasi	A	6
4	D	Struktural	B,C	5
5	E	Atap	D	5
6	F	Theater	E	9
7	G	Hall A	I,N	12
8	H	Hall B	E	10
9	I	Hall C	H	13
10	J	Hall D	E	4
11	K	Hall E	J	4
12	L	Hall F	K	4
13	M	Coffe Shop dan Kantor	L	5
14	N	Mushola dan Toilet	F	4
15	O	Inner court dan selasar	M,Q	5
16	P	Lobby	G	12
17	Q	Entrance	P	14
18	R	Mekanikal Elektrikal	O	13
19	S	Interior Partisi	R	8
20	T	Interior Platfond	S	12

Uraian kegiatan metode CPM diatas menunjukkan uraian kegiatan, dan durasi waktu untuk selanjutnya dibuat jaringan kerja atau diagram Network Planning dengan menggunakan Aplikasi *Virtual Studio Code* dengan bahasa pemrograman pyhton. Hasil program menunjukkan bahwa sesuai dengan *Work*

Breakdown Structure dengan fungsi kendala predesesor dan time requement didapatkan *Early Start (ES)*, *Early Finish (EF)*, *Late Start (LS)* dan *Late Finish (LF)*. Selanjutnya Penentuan Node untuk Critical path berdasarkan perhitungan maju (ES) dan perhitungan mundur (LS) sebagai berikut:

Hasil Perhitungan Maju (ES)

$$E_1 = 0$$

$$E_2 = E_1 + t_{1,2} [t_{1,2} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_3 = E_2 + t_{2,3} [t_{2,3} = B = 4] = 5 + 4 = 9$$

$$E_4 = \text{Max}\{E_i + t_i, 4\} [i = 2,3]$$

$$= \text{Max}\{E_2 + t_{2,4}; E_3 + t_{3,4}\}$$

$$= \text{Max}\{5 + 6; 9 + 0\}$$

$$= \text{Max}\{11; 9\}$$

$$= 11$$

$$E_5 = E_4 + t_{4,5} [t_{4,5} = D = 5] = 11 + 5 = 16$$

$$E_6 = E_5 + t_{5,6} [t_{5,6} = E = 5] = 16 + 5 = 21$$

$$E_7 = E_6 + t_{6,7} [t_{6,7} = H = 10] = 21 + 10 = 31$$

$$E_8 = E_6 + t_{6,8} [t_{6,8} = J = 4] = 21 + 4 = 25$$

$$E_9 = E_8 + t_{8,9} [t_{8,9} = K = 4] = 25 + 4 = 29$$

$$E_{10} = E_9 + t_{9,10} [t_{9,10} = L = 4] = 29 + 4 = 33$$

$$E_{11} = E_1 + t_{1,11} [t_{1,11} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{12} = E_1 + t_{1,12} [t_{1,12} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{13} = E_1 + t_{1,13} [t_{1,13} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{14} = E_1 + t_{1,14} [t_{1,14} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{15} = E_1 + t_{1,15} [t_{1,15} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{16} = E_1 + t_{1,15} [t_{1,15} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{17} = E_1 + t_{1,17} [t_{1,17} = A = 5] = 0 + 5 = 5$$

$$E_{18} = \text{Max}\{E_1 + t_i, 18\} [i = 1,2,6,7,10]$$

$$= \text{Max}\{E_1 + t_i, 18; E_2 + t_2, 18; E_6 + t_6, 18; E_7 + t_7, 18; E_{10} + t_{10}, 18\}$$

$$= \text{Max}\{0 + 5; 5 + 0; 21 + 9; 31 + 13; 33 + 5\}$$

$$= \text{Max}\{5; 5; 30; 44; 38\}$$

$$= 44$$

Hasil Perhitungan Mundur (LS)

$$L_{18} = E_{18} = 44$$

$$L_{10} = L_{18} - t_{10,18} [t_{10,18} = M = 5] = 44 - 5 = 39$$

$$L_9 = L_{10} - t_{9,10} [t_{9,10} = L = 4] = 39 - 4 = 35$$

$$L_8 = L_9 - t_{8,9} [t_{8,9} = K = 4] = 35 - 4 = 31$$

$$L_7 = L_{18} - t_{7,18} [t_{7,18} = I = 13] = 44 - 13 = 31$$

$$\begin{aligned} L_6 &= \text{Min}\{L_j - t_{6,j}\} [j = 18,8,7] \\ &= \text{Min}\{L_{18} - t_{6,18}; L_{18} - t_{6,8}; L_7 - t_{6,7}\} \\ &= \text{Min}\{44 - 9; 31 - 4; 31 - 10\} \\ &= \text{Min}\{35; 27; 21\} \\ &= 21 \end{aligned}$$

$$L_5 = L_6 - t_{5,6} [t_{5,6} = E = 5] = 21 - 5 = 16$$

$$L_4 = L_5 - t_{4,5} [t_{4,5} = D = 5] = 16 - 5 = 11$$

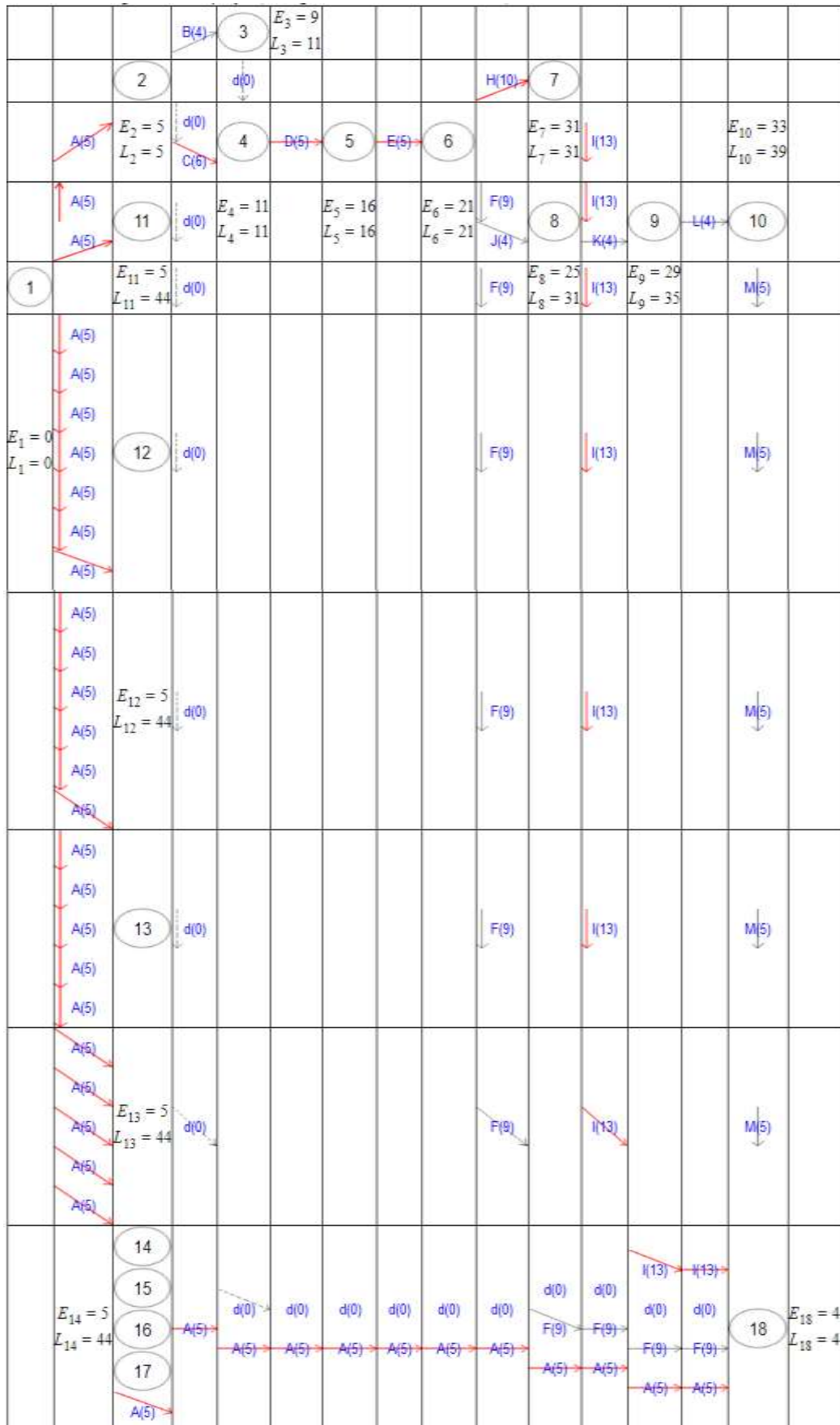
$$L_3 = L_5 - t_{3,4} [t_{3,4} = d = 0] = 11 - 0 = 11$$

$$\begin{aligned} L_2 &= \text{Min}\{L_j - t_{2,j}\} [j = 18,4,3] \\ &= \text{Min}\{L_{18} - t_{2,18}; L_4 - t_{2,4}; L_3 - t_{2,3}\} \\ &= \text{Min}\{44 - 0; 11 - 6; 11 - 4\} \\ &= \text{Min}\{44; 5; 7\} \\ &= 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_1 &= \text{Min}\{L_j - t_{1,j}\} [j = 18,17,16,15,14,13,12,11,2] \\ &= \text{Min}\left\{L_{18} - t_{1,18}; L_{17} - t_{1,17}; L_{16} - t_{1,16}; L_{15} - t_{1,15}; L_{14} - t_{1,14}; L_{13} - t_{1,13}; L_{12} - t_{1,12}; L_{11} - \right. \\ &\quad \left. t_{1,11}; L_2 - t_{1,2}\right\} \\ &= \text{Min}\{44 - 5; 44 - 5; 44 - 5; 44 - 5; 44 - 5; 44 - 5; 44 - 5; 44 - 5; 5 - 5\} \\ &= \text{Min}\{39; 39; 39; 39; 39; 39; 39; 39; 0\} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Diagram Critical Path

Hasil perhtingan ES dan LS digunakan sebagai penentuan jalur kritis. Jalur kritis di gambarkan sebagai berikut:



Aktivitas pekerjaan non-kritis, perhitungan total float, free float, dan independent float dari optimasi CPM dan Firefly Algorithm ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 3. Rincian *Work Breakdown Structure* CPM dan FA

Activity (i,j) (1)	Duration (t_{ij}) (2)	Earliest time Start (E_i) (3)	(E_j) (4)	(L_i) (5)	Latest time Finish (L_j) (6)	Earliest time Finish ($E_i + t_{ij}$) (7) = (3) + (2)	Latest time Start ($L_j - t_{ij}$) (8) = (6) - (2)	Total Float ($L_j - t_{ij}$) - E_i (9) = (8) - (3)	Free Float ($E_j - E_i$) - t_{ij} (10) = ((4) - (3)) - (2)	Independent Float ($E_j - L_i$) - t_{ij} (11) = ((4) - (5)) - (2)
1-11	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-12	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-13	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-14	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-15	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-16	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-17	5	0	5	0	44	5	39	39	0	0
1-18	5	0	44	0	44	5	39	39	39	39
2-3	4	5	9	5	11	9	7	2	0	0
2-18	0	5	44	5	44	5	44	39	39	39
3-4	0	9	11	11	11	9	11	2	2	0
6-8	4	21	25	21	31	25	27	6	0	0
6-18	9	21	44	21	44	30	35	14	14	14
8-9	4	25	29	31	35	29	31	6	0	-6
9-10	4	29	33	35	39	33	35	6	0	-6
10-18	5	33	44	39	44	38	39	6	6	0

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dikemukakan maka penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut: Parameter pada Algoritma Firefly yang digunakan meliputi $\alpha = \text{rand}(0,1)$, $\beta = \text{rand}(0,1)$, dan $\gamma = 500$. Durasi optimal pekerjaan proyek sesuai dengan *Work Breakdown Structure* minimal adalah 44 hari dengan jalur kritis/ *Critical Path* dengan menggunakan CPM dan Firefly algoritma sesuai perhtingan ES dan LS sebagai berikut: 2, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Analisis data pekerjaan sangat dibutuhkan untuk menghindari ketidak sesuaian predesesor/ *dependence variable* yang mengakibatkan keterlambatan pelaksanaan pekerjaan.
2. Pemendekan durasi dapat dilakukan dengan cara CPM, dengan menggunakan data dari pekerjaan sementara yang telah berjalan
3. Optimasi CPM dapat di gabungkan dengan beberapa variabel lain, seperti denda keterlambatan atau intensif percepatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, B. Y. (2017). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Mengajar Pratikum Asisten Laboratorium Sistem Dan Jaringan Komputer Di ... *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.

- 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.
- K. S. & C. Maufrais (2020), *Introduction to Programming using Python*, Boston.
- 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 Linier Matematika. *Journal of Research in Science and Mathematics Education (J-RSME)*, 1(2), 87–95.
<https://doi.org/10.56855/jrsme.v1i2.62>