

***Critical Path Method* dan Algoritma Genetika untuk Optimasi Durasi dan Biaya Pembangunan**

Wahdania A.T. Ja'a¹, Muhammad Rifai Katili², Djihad Wungguli^{1*}, Nisky Imansyah Yahya¹

¹Jurusan Matematika, Universitas Negeri Gorontalo, Bone Bolango 96554, Indonesia

²Jurusan Teknik Informatika, Universitas Negeri Gorontalo, Bone Bolango 96554, Indonesia

*Penulis Korespondensi. Email: djihad@ung.ac.id

Abstrak

Suatu proyek yang besar memerlukan penjadwalan yang tepat untuk memperoleh durasi pembangunan serta biaya yang optimal. Optimalisasi merupakan proses pengajuan durasi proyek untuk mendapatkan solusi yang efisien dengan menggunakan berbagai alternatif yang dapat ditinjau dari segi biaya serta waktu. Dipilih *Critical Path Method* dan *Algoritma Genetika* sebagai metode yang efektif untuk merencanakan serta mengendalikan jadwal adalah *Critical Path Method*, karena metode ini mempertimbangkan asumsi waktu maka pelaksanaan proyek dilakukan tanpa memikirkan sumber daya dan juga bisa menentukan kapan suatu kegiatan dimulai dan kapan berakhirnya proyek. Sedangkan metode *Algoritma Genetika* merupakan metode yang dapat memberikan hasil yang cepat dan efisien dalam membentuk jadwal proyek. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa telah berhasil mendapatkan Nilai optimasi dengan meminimalkan durasi proyek menggunakan *CPM (Critical Path Method)* adalah 199 hari dari total waktu proyek pembangunan puskesmas biau 210 hari kerja. dan biaya yang timbul karena adanya optimalisasi tersebut menggunakan *Algoritma Genetika* sebesar Rp. 231.515.082 dari biaya awal proyek sebesar Rp.382.784.000.

Kata Kunci: Optimasi; *Critical Path Method*; Algoritma Genetika

Abstract

A large project requires proper scheduling to obtain the duration of development and costs incurred more optimally. Optimization is submitting the project duration efficient solution by using various alternatives that can be reviewed in terms of cost and time. Optimization problems can be solved using operating research. Selected Critical Path Method and Genetic Algorithm as a compelling method for planning and an methods rolling schedules the Critical Method because this method considers the assumption of time, then the implementation of the project is done without thinking about resources and can also determine when an activity starts and when the end of the project. While the Genetic Algorithm method is a method that can provide quick and efficient results in forming a project schedule. Based on the results of the study obtained that has managed to get the optimization value by minimizing the duration of the project using CPM (Critical Path Method) is 199 days from the total project time of the construction of the health center Biau 210 working days. and the costs incurred due to the optimization using genetic algorithms amounted to Rp. 231,515,082 from the initial cost of the project of Rp.382,784,000.

Keywords: Optimization; *Critical Path Method*; Genetic Algorithms

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan mendorong perkembangan dibidang pembangunan. Suatu proyek yang besar tentu saja memerlukan penjadwalan yang tepat untuk memperoleh durasi pembangunan serta biaya yang dikeluarkan lebih optimal. Optimalisasi merupakan proses pengajuan durasi proyek untuk mendapatkan solusi yang efisien (optimal) dengan menggunakan berbagai alternatif yang dapat ditinjau dari segi biaya serta waktu. Masalah optimasi dapat diselesaikan menggunakan riset operasi. Riset operasi merupakan metode untuk merumuskan

permasalahan serta memformulasikan baik pada bisnis, sosial, ekonomi maupun bidang lainnya ke dalam pemodelan matematis agar dapat memperoleh solusi yang optimal [1]. Salah satu permasalahan yang biasanya diselesaikan dengan riset operasi adalah masalah proyek pembangunan suatu gedung.

Pada pembangunan Gedung diperlukan adanya suatu penanganan manajemen penjadwalan yang baik, karena penjadwalan kerja membutuhkan perhitungan yang cermat sehingga perlu ditangani dengan teliti. Sebuah proyek dikatakan berhasil jika penyelesaian efisien dilihat dari kerja yang efektif baik bagi pekerja ataupun alat yang digunakan [2]. Keterlambatan penyelesaian proyek merupakan masalah yang sering muncul dan berdampak pada keseluruhan pekerjaan proyek. Untuk mengantisipasi keterlambatan tersebut, maka dilakukan dengan beberapa alat pengendalian [3]. Dalam suatu proyek sangat diperlukan optimalisasi untuk estimasi durasi waktu dan biaya yang harus dikeluarkan. Optimalisasi dilakukan untuk mengurangi kendala untuk mendapatkan hasil yang efisien dari sumber daya yang dioptimalkan.

Dari hasil wawancara yang dilakukan dengan konsultan proyek Puskesmas Biau Kabupaten Gorontalo Utara, diketahui perencanaan waktu pembangunan proyek tidak bisa dipastikan apakah selesai dengan waktu yang sudah ditentukan, karena dalam pelaksanaan pengerjaan proyek tidak terlepas dari kendala keterlambatan waktu yang dialami proyek pada umumnya, Sehingga pelaksanaan pengerjaan proyek pembangunan Puskesmas Biau ini konsultan melihat faktor yang menyebabkan keterlambatan sebuah proyek. Adapun faktor yang menyebabkan keterlambatan proyek yaitu keterlambatan terkait material, keterlambatan terkait tenaga kerja, keterlambatan terkait peralatan, perencanaan yang tidak sesuai, kurangnya personil secara teknis, dan pelaksanaan kerja yang tidak sesuai dengan metode. Hal ini menyebabkan tidak bisa ditentukan kapan berakhirnya pembangunan proyek tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan suatu solusi yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan perencanaan proyek diantaranya *Critical Path Method*.

Critical Path Method (CPM) pada dasarnya adalah merupakan metode yang berorientasi pada waktu, dalam arti bahwa CPM akan berakhir pada penentuan waktu. Metode ini mengidentifikasi jalur kritis pada aktivitas yang ditentukan ketergantungan antar aktifitasnya [4]. Jalur Kritis adalah suatu deretan kegiatan kritis yang menentukan jangka waktu penyelesaian bagi keseluruhan proyek [5]. Sedangkan aktifitas merupakan tugas spesifik yang mempunyai hasil yang dapat diukur dari durasi pengerjaannya [6]. Beberapa penelitian mengenai CPM yang pernah dilakukan sebelumnya diantaranya dilakukan Ulfa *et.al.* [7]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jaringan kerja atau network jalur kritis, mengetahui waktu yang optimal, serta menganalisis perkiraan total biaya pada proyek dengan menggunakan metode CPM. Penelitian lainnya dilakukan Ilwaru *et.al.* [8], penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jalur kritis yang di dalamnya terdapat aktivitas-aktivitas kritis dan membandingkan penjadwalan waktu antara waktu kerja yang di jadwalkan pemilik proyek dan waktu kerja yang di jadwalkan dengan metode CPM. Wibowo *et.al.* [9] melakukan penelitian CPM dengan memodelkan semua mata kuliah dalam bentuk jaringan yang saling terhubung. Dalam pendekatan ini, durasi waktu tempuh semua mata kuliah sudah diketahui. Setelah input penjadwalan selesai, dapat dibuat sebuah bagan jaringan antar mata kuliah.

Selain penelitian yang hanya menggunakan metode CPM, terdapat beberapa penelitian yang menggunakan kombinasi CPM dengan metode lainnya diantaranya dilakukan Safitri *et. al.* [10] yang menggunakan metode CPM dan *Precedence Diagram Method* untuk menyelesaikan optimasi penjadwalan proyek. Hasil penelitian didapatkan waktu yang efisien dan biaya yang lebih optimal. Muzdalifah *et. al.* [11] melakukan penelitian untuk mengembangkan penjadwalan proyek yang realistis dengan mengintegrasikan dua komponen proyek, yaitu optimasi waktu dan biaya harian. Metode yang digunakan merupakan kombinasi dari metode CPM dan *Cuckoo Search*. Sa'adah *et.al.* [12] menggunakan metode CPM yang digunakan untuk menganalisis lintasan kritis yang fokus pada pekerjaan struktur beton dan menggunakan metode *Crashing* untuk mengetahui perbandingan biaya dan waktu akibat adanya percepatan (*crashing*).

Berdasarkan uraian di atas, dalam artikel ini akan dilakukan kombinasi metode CPM dan Algoritma Genetika untuk masalah optimasi penjadwalan proyek Pembangunan Puskesmas Biau Kabupaten Gorontalo Utara. Penelitian ini untuk mengetahui durasi proyek yang optimal dan biaya yang timbul karena adanya optimalisasi tersebut. Metode CPM digunakan untuk merencanakan serta mengendalikan jadwal karena metode ini mempertimbangkan asumsi waktu maka pelaksanaan proyek dilakukan tanpa memikirkan sumber daya. Selain itu CPM dapat menentukan kapan suatu kegiatan dimulai dan kapan berakhirnya proyek. Sedangkan metode Algoritma Genetika dimaksudkan untuk memberikan hasil yang cepat dan efisien dalam membentuk jadwal proyek. Tujuan dua metode ini digunakan untuk menentukan durasi serta biaya proyek yang lebih optimal, selain itu juga dapat mengkoordinasi dan mengontrol penyelesaian proyek dengan biaya yang lebih optimal serta jangka waktu yang efisien.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan studi kasus proyek pembangunan Puskesmas Biau Kabupaten Gorontalo Utara. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan pertama adalah merumuskan masalah yang akan diteliti, mempelajari referensi, setelah itu dilakukan pengumpulan data dan mengolah data menggunakan *Critical Path Method* dan Algoritma Genetika. Data diolah menggunakan *Critical Path Method* untuk mencari durasi optimal dan Algoritma Genetika menentukan biaya dari optimalisasi durasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer yang diperoleh dari konsultan proyek puskesmas Biau Kabupaten Gorontalo Utara. Adapun data yang didapatkan dari proyek yaitu variabel durasi dan biaya proyek. Tahapan dalam CPM yang pertama ialah membuat diagram jaringan setelah diagram jaringan terbentuk kemudian hubungan antar simbol dan urutan kegiatan untuk mendapatkan jalur kritis dari kegiatan proyek tersebut dan mencari tenggang waktu kegiatan untuk memperoleh durasi optimal dari pengerjaan proyek. Sedangkan tahapan Algoritma Genetika yaitu input data merupakan tahapan awal dari olah data AG, setelah input data dibangkitkan populasi awal, *crossover*, dan masuk tahapan mutasi serta mencari nilai fitness terbaik dan kromosom terbaik untuk mendapatkan biaya optimal dari pengerjaan proyek tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem ini menghasilkan sebuah penjadwalan proyek dengan mengoptimasi penjadwalan proyek dengan menggunakan *Critical Path Method* dan Algoritma Genetika dalam menentukan durasi proyek yang optimal dan biaya yang timbul karena adanya optimalisasi. Perhitungan dari sistem yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data kegiatan, durasi, dan biaya proyek Pembangunan Puskesmas Biau. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kegiatan, durasi, dan biaya proyek pembangunan puskesmas Biau

Simbol kegiatan	Uraian kegiatan	Durasi (hari)	Kegiatan pendahulu	Biaya per kegiatan (RP)
A	Penimbunan	13	-	50.500.000
B	Pemadatan Timbunan	3	A	2.700. 000
C	Bowplank	2	A	740. 000
D	Pondasi	8	B	22.800. 000
E	Sloof	7	C	12.915. 000
F	Tiang Kolom K250	4	D	5.100. 000
G	Naik Bata& Kolom Praktis	14	E, F	39.900. 000
H	Ring Balok	5	G	7.725. 000
I	Plesteran Aci	12	G	18.017. 000
J	Pemasangan Rangka baja Ringan dan Penutup	9	H, I	25.500. 000
K	Pemasangan Keramik Dinding	4	J	3.600. 000

Simbol kegiatan	Uraian kegiatan	Durasi (hari)	Kegiatan pendahulu	Biaya per kegiatan (RP)
L	Pemasangan Keramik Lantai	10	K	14.700.000
M	Pemasangan Plafond/Gypsum	13	L	10.725.000
N	Instalasi Jaringan Listrik	6	M	8.640.000
O	Penataan Halaman Dalam	7	N	3.780.000
P	Pemasangan Kusen & Daun Jendela	18	O	8.892.000
Q	Instalasi Air Kotor	6	P	1.885.000
R	Instalasi Air Bersih	4	Q	1.900.000
S	Pengecetan Luar Dalam	13	R	8.125.000
T	Pekerjaan Tembok Bata Pagar	10	S	22.000.000
U	Pekerjaan Kangsting	3	T	840.000
V	Pemasangan Paving	14	U	21,300.000
W	Pekerjaan Rumah Mesin	8	V	4.840.000
X	Pekerjaan Sumur Bor	1	W	6.000.000
Y	Pemasangan ACP, Logo Dan Tulisan Nama	4	X	17.500.000
Z	Pekerjaan Logo Pagar Besi Dan Pintu Gerbang	6	Y	5.980.000
AA	Pekerjaan pagar Kawat Duri	4	Z	1.880.000
AB	Pembersihan	2	AA	300.000

3.1 Optimasi Menggunakan CPM

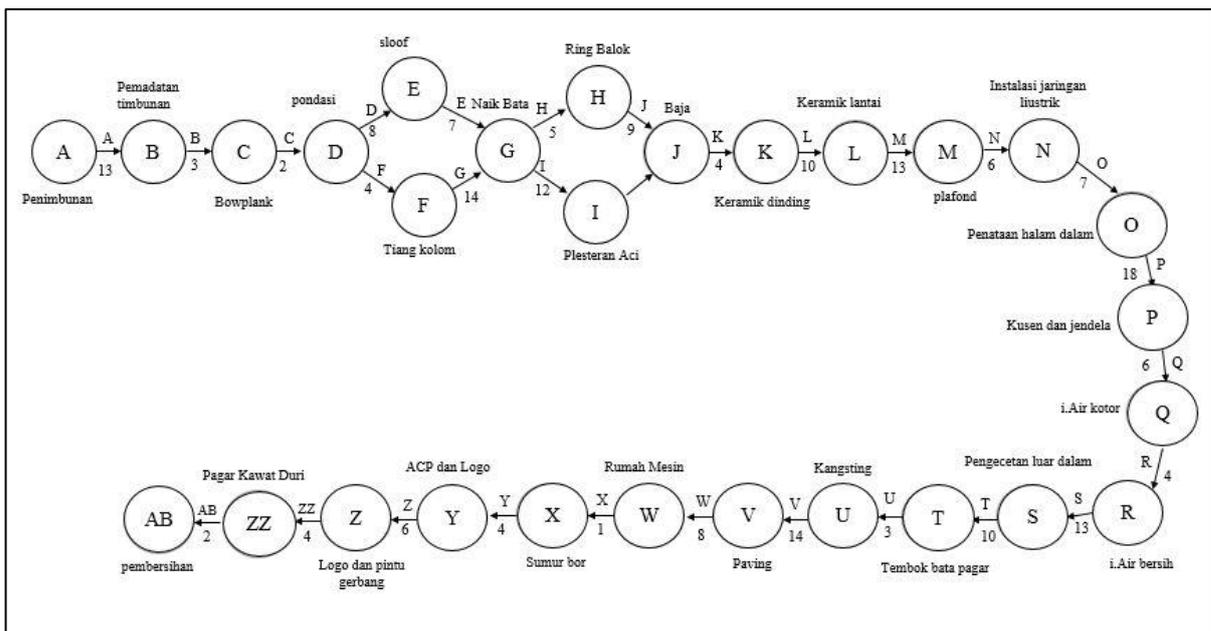
Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jadwal kegiatan dan durasi aktivitas. Data tersebut diperoleh dari data primer yang didapatkan langsung dari wawancara konsultan proyek dan observasi langsung dilapangan. Untuk memudahkan dalam menggambarkan jaringan kerja, maka setiap aktivitas dapat diurutkan berdasarkan waktu penyelesaian kegiatan. Selain itu pembuatan jaringan kerja menggunakan metode CPM yang menggambarkan hubungan antara komponen-komponen kegiatan serta menjelaskan arus proyek dari awal suatu kegiatan dimulai hingga berakhirnya atau terselesaikannya proyek tersebut. Untuk data durasi waktu dan urutan kegiatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data urutan kegiatan

No	Uraian kegiatan	Aktivitas	Durasi (hari)	Kegiatan pendahulu	Biaya per kegiatan (RP)
1	Penimbunan	A	13	-	50.500.000
2	Pemadatan Timbunan	B	3	A	2.700.000
3	Bowplank	C	2	A	740.000
4	Pondasi	D	8	B	22.800.000
5	Sloof	E	7	C	12.915.000
6	Tiang Kolom K250	F	4	D	5.100.000
7	Naik Bata& Kolom Praktis	G	14	E, F	39.900.000
8	Ring Balok	H	5	G	7.725.000
9	Plesteran Aci	I	12	G	18.017.000
10	Rangka baja Ringan dan Penutup	J	9	H, I	25.500.000
11	Pemasangan Keramik Dinding	K	4	J	3.600.000
12	Pemasangan Keramik Lantai	L	10	K	14.700.000
13	Pemasangan Plafond/Gypsum	M	13	L	10.725.000
14	Instalasi Jaringan Listrik	N	6	M	8.640.000
15	Penataan Halaman Dalam	O	7	N	3.780.000
16	Pemasangan Kusen & Daun Jendela	P	18	O	8.892.000
17	Instalasi Air Kotor	Q	6	P	1.885.000

No	Uraian kegiatan	Aktivitas	Durasi (hari)	Kegiatan pendahulu	Biaya per kegiatan (RP)
18	Instalasi Air Bersih	R	4	Q	1.900. 000
19	Pengecetan Luar Dalam	S	13	R	8.125. 000
20	Pekerjaan Tembok Bata Pagar	T	10	S	22.000. 000
21	Pekerjaan Kangsting	U	3	T	840. 000
22	Pemasangan Paving	V	14	U	21,300. 000
23	Pekerjaan Rumah Mesin	W	8	V	4.840. 000
24	Pekerjaan Sumur Bor	X	1	W	6.000. 000
25	ACP,Logo Dan Tulisan Nama	Y	4	X	17.500. 000
26	Logo Pagar Besi & Pintu Gerbang	Z	6	Y	5.980. 000
27	Pekerjaan pagar Kawat Duri	ZZ	4	Z	1.880. 000
28	Pebersihan	AB	2	AA	300. 000

Pada Tabel 2 menunjukkan urutan kegiatan, durasi waktu dan kegiatan yang mendahului untuk selanjutnya akan membentuk jaringan kerja seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Jaringan Kerja

Mengacu pada jaringan kerja seperti Gambar 1, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur, perhitungan maju dilakukan untuk mengetahui *Earliest Start* (ES) dan *Earliest Finish* (EF). Sedangkan perhitungan mundur akan mengetahui *Lates Start* (LS) dan *Lates Finish* (LF). Adapun rumus untuk menghitung adalah sebagai berikut:

$$ES(n + 1) = ES + Durasi$$

Setelah diketahui nilai ES, EF, LS dan LF pada masing-masing kegiatan, maka selanjutnya akan mencari *Free Float* (FF) dan *Total Float* (TF) untuk mengetahui kegiatan kritis. Adapun rumus untuk menghitung adalah:

$$FF = EF - ES - D$$

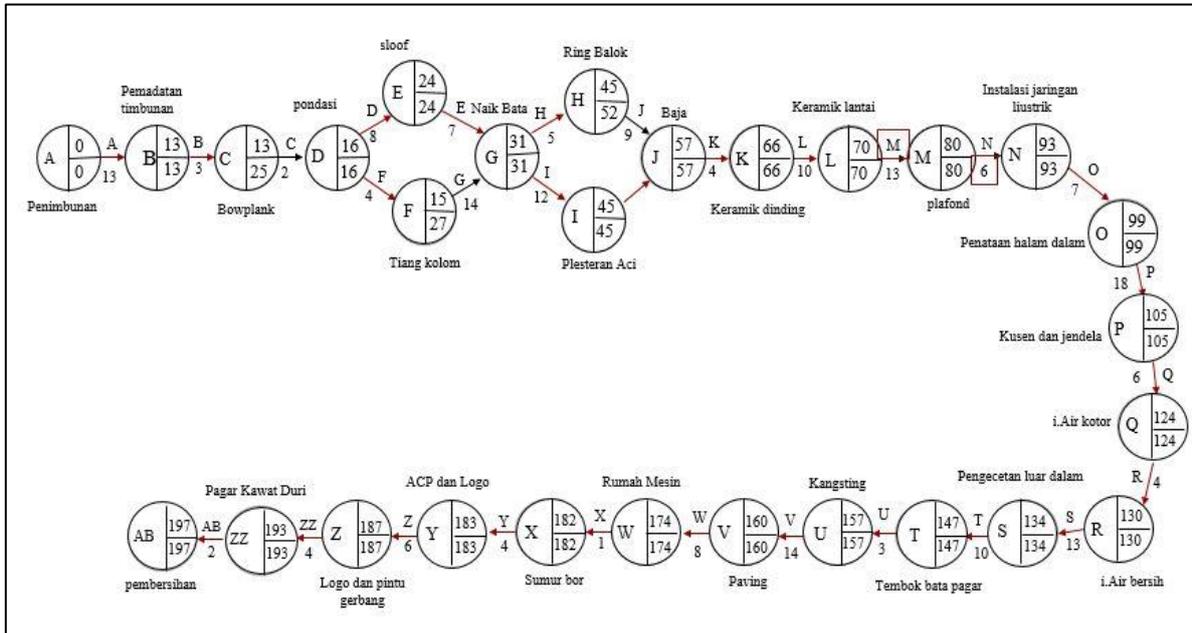
Langkah selanjutnya menentukan suatu kegiatan yang termasuk kedalam kegiatan kritis, yaitu apabila nilai FF dan TF adalah nol. Kegiatan yang termasuk jalur kritis dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Tabel 3. Hasil analisa jalur kritis (CPM)

Uraian kegiatan	Durasi (hari)	Kegiatan pendahulu	Early		Lates		Float/Slack		KET
			ES	EF	LS	LF	FF	TF	
Penimbunan	13	-	0	13	0	13	0	0	Kritis
Pemadatan Timbunan	3	A	13	16	13	16	0	0	Kritis
Bowplank	2	A	13	15	25	27	12	12	Tidak Kritis
Pondasi	8	B	16	24	18	24	0	0	Kritis
Sloof	7	C	24	31	24	31	0	0	Kritis
Tiang Kolom K250	4	D	15	19	27	31	12	12	Tidak Kritis
Naik Bata& Kolom Praktis	14	E, F	31	45	31	45	0	0	Kritis
Ring Balok	5	G	45	50	52	57	7	7	Tidak Kritis
Plesteran Aci	12	G	45	57	45	57	0	0	Kritis
Rangka baja Ringan dan Penutup	9	H, I	57	68	57	66	0	0	Kritis
Pemasangan Keramik Dinding	4	J	66	70	66	70	0	0	Kritis
Pemasangan Keramik Lantai	10	K	70	80	70	80	0	0	Kritis
Pemasangan Plafond/Gypsum	13	L	80	93	80	93	0	0	Kritis
Instalasi Jaringan Listrik	6	M	93	99	93	99	0	0	Kritis
Penataan Halaman Dalam	7	N	99	106	99	106	0	0	Kritis
Pemasangan Kusen & Daun Jendela	18	O	105	124	105	124	0	0	Kritis
Instalasi Air Kotor	6	P	124	130	124	130	0	0	Kritis
Instalasi Air Bersih	4	Q	130	134	130	134	0	0	Kritis
Pengecatan Luar Dalam	13	R	134	147	134	147	0	0	Kritis
Pekerjaan Tembok Bata Pagar	10	S	147	157	147	157	0	0	Kritis
Pekerjaan Kangsting	3	T	157	160	157	160	0	0	Kritis
Pemasangan Paving	14	U	160	174	160	174	0	0	Kritis
Pekerjaan Rumah Mesin	8	V	174	182	174	182	0	0	Kritis
Pekerjaan Sumur Bor	1	W	182	183	182	183	0	0	Kritis
Pasangan ACP Logo & tulisan nama	4	X	183	187	183	187	0	0	Kritis
Logo Pagar Besi Dan Pintu Gerbang	6	Y	187	193	187	193	0	0	Kritis
Pekerjaan pagar Kawat Duri	4	Z	193	197	193	197	0	0	Kritis
Pebersihan	2	AA	197	199	197	199	0	0	Kritis

Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan durasi proyek 199 hari waktu kegiatan. Dan menunjukkan nilai slack setiap simbol kegiatan. Nilai *slack* nol (0) merupakan nilai dari $ES-LS=0$, dimana nilai itu menunjukkan jalur kritis. Sehingga jalur kritisnya adalah 1-2-4-6-8-28. Dalam pelaksanaan proyek pembangunan Puskesmas Biau Kabupaten Gorontalo Utara terdapat jalur kritis pada beberapa aktivitas kegiatan. Adapun yang termasuk pada lintasan kritis yaitu aktivitas Penimbunan, Pemadatan Timbunan, Pondasi, Sloof, Naik Bata& Kolom Praktis, Plesteran Aci, pemasangan keramik dinding, pemasangan keramik lantai, Pemasangan Plafond/Gypsum, Instalasi

Jaringan Listrik, Penataan Halaman Dalam, Pemasangan Kusen dan Daun Jendela, Instalasi Air Kotor, Instalasi Air bersih, Pengecetan Luar Dalam, Pekerjaan Tembok Bata Pagar, Pekerjaan Kangsting, Pemasangan Paving, Pekerjaan Rumah Mesin, Pekerjaan Sumur Bor, Pemasangan ACP, Logo Dan Tulisan Nama, Pekerjaan Logo Pagar Besi Dan Pintu Gerbang, Pekerjaan pagar Kawat Duri, dan aktivitas pembersihan. Dari Tabel 3, dapat diketahui aktivitas yang termasuk ke dalam jalur kritis pada kegiatan A, B, D, E, G, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, Z, Y, Z, ZZ, $AB=13+3+8+7+14+12+9+4+10+13+6+7+18+6+4+13+10+3+14+8+1+4+6+4+2= 199$ hari.



Gambar 2. Jalur kritis

3.2 Optimasi Menggunakan Algoritma Genetika

Algoritma Genetika adalah algoritme pencarian yang didasarkan pada mekanisme seleksi alamiah dan genetika alamiah [13]. Solusi awal metode Algoritma Genetika dimulai dengan pengambilan sejumlah populasi secara random. Hasil random awal akan menjadi induk dari proses generasi selanjutnya. Jika suatu individu memenuhi persyaratan dalam menjalani proses evolusi, maka individu yang mencapai tujuan tersebut akan mempunyai kesempatan lebih untuk dipilih menjadi individu terbaik. Sedangkan individu yang tidak sesuai akan dibuang atau diabaikan [14]. Untuk menghasilkan suatu solusi optimal, Algoritma Genetika melakukan proses pencarian diantara sejumlah alternatif titik optimal berdasarkan fungsi probabilistic [15]. Berikut tahapan dalam optimasi dalam Algoritma Genetika.

1. Input Data

Pada proses ini dilakukan pendataan data. Pada optimasi penjadwalan proyek maka input data dapat berupa jenis-jenis kegiatan beserta hubungan ketergantungan antara jenis kegiatan, waktu dan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut yang disajikan pada Tabel 1.

2. Populasi Awal

Populasi awal merupakan kumpulan solusi acak. Populasi awal adalah kumpulan awal dari beberapa kromosom yang di harapkan nanti akan menghasilkan suatu kromosom baru yang merupakan solusi yang efisien. Pada kasus penjadwalan proyek kromosom dapat berupa jaringan kerja proyek.

Dari Tabel 4. Kromosom merupakan urutan jenis kegiatan dari penjadwalan proyek, dan kromosom dibentuk oleh sejumlah gen dimana gen tersebut merupakan waktu suatu kegiatan dalam pelaksanaan proyek seperti kromosom 1 terdiri dari kumpulan gen X1, X2, X128 berisi bilangan

bulat positif yang merupakan saat pelaksanaan kegiatan proyek. Pada kromosom 1 dapat dijelaskan bahwa gen X1 mempunyai nilai 1 menunjukkan bahwa kegiatan A dilaksanakan pada minggu ke 1, gen X7 mempunyai nilai 2 menunjukkan bahwa kegiatan J dilaksanakan pada minggu ke 14, dan seterusnya sampai dengan gen X28 yang mempunyai nilai 30 yang menunjukkan bahwa kegiatan AB dilaksanakan pada minggu ke 30.

Tabel 4. Inisialisasi populasi awal

Kromosom	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	...	X26	X27	X28
Kromosom1	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom2	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom3	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom4	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom5	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom6	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom7	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom8	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom9	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30
Kromosom10	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14		28	30	30

3. Menentukan nilai *fitness*

Proses ini dilakukan dengan memperhatikan aturan yang telah ditetapkan sebelumnya. Setiap kromosom akan diperiksa satu persatu dan dibandingkan dengan kromosom lainnya sesuai dengan aturan. Pembentukan susunan kromosom pada suatu populasi baru dilakukan dengan menggunakan metode seleksi *roulette-wheel*. Langkah pertama metode ini adalah menghitung total nilai *fitness* seluruh kromosom seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Total nilai *fitness*

Kromosom	Nilai <i>Fitness</i>
1	0.25
2	0.5
3	0.25
4	0.5
5	0.25
6	0.2
7	0.5
8	0.25
9	0.2
10	0.2
Total Nilai <i>Fitness</i>	3.10

Langkah kedua adalah menghitung probabilitas setiap kromosom atau urutan kegiatan proyek dengan cara membagi nilai *fitness* tiap kromosom dengan total nilai *fitness*. Sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Probabilitas tiap kromosom

Kromosom	Probabilitas
1	$0.25 / 3.10 = 0.081$
2	$0.5 / 3.10 = 0.161$
3	$0.25 / 3.10 = 0.081$
4	$0.5 / 3.10 = 0.161$
5	$0.25 / 3.10 = 0.081$
6	$0.2 / 3.10 = 0.065$

Kromosom	Probabilitas
7	$0.5 / 3.10 = 0.161$
8	$0.25 / 3.10 = 0.081$
9	$0.2 / 3.10 = 0.065$
10	$0.2 / 3.10 = 0.065$
Total	1

Langkah ketiga adalah menempatkan masing-masing kromosom atau urutan kegiatan proyek pada interval nilai [0-1] seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Kromosom interval

Kromosom	Interval Nilai	Kromosom	Interval Nilai
1	0 – 0.081	6	0.406 – 0.486
2	0.082 – 0.162	7	0.487 – 0.567
3	0.163 – 0.243	8	0.568 – 0.648
4	0.244 – 0.324	9	0.729 – 0.810
5	0.325 – 0.405	10	0.811 – 0.891

Untuk menentukan susunan populasi baru hasil seleksi maka dibangkitkan bilangan acak antara [0-1]. Dimisalkan bilangan yang dibangkitkan adalah [0.25;0.1;0.35;0.5;0.75;0.6;0.9;0.65]. seperti yang terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Panjang Kromosom

Kromosom	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X26	X27	X28
Kromosom1	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom2	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom4	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30

4. Crossover (Pindah Silang)

Pindah silang (*CrossOver*) digunakan sebagai metode pemotongan kromosom secara acak (*random*). Metode pindah silang yang paling umum digunakan adalah pindah silang satu titik potong (*one-point* acak (*random*), kemudian bagian pertama dari kromosom induk 1 digabungkan dengan bagian kedua dari kromosom induk 2. Bilangan acak (*random*) yang dibangkitkan untuk menentukan posisi titik potong adalah [1-N] dimana N merupakan banyaknya jumlah gen dalam satu kromosom seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Kromosom induk

Kromosom	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X26	X27	X28
Kromosom1	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom2	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom3	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom4	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30

Tabel 10. Kromosom hasil proses *crossover*

Kromosom	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X26	X27	X28
Kromosom1	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	26	26	26
Kromosom2	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom3	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	29	29
Kromosom4	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	29	29

Dari hasil *crossover* seperti pada Tabel 10, kromosom yang masih memiliki pelanggaran yaitu kromosom 1, 2, dan 4 akan menjalani proses selanjutnya yaitu mutasi. Sedangkan kromosom yang tidak memiliki pelanggaran yaitu kromosom 3 akan disimpan sebagai kromosom yang baik yang nantinya akan digunakan untuk dibandingkan kromosom hasil mutasi.

5. Mutasi

Untuk mendapatkan posisi gen yang akan dimutasi maka perlu dihitung jumlah total gen dalam satu populasi yaitu Total gen = Jumlah gen dalam satu kromosom x Jumlah kromosom yang ada. Berdasarkan contoh yang ada maka total gen adalah = $28 \times 3 = 84$. Probabilitas mutasi umumnya disetarakan [0-1], misalnya 0,1 maka diharapkan mutasi yang terjadi adalah : $0,1 \times 36 = 3,6 = 4$ gen yang akan mengalami mutasi. Pemilihan posisi gen yang akan dimutasi dilakukan secara acak. Diasumsikan gen yang mendapatkan bilangan dibawah probabilitas mutasi adalah gen ke 5, 6, 17, dan 25. Nilai gen yang terkena proses mutasi nilainya akan diganti secara random. Setelah proses berhenti, kromosom hasil mutasi akan dievaluasi. Dapat dilihat pada lampiran 6 olah data untuk proses mutase dan Tabel 11.

Tabel 11. Krompsom hasil proses mutasi

Kromosom	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X26	X27	X28
Kromosom1	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	26	26	26
Kromosom2	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	30	30
Kromosom4	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	28	29	29

Tabel 12. Kromosom terbaik

Kromosom1	2	2	3	5	6	6	8	9	11	14	26	26	26
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

Pada Tabel 12, kromosom 1 dapat dijelaskan bahwa gen X1 mempunyai nilai 1 menunjukkan bahwa kegiatan A dilaksanakan pada minggu ke 2, gen X2 mempunyai nilai A menunjukkan bahwa kegiatan B dilaksanakan pada minggu ke 3, dan seterusnya sampai dengan gen X28 yang mempunyai nilai 3 yang menunjukkan bahwa kegiatan X28 dilaksanakan pada minggu ke 28. Atau Pada hari 178 hari-182 hari.

Hasil akhir dari penelitian ini adalah dihasilkannya suatu penjadwalan proyek yang lebih optimal dalam penyeimbangan biaya per kegiatan (Rp) sebesar Rp.388.000 dimana gen-1 berisi 1 artinya bahwa Pekerjaan ke-1 dilaksanakan pada hari pertama atau hari ke-1, kemudian gen-2 bernilai 1 artinya bahwa Pekerjaan ke-2 juga di laksanakan pada hari pertama, sedangkan gen-1 bernilai 2 artinya bahwa Pekerjaan ke-1 dilaksanakan pada hari ke-2, dan begitu seterusnya sampai pada hari ke-199 hari kerja sebesar Rp. 294.796.000. yang diperoleh dari optimalisasi penjadwalan proyek menggunakan Algoritma Genetika.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa durasi proyek yang optimal dan biaya yang timbul karena adanya optimalisasi dari aktivitas ke 178 selama 210 hari sebesar Rp. 231.515.082. Hasil penjadwalan dengan menggunakan CPM dan Algoritma Genetika merupakan salah satu alternatif bagi para Kontraktor dalam melakukan penjadwalan proyek. Sedangkan Nilai optimasi yang didapatkan dengan meminimalkan durasi proyek menggunakan CPM (Critical Path Method) adalah 199 hari dari total waktu proyek pembangunan puskesmas biau 210 hari kerja. dan biaya yang timbul karena adanya optimalisasi tersebut menggunakan Algoritma Genetika sebesar Rp. 231.515.082 dari biaya awal proyek sebesar Rp.382.784.000.

Referensi

- [1] K. G. S. Juliawan, I. G. M. Darmawiguna, and M. W. A. Kesiman, "Simulasi Metode Penugasan dan Transportasi untuk Pembelajaran Riset Operasional Berbasis Web," *J. Nas. Pendidik. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 3, p. 96, Dec. 2015, doi: 10.23887/janapati.v4i3.9786.
- [2] R. Arifudin, "Optimasi Penjadwalan Proyek Dengan Penyeimbangan Biaya Menggunakan Kombinasi Cpm Dan Algoritma Genetika," *J. Masy. Inform.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–14, 2012, doi: <https://doi.org/10.14710/jmasif.2.4.2649>.

- [3] S. Perdana and A. Rahman, "Penerapan Manajemen Proyek Dengan Metode Cpm (Critical Path Method) Pada Proyek Pembangunan SPBE," *AMALIAH J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 242–250, Feb. 2019, doi: 10.32696/ajpkm.v3i1.235.
- [4] A. Nalhadi and N. Suntana, "Analisa Infrastruktur Desa Sukaci-Baros Dengan Metode Critical Path Method (CPM)," *J. Sist. dan Manaj. Ind.*, vol. 1, no. 1, p. 35, Aug. 2017, doi: 10.30656/jsmi.v1i1.167.
- [5] A. Husen, *Manajemen Proyek : Perencanaan, Penjadwalan, Dan Pengendalian Proyek*, 2nd ed. Yogyakarta: Andi, 2011.
- [6] N. Rosanti, E. Setiawan, and A. Ayuningtyas, "Penggunaan Metode Jalur Kritis Pada Manajemen Proyek (Studi kasus: PT. Trend Communications International)," *J. Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 23, Jan. 2016, doi: 10.24853/jurtek.8.1.23-30.
- [7] S. Ulfa and E. Suhendar, "Implementasi Metode Critical Path Method Pada Proyek Synthesis Residence Kemang," *J. Optimasi Tek. Ind.*, vol. 3, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.30998/joti.v3i1.4167.
- [8] V. Y. I. Ilwaru, D. L. Rahakbauw, and J. Tetimelay, "Penjadwalan Waktu Proyek Pembangunan Rumah Dengan Menggunakan CPM (Critical Path Method)," *BAREKENG J. ILMU Mat. DAN Terap.*, vol. 12, no. 2, pp. 061–068, Dec. 2018, doi: 10.30598/vol12iss2pp061-068ar617.
- [9] N. C. H. Wibowo, M. A. Ulinuha, K. Amalia, F. Y. Hassan, and H. Yahya, "Desain Kurikulum Mahasiswa Teknologi Informasi Uin Walisongo Menggunakan Critical Path Method (CPM)," *Walisongo J. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 53–62, Aug. 2022, doi: 10.21580/wjit.2022.4.1.12292.
- [10] E. Safitri, S. Basriati, and L. Hanum, "Optimasi Penjadwalan Proyek Menggunakan CPM Dan PDM (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Balai Nilah Dan Manasik Haji Kua Kecamatan Kateman Kabupaten Indragiri Hilir)," *J. Sains Mat. Dan Stat.*, vol. 5, no. 2, pp. 17–25, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.24014/jsms.v5i2.7631>.
- [11] L. Muzdalifah, E. Fitri Kurniawati, E. Deise Ulul, and K. Gular Pamitra, "Penjadwalan Proyek Perumahan Dengan Optimasi Waktu Dan Biaya Harian," *J. Ris. dan Apl. Mat.*, vol. 3, no. 2, p. 78, Oct. 2019, doi: 10.26740/jram.v3n2.p78-87.
- [12] N. Sa'adah, E. Iqrammah, and T. Rijanto, "Evaluasi Proyek Pembangunan Gedung Stroke Center (Paviliun Flamboyan) Menggunakan Metode Critical Path Method (CPM) Dan Crashing," *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 55–62, Jan. 2022, doi: 10.26740/proteksi.v3n2.p55-62.
- [13] Suyanto, *Artificial Intelligence : Searching, Reasoning, Planning, dan Learning*, 3rd ed. Bandung: Informatika, 2021.
- [14] I. Robandi, *Artificial Intelligence: Mengupas Rekayasa Kecerdasan Tiruan*. Yogyakarta: ANDI, 2021.
- [15] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*. Wiley, 2003.