

Analisis Percepatan Proyek dengan Metode Crashing pada Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau

Irfan Tangdirussun^{1*}, Geertje E. Kandyoh², Estrellita V. Y. Waney³

^{1,2,3}Program Studi Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado

*e-mail : irfantds19@gmail.com¹, geertje.kandyoh@gmail.com², ewaney@ymail.com³

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
29.06.2026	13.07.2026	21.07.2026	24.07.2026

Abstract : Timely completion of airport infrastructure in remote archipelagic regions, such as Siau, North Sulawesi, is critical for regional connectivity and economic growth, yet limited access and material distribution often threaten construction schedules. This study evaluates schedule acceleration potential for the Siau Airport Development Project's terminal building works using the critical path method combined with crashing through overtime addition. Of 28 activities mapped in an activity on arrow network, forward and backward pass calculations identified 11 critical activities with a normal duration of 560 days. Crashing simulations of 2 hours overtime shortened duration to 446.83 days (20.21% reduction) with a 5.29% cost increase, while 3 hours overtime reduced it to 418.82 days (25.21% reduction) with a 9.00% cost increase. These findings show overtime addition effectively accelerates project duration, offering a reference for accelerating construction decisions in geographically constrained regions.

Keywords : Critical Path Method; Crashing Method; Project Acceleration; Cost Slope; Airport Construction.

Abstrak : Penyelesaian tepat waktu infrastruktur bandar udara di wilayah kepulauan terpencil seperti Siau di Sulawesi Utara, sangat penting bagi konektivitas dan pertumbuhan ekonomi wilayah, namun keterbatasan akses dan distribusi material kerap mengancam jadwal pelaksanaan konstruksi. Penelitian ini mengevaluasi potensi percepatan durasi pada Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau, khususnya pekerjaan gedung terminal, menggunakan metode critical path method dikombinasikan dengan metode crashing melalui penambahan jam kerja lembur. Dari 28 aktivitas pekerjaan yang dipetakan ke dalam jaringan kerja activity on arrow, dan perhitungan maju serta mundur menghasilkan 11 Aktivitas kritis dengan durasi normal 560 hari. Simulasi crashing 2 jam lembur mempersingkat durasi menjadi 446,83 hari (turun 20,21%) dengan kenaikan biaya 5,29%, sementara itu 3 jam lembur menjadi 418,82 hari (turun 25,21%) dengan kenaikan biaya 9,00%. Hasil ini menunjukkan penambahan jam lembur efektif mempercepat durasi proyek dan dapat menjadi rujukan pengambilan keputusan percepatan proyek konstruksi di wilayah dengan keterbatasan geografis.

Kata kunci : Critical Path Method; metode crashing; percepatan proyek; cost slope; konstruksi bandar udara.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi seperti bandar udara dituntut untuk diselesaikan tepat waktu agar segera dapat dimanfaatkan dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi wilayah. Keterlambatan sekecil apa pun dapat berdampak langsung pada aktivitas sosial dan ekonomi yang bergantung padanya. Meski demikian, keberhasilan proyek konstruksi tidak cukup diukur dari tercapainya target waktu sesuai kontrak, tetapi juga dari kemampuan mengelola waktu, sehingga durasi pekerjaan dapat dioptimalkan tanpa mengurangi kualitas hasil pekerjaan (Luqman Hakim et al., 2023). Manajemen proyek yang efektif mengintegrasikan fungsi perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian sumber daya untuk merealisasikan tujuan proyek sesuai batasan waktu, biaya, dan mutu yang telah ditetapkan (Tamalika et al., 2026).

Tantangan pengelolaan waktu ini menjadi lebih kompleks pada proyek berskala besar yang berada di wilayah dengan keterbatasan akses, seperti kawasan kepulauan. Urgensi persoalan ini semakin nyata mengingat proyek infrastruktur di kawasan terpencil secara struktural jauh lebih rentan mengalami keterlambatan jadwal dan pembengkakan biaya dibandingkan proyek di kawasan perkotaan dengan jalur logistik yang lancar. Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau di Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro, Sulawesi Utara, menghadapi tantangan tersendiri dimana distribusi material yang bergantung pada jalur transportasi terbatas, kondisi geografis yang menyulitkan mobilisasi, serta keterbatasan sumber daya di lapangan. ketiganya saling memengaruhi

jalannya pekerjaan. Objek penelitian ini adalah pekerjaan gedung terminal yang terdiri atas 28 item aktivitas, meliputi pekerjaan persiapan, struktur, arsitektur, mekanikal, dan elektrikal. Proyek ini dimiliki oleh Kementerian Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kantor Unit Penyelenggara Bandar Udara Kelas III Naha dan dilaksanakan oleh PT. Anugerah Bangun Kencana – PT. Karya Sejahtera Bangun Kencana, KSO.

Kajian mengenai optimalisasi waktu dan biaya melalui metode *crashing* sebenarnya telah banyak dilakukan pada berbagai proyek konstruksi gedung. (Matahelumual et al., 2022) menunjukkan bahwa penambahan 2 jam lembur pada proyek Gedung Auditorium IAIN Ambon mampu mempercepat durasi sebesar 6,67% dengan kenaikan biaya langsung sebesar 0,09%. (Eliatun & Tjitradi, 2022) membandingkan variasi lembur 1, 2, dan 3 jam pada proyek Gedung X di Banjarmasin dan menyimpulkan bahwa lembur 3 jam memberikan hasil paling optimum. (Ridwan, 2020) menerapkan kombinasi lembur dan sistem shift kerja pada proyek rumah sakit di Malang, dimana sistem shift kerja menghasilkan percepatan durasi sebesar 9,05% dan sistem shift kerja lebih cepat 14,76% dari durasi normal, sementara (Luqman Hakim et al., 2023) pada proyek Gedung Kantor BPJS di Tulungagung dimana dengan alternatif lembur 2 jam menunjukkan durasi proyek dapat dipercepat 31,43% dari durasi normal. (Nugrahaini, 2021) membandingkan metode *crashing* dengan metode *fast track* dan menemukan bahwa *crashing* menghasilkan biaya total yang lebih efisien. (Nukuhehe et al., 2025) juga menerapkan CPM untuk penjadwalan proyek konstruksi gedung Poliklinik FK Universitas Pattimura Ambon sebagai dasar evaluasi jalur kritis.

Namun, mayoritas kajian tersebut berfokus pada proyek gedung di kawasan perkotaan dengan akses logistik yang relatif lancar. Penerapan CPM dan *crashing* pada proyek infrastruktur transportasi, khususnya bandar udara di wilayah kepulauan dengan keterbatasan distribusi material dan kompleksitas geografis, masih sangat jarang dikaji. Di sisi lain, meskipun Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau ini dapat diselesaikan sesuai jadwal tanpa keterlambatan, capaian tersebut belum menjawab pertanyaan mendasar mengenai seberapa jauh durasi pelaksanaan sebenarnya masih dapat dipersingkat, dan berapa konsekuensi biaya yang ditimbulkan apabila kompresi waktu dilakukan. Analisis potensi percepatan durasi tetap krusial sebagai bentuk evaluasi manajerial. Tanpa adanya basis kuantitatif ini, kontraktor dan pemilik proyek tidak memiliki dasar pengambilan keputusan yang cepat apabila kendala tidak terduga seperti cuaca ekstrem atau keterlambatan pasokan material antar pulau muncul pada proyek sejenis di masa mendatang.

Untuk mengisi kesenjangan (*research gap*) tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mensimulasikan percepatan durasi pada pekerjaan gedung terminal Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau. Pendekatan yang digunakan adalah metode *crashing* melalui penambahan jam kerja lembur pada aktivitas yang berada di jalur kritis. Pilihan ini diambil karena dinilai praktis, tidak memerlukan penambahan tenaga kerja baru, serta tidak mengubah struktur organisasi proyek sehingga sumber daya yang tersedia dapat dioptimalkan secara langsung (Umam et al., 2026). Penelitian ini dibatasi secara eksplisit pada beberapa aspek. Objek tinjauan difokuskan pada pekerjaan gedung terminal yang mencakup 28 item aktivitas (meliputi pekerjaan persiapan, struktur, arsitektur, mekanikal, dan elektrikal). Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa jadwal pelaksanaan (*time schedule*) dan rencana anggaran biaya (RAB) dari pihak kontraktor. Analisis dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu penentuan jalur kritis menggunakan metode CPM berbasis jaringan kerja *Activity on Arrow* (AOA) dengan perhitungan maju (*forward pass*) dan mundur (*backward pass*), yang dilanjutkan dengan simulasi *crashing* lewat variasi 2 jam dan 3 jam lembur per hari. Berdasarkan uraian latar belakang dan pembatasan masalah tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah : (1) Bagaimana hasil evaluasi durasi pelaksanaan proyek setelah diterapkan metode *Critical Path Method* (CPM) dan metode *crashing*; dan (2) Berapa besar biaya tambahan yang timbul akibat adanya percepatan durasi tersebut pada variasi lembur 2 jam dan 3 jam. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk : (1) Mengevaluasi durasi pelaksanaan proyek dan menentukan jalur kritis melalui metode *Critical Path Method* (CPM) sebagai dasar penerapan metode *crashing* pada aktivitas-aktivitas kritis; dan (2) Menganalisis besarnya

percepatan durasi serta konsekuensi biaya yang ditimbulkan pada dua variasi penambahan jam lembur, sehingga hasilnya dapat menjadi bahan pertimbangan kuantitatif bagi kontraktor dan pemilik proyek dalam pengambilan keputusan manajemen waktu pada proyek infrastruktur di wilayah kepulauan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau yang berlokasi di Kabupaten Siau Tagulandang Biaro, Provinsi Sulawesi Utara, dengan objek penelitian berupa Pekerjaan Pembangunan Gedung Terminal. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa jadwal pelaksanaan (*time schedule*) dan rencana anggaran biaya (RAB) yang diperoleh dari kontraktor pelaksana, PT Anugerah Bangun Kencana – PT Karya Sejahtera Bangun Kencana (KSO). Data dikumpulkan melalui studi dokumentasi dan diperkuat dengan studi literatur dari buku, jurnal ilmiah, serta standar manajemen proyek seperti PMBOK (PMI, 2021) dan referensi teknik penjadwalan (Fariatmojo & Utomo, 2022). Pemilihan data sekunder ini konsisten dengan sifat penelitian yang menitikberatkan pada analisis perencanaan dan simulasi percepatan, buka pengamatan perilaku pekerja di lapangan secara langsung. Analisis data dilakukan secara bertahap dengan mengombinasikan *critical path method* (CPM) dan *metode crashing*. Untuk tahapan perhitungan CPM mengikuti alur yang diadaptasi dari (Avinika Ningtyas et al., 2025). Tahap awal adalah menyusun *work breakdown structure* (WBS) untuk memetakan seluruh aktivitas berdasarkan lingkup proyek, dilanjutkan dengan penyusunan *network diagram* berbasis pendekatan *Activity on Arrow* (AOA) guna menggambarkan hubungan ketergantungan antaraktivitas sesuai urutan pelaksanaan di lapangan. Pada perhitungan metode CPM terdapat dua tahap perhitungan, yakni Perhitungan maju (*forward pass*) digunakan untuk memperoleh waktu mulai dan selesai paling awal setiap aktivitas, dirumuskan sebagai berikut : $EF = ES + D$ (1) dengan EF sebagai waktu selesai paling awal (*early finish*), ES waktu mulai paling awal (*early start*), dan D durasi aktivitas. Perhitungan mundur (*backward pass*) menentukan waktu mulai dan selesai paling lambat, dirumuskan sebagai berikut : $LS = LF - D$ (2) dengan LS sebagai waktu mulai paling lambat (*late start*) dan LF waktu selesai paling lambat (*late finish*) (Ramadhan et al., 2023). Setelah diketahui nilai ES – EF dan LS – LF pada semua aktivitas, selanjutnya menentukan float, dapat didefinisikan sejumlah waktu yang memungkinkan untuk menunda atau perlambat kegiatan (Astari et al., 2021). Float terbagi menjadi tiga, yaitu *total float*, $TF = LF - ES - D$ (3) yang menunjukkan toleransi keterlambatan suatu aktivitas tanpa memengaruhi durasi total proyek; *free float*, $FF = ES \text{ aktivitas penerus} - EF \text{ aktivitas}$ (4) yang membatasi toleransi keterlambatan tanpa mengganggu waktu mulai aktivitas berikutnya; serta *independent float*, $IF = ES \text{ aktivitas penerus} - LF \text{ aktivitas pendahulu} - D$ (5) yang mengukur toleransi keterlambatan tanpa memengaruhi aktivitas sebelum maupun sesudahnya, dengan nilai dianggap nol apabila hasil perhitungannya negatif. Aktivitas dengan $TF = 0$ dikategorikan kritis, dan rangkaian aktivitas tersebut membentuk jalur kritis yang menentukan durasi minimum proyek sekaligus menjadi fokus analisis percepatan.

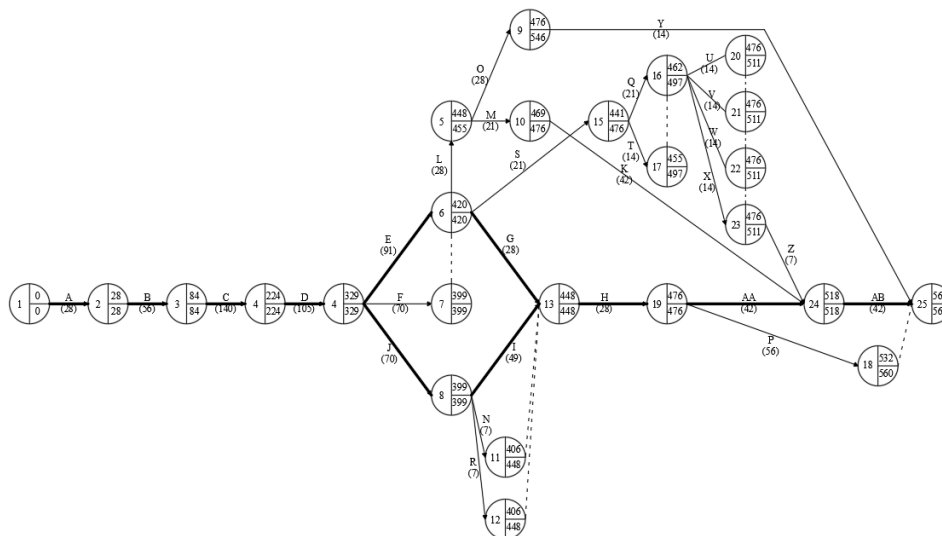
Untuk perhitungan metode *crashing* mengikuti alur yang diadaptasi dari (Matahelumual et al., 2022) dimana durasi total proyek pada kondisi tanpa intervensi percepatan dihitung lebih dahulu sebagai durasi normal, yang berfungsi sebagai baseline pembanding. Simulasi percepatan kemudian diterapkan pada aktivitas-aktivitas di jalur kritis melalui penambahan jam kerja lembur, dengan dua variasi : penambahan dua jam dan tiga jam kerja per hari. Perhitungan *crash duration* berangkat dari produktivitas harian normal (volume pekerjaan dibagi durasi normal), yang dikonversi menjadi produktivitas per jam (produktivitas harian dibagi jam kerja normal). Produktivitas tambahan akibat lembur diperoleh dari perkalian jumlah jam lembur, koefisien penurunan produktivitas, dan produktivitas per jam, koefisien penurunan produktivitas yang digunakan yaitu 0,8 untuk skenario dua jam dan 0,7 untuk skenario tiga jam, mengikuti pola penurunan produktivitas akibat kelelahan kerja (Jayantari et al., 2022). Produktivitas harian setelah percepatan merupakan penjumlahan produktivitas normal dan produktivitas lembur, sehingga *crash duration* dapat ditentukan dari

volume pekerjaan dibagi produktivitas harian hasil percepatan tersebut. Komponen biaya turut dihitung untuk menilai dampak finansial percepatan. Biaya normal (*normal cost*) diperoleh dari upah pekerja per jam dikalikan 8 jam kerja, lalu dikalikan durasi normal. Biaya percepatan (*crash cost*) memperhitungkan tambahan upah lembur sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021 (Indonesia, 2021), yaitu 1,5 kali upah sejam normal untuk jam lembur pertama dan 2 kali upah sejam normal untuk jam lembur berikutnya. biaya percepatan per hari merupakan penjumlahan upah normal harian dengan upah lembur dan biaya total percepatan merupakan biaya percepatan per hari dikalikan durasi percepatan. Selisih biaya dan waktu antara kedua kondisi tersebut menghasilkan *cost slope* (Matahelumual et al., 2022). $Cost\ slope = (crash\ cost - normal\ cost) / (normal\ duration - crash\ duration)$ (6). Tahap akhir analisis dilakukan dengan membandingkan durasi dan biaya pada kondisi normal terhadap kondisi setelah percepatan menggunakan dua variasi lembur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Critical Path Method (CPM)

Penyusunan *work breakdown structure* (WBS) berhasil mengidentifikasi 28 aktivitas pekerjaan pada gedung terminal, yang mencakup pekerjaan persiapan, struktur, arsitektur, mekanikal, dan elektrik. Setiap aktivitas diberi kode identifikasi (A hingga AB). Selanjutnya, network diagram berbasis pendekatan *activity on arrow* (AOA) yang terdiri dari 26 node disusun untuk menggambarkan hubungan ketergantungan antaraktivitas sesuai urutan pelaksanaan di lapangan, sebagaimana disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Network diagram Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau

Hasil perhitungan *critical path method* (CPM) menunjukkan bahwa dari 28 aktivitas yang dianalisis, terdapat 11 aktivitas dengan nilai *Total Float* (TF) = 0, yang membentuk jalur kritis A , B , C , D , E , G , J , I , H , AA , AB dengan durasi normal proyek adalah 560 hari (setara dengan 80 minggu). Rekapitulasi perhitungan critical path method disajikan pada Tabel 1. Aktivitas non kritis memiliki *total float* bervariasi antara 7 hingga 70 hari, sehingga masih memiliki kelonggaran waktu pelaksanaan.

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan *critical path method* (CPM)

Kode	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Pred.	Succ.	ES	EF	LS	LF	TF	FF	IF	Ket
A	Pekerjaan Persiapan	28	-	B	0	28	0	28	0	0	0	Kritis
B	Pekerjaan Tanah	56	A	C	28	84	28	84	0	0	0	Kritis

Kode	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Pred.	Succ.	ES	EF	LS	LF	TF	FF	IF	Ket
C	Pek. Pasangan Pondasi Dan Beton	140	B	D	84	224	84	224	0	0	0	Kritis
D	Pekerjaan Baja	105	C	E , F , J	224	329	224	329	0	0	0	Kritis
E	Pekerjaan Dinding	91	D	G , L , S	329	420	329	420	0	0	0	Kritis
F	Pekerjaan Cladding Cover	70	D	G	329	399	350	420	21	21	21	-
G	Pekerjaan Lantai	28	E	H	420	448	420	448	0	0	0	Kritis
H	Pekerjaan Pintu Dan Jendela	28	G , I	AA , P	448	476	448	476	0	0	0	Kritis
I	Pekerjaan Plafon	49	J	H	399	448	399	448	0	0	0	Kritis
J	Pekerjaan Atap	70	D	I , N , R	329	399	329	399	0	0	0	Kritis
K	Pekerjaan Sanitary	42	M	AB	469	511	476	518	7	7	0	-
L	Instalasi Pipa Air Bersih	28	E	M , O	420	448	427	455	7	0	0	-
M	Instalasi Pipa Air Kotor & Bekas	21	L	K	448	469	455	476	7	0	0	-
N	Instalasi Pipa Hujan Lt. Bawah	7	J	H	399	406	441	448	42	42	42	-
O	Inst. Pipa Hydrant & Sprinkler	28	L	Y	448	476	518	546	70	0	0	-
P	Instalasi Tata Udara Dan Ef	56	H	-	476	532	504	560	28	28	28	-
Q	Pekerjaan Instalasi Listrik	21	S	U , V , W , X	441	462	476	497	35	0	0	-
R	Pekerjaan Proteksi Petir	7	J	H	399	406	441	448	42	42	42	-
S	Pekerjaan Kabel Feeder	21	E	Q , T	420	441	455	476	35	0	0	-
T	Pekerjaan Panel Panel	14	S	Q	441	455	483	497	42	14	0	-
U	Pekerjaan Telepon	14	Q	Z	462	476	497	511	35	0	0	-
V	Pekerjaan Cctv	14	Q	Z	462	476	497	511	35	0	0	-
W	Pekerjaan Tata Suara	14	Q	Z	462	476	497	511	35	0	0	-
X	Pekerjaan Data/Lan	14	Q	Z	462	476	497	511	35	0	0	-
Y	Pekerjaan Fire Alarm	14	O	-	476	490	546	560	70	70	0	-
Z	Pekerjaan Fids	7	X	AB	476	483	511	518	35	35	0	-
AA	Pekerjaan Interior	42	H	AB	476	518	476	518	0	0	0	Kritis
AB	Pekerjaan Conveyor	42	AA , K , Z	-	518	560	518	560	0	0	0	Kritis

3.2. Penerapan Metode Crashing

Penerapan metode *crashing* pada seluruh aktivitas kritis melalui penambahan jam kerja lembur 2 jam (koefisien produktivitas 0,8) menghasilkan pengurangan total durasi sebesar 113,17 hari. Pengurangan durasi terbesar terjadi pada pekerjaan pasangan pondasi dan beton (C) sebesar 23,33 hari, pekerjaan baja (D) sebesar 17,50 hari, dan pekerjaan dinding (E) sebesar 15,17 hari. Disajikan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. *Crash duration* variasi 2 jam lembur

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Duration (Hari)	Crash Duration (Hari)	Total Crash (Hari)
		a	b	c=a-b
A	Pekerjaan Persiapan	28	23,33	4,67
B	Pekerjaan Tanah	56	46,67	9,33

C	Pek. Pasangan Pondasi Dan Beton	140	116,67	23,33
D	Pekerjaan Baja	105	87,5	17,50
E	Pekerjaan Dinding	91	75,83	15,17
G	Pekerjaan Lantai	28	23,33	4,67
H	Pekerjaan Pintu Dan Jendela	28	23,33	4,67
I	Pekerjaan Plafon	49	40,83	8,17
J	Pekerjaan Atap	70	58,33	11,67
AA	Pekerjaan Interior	42	35	7,00
AB	Pekerjaan Conveyor	42	35	7,00
Total (Hari)				113,17

Pada variasi lembur 3 jam (koefisien produktivitas 0,7), pengurangan total durasi yang diperoleh lebih besar, yaitu 141,18 hari, dengan pengurangan terbesar tetap terjadi pada pekerjaan pasangan pondasi dan beton (C) sebesar 29,11 hari, pekerjaan baja (D) sebesar 21,83 hari, dan pekerjaan dinding (E) sebesar 18,92 hari. Disajikan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. *Crash duration* variasi 3 jam lembur

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Duration (Hari)	Crash Duration (Hari)	Total Crash (Hari)
		a	b	c=a-b
A	Pekerjaan Persiapan	28	22,18	5,82
B	Pekerjaan Tanah	56	44,36	11,64
C	Pek. Pasangan Pondasi Dan Beton	140	110,89	29,11
D	Pekerjaan Baja	105	83,17	21,83
E	Pekerjaan Dinding	91	72,08	18,92
G	Pekerjaan Lantai	28	22,18	5,82
H	Pekerjaan Pintu Dan Jendela	28	22,18	5,82
I	Pekerjaan Plafon	49	38,81	10,19
J	Pekerjaan Atap	70	55,45	14,55
AA	Pekerjaan Interior	42	33,27	8,73
AB	Pekerjaan Conveyor	42	33,27	8,73
Total (Hari)				141,18

Kemudian seluruh aktivitas kritis dihitung nilai *normal cost* dan *crash cost* nya menggunakan harga satuan upah yang bersumber dari RAB proyek. Perhitungan dilakukan untuk dua variasi percepatan, yaitu penambahan 2 jam lembur dan 3 jam lembur per hari. Rekapitulasi perhitungan *normal cost* dan *crash cost* upah pekerja pada 11 aktivitas kritis disajikan pada Tabel 4. Biaya yang disajikan dalam tabel 4 hanya mencakup komponen upah tenaga kerja pada aktivitas kritis, bukan total biaya proyek.

Tabel 4. Rekapitulasi *normal cost* dan *crash cost* pada aktivitas kritis

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Cost (Rp)	Crash Cost 2 Jam Lembur (Rp)	Crash Cost 3 Jam Lembur (Rp)
A	Pekerjaan Persiapan	455.625.000	545.800.781	609.003.713
B	Pekerjaan Tanah	107.693.723	129.008.106	143.947.056
C	Pek. Pasangan Pondasi Dan Beton	2.193.255.398	2.627.337.195	2.931.578.997
D	Pekerjaan Baja	9.173.854.607	10.989.513.331	12.262.082.890

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Cost (Rp)	Crash Cost 2 Jam Lembur (Rp)	Crash Cost 3 Jam Lembur (Rp)
E	Pekerjaan Dinding	1.077.437.860	1.290.680.770	1.440.139.714
G	Pekerjaan Lantai	159.430.482	190.984.432	213.100.150
H	Pekerjaan Pintu Dan Jendela	61.438.727	73.598.475	82.121.070
I	Pekerjaan Plafon	921.246.373	1.103.576.385	1.231.368.915
J	Pekerjaan Atap	450.589.930	539.769.187	602.273.669
AA	Pekerjaan Interior	32.825.000	39.321.615	43.875.000
AB	Pekerjaan Conveyor	245.575.000	294.178.385	328.243.812

Kemudian menghitung *cost slope* yang merupakan besaran kenaikan biaya per satuan waktu yang dipersingkat. Semakin kecil nilai *cost slope* suatu aktivitas, semakin efisien percepatan yang dapat dilakukan pada aktivitas tersebut. Hasil perhitungan *cost slope* untuk variasi 2 jam lembur dan 3 jam lembur disajikan pada tabel 5 dan tabel 6 berikut.

Tabel 5. *Cost slope* variasi 2 jam lembur

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Cost (Rp)	Crash Cost 2 Jam lembur (Rp)	Durasi Normal (Hari)	Crash Duration (Hari)	Cost Slope (Rp/Hari)
		a	b	c	d	e=(b-a)/(c-d)
A	Pekerjaan Persiapan	455.625.000	545.800.781	28	23,33	19.323.382
B	Pekerjaan Tanah	107.693.723	129.008.106	56	46,67	2.283.684
C	Pek. Pasangan Pondasi Dan Beton	2.193.255.398	2.627.337.195	140	116,67	18.603.506
D	Pekerjaan Baja	9.173.854.607	10.989.513.331	105	87,50	103.751.927
E	Pekerjaan Dinding	1.077.437.860	1.290.680.770	91	75,83	14.059.972
G	Pekerjaan Lantai	159.430.482	190.984.432	28	23,33	6.761.561
H	Pekerjaan Pintu Dan Jendela	61.438.727	73.598.475	28	23,33	2.605.660
I	Pekerjaan Plafon	921.246.373	1.103.576.385	49	40,83	22.326.124
J	Pekerjaan Atap	450.589.930	539.769.187	70	58,33	7.643.936
AA	Pekerjaan Interior	32.825.000	39.321.615	42	35,00	928.088
AB	Pekerjaan Conveyor	245.575.000	294.178.385	42	35,00	6.943.341

Tabel 6. *Cost slope* variasi 3 jam lembur

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Cost (Rp)	Crash Cost 3 Jam lembur (Rp)	Durasi Normal (Hari)	Crash Duration (Hari)	Cost Slope (Rp/Hari)
		a	b	c	d	e=(b-a)/(c-d)
A	Pekerjaan Persiapan	455.625.000	609.003.713	28	22,18	26.345.663
B	Pekerjaan Tanah	107.693.723	143.947.056	56	44,36	3.113.594
C	Pek. Pasangan Pondasi Dan Beton	2.193.255.398	2.931.578.997	140	110,89	25.364.178
D	Pekerjaan Baja	9.173.854.607	12.262.082.890	105	83,17	141.456.262
E	Pekerjaan Dinding	1.077.437.860	1.440.139.714	91	72,08	19.169.486
G	Pekerjaan Lantai	159.430.482	213.100.150	28	22,18	9.218.769
H	Pekerjaan Pintu Dan Jendela	61.438.727	82.121.070	28	22,18	3.552.579
I	Pekerjaan Plafon	921.246.373	1.231.368.915	49	38,81	30.439.627
J	Pekerjaan Atap	450.589.930	602.273.669	70	55,45	10.421.808
AA	Pekerjaan Interior	32.825.000	43.875.000	42	33,27	1.265.363

Kode	Uraian Pekerjaan	Normal Cost (Rp)	Crash Cost 3 Jam lembur (Rp)	Durasi Normal (Hari)	Crash Duration (Hari)	Cost Slope (Rp/Hari)
		a	b	c	d	e=(b-a)/(c-d)
AB	Pekerjaan Conveyor	245.575.000	328.243.812	42	33,27	9.466.610

3.3. Perbandingan Durasi dan Biaya Normal vs Percepatan

Penerapan metode *crashing* pada seluruh aktivitas kritis menghasilkan pengurangan durasi sebesar 113,17 hari untuk variasi 2 jam lembur, sehingga durasi proyek dapat dipersingkat dari 560 hari menjadi 446,83 hari, atau berkurang 20,21% dari durasi normal dan pengurangan durasi 141,18 hari untuk variasi 3 jam lembur, sehingga durasi proyek dapat dipersingkat menjadi 418,82 hari, atau berkurang 25,21% dari durasi normal. Pengurangan terbesar pada kedua variasi konsisten terjadi pada pekerjaan pasangan pondasi dan beton (C), pekerjaan baja (D), dan pekerjaan dinding (E).

Dari sisi biaya, total biaya normal pelaksanaan proyek adalah sebesar Rp55.671.481.751 akibat penerapan *crashing* 2 jam lembur meningkatkan total biaya menjadi Rp58.616.278.313, atau bertambah Rp2.944.796.562 ($\pm 5,29\%$), sedangkan variasi 3 jam lembur meningkatkan total biaya menjadi Rp60.680.244.636, atau bertambah Rp5.008.762.885 ($\pm 9,00\%$). Perbandingan durasi dan biaya kedua variasi percepatan disajikan pada Tabel 7. Total biaya proyek pada tabel 7 dihitung berdasarkan RAB proyek ditambah dengan kenaikan upah lembur dari aktivitas kritis.

Tabel 7. Perbandingan durasi dan biaya normal vs percepatan

Variasi	Total Durasi	Pengurangan Durasi	Total Biaya	Kenaikan Biaya
Durasi Normal	560 Hari	-	Rp 55.671.481.751	-
<i>Crashing</i> 2 Jam Lembur	446,83 Hari	113,17 Hari $\pm 20,21\%$	Rp 58.616.278.313	Rp 2.944.796.562 $\pm 5,29\%$
<i>Crashing</i> 3 Jam Lembur	418,82 Hari	141,18 Hari $\pm 25,21\%$	Rp 60.680.244.636	Rp 5.008.762.885 $\pm 9,00\%$

Nilai *normal cost* dan *crash cost* pada tabel 4 secara spesifik hanya merepresentasikan komponen biaya upah tenaga kerja pada 11 aktivitas kritis, karena hanya komponen inilah yang secara langsung berubah akibat penerapan skema lembur sesuai peraturan pemerintah nomor 35 tahun 2021 (Indonesia, 2021); komponen biaya material, peralatan, maupun 17 aktivitas non kritis lainnya tidak mengalami perubahan, sebab volume dan harga satuan tetap mengikuti RAB awal terlepas dari skenario percepatan yang diterapkan. Sebaliknya, angka total biaya proyek yang disajikan pada tabel 7 merupakan akumulasi biaya keseluruhan 28 item pekerjaan sesuai RAB proyek, yang berfungsi sebagai baseline biaya normal pelaksanaan. Transisi dari tabel 4 menuju tabel 7 terjadi melalui penjumlahan selisih (*crash cost* – *normal cost*) pada tabel 4 terhadap *baseline* biaya total proyek tersebut; dengan kata lain, kenaikan biaya total pada tabel 7 murni bersumber dari akumulasi kenaikan upah lembur 11 aktivitas kritis pada tabel 4, sementara seluruh komponen biaya lain pada RAB proyek diasumsikan tetap. Mekanisme ini sekaligus menjelaskan mengapa presentase kenaikan biaya pada tabel 7 (5,29 % dan 9,00 %) tampak jauh lebih kecil dibandingkan proporsi kenaikan biaya upah pada masing-masing aktivitas kritis di tabel 4, sebab kenaikan biaya lembur yang signifikan pada level aktivitas kritis terdidusi ketika dibandingkan terhadap basis biaya total proyek yang jauh lebih besar.

Penerapan metode *crashing* dengan variasi penambahan 2 jam lembur mampu mempersingkat durasi sebesar 20,21% dengan kenaikan biaya sebesar 5,29%, sedangkan variasi 3 jam lembur mampu memangkas hingga 25,21% dengan kenaikan biaya sebesar 9,00%. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Luqman Hakim et al., 2023) dan (Eliatun & Tjitradi, 2022)

yang menyatakan bahwa penambahan jam kerja lembur secara terukur pada aktivitas kritis mampu mempersingkat durasi proyek dengan kenaikan biaya yang relatif sebanding terhadap manfaat percepatan yang diperoleh.

3.4. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan mendasar pada cakupan analisis biaya yang difokuskan pada biaya langsung (*direct cost*), khususnya komponen upah tenaga kerja yang secara langsung dipengaruhi oleh penambahan jam kerja lembur pada aktivitas kritis. Biaya tidak langsung (*indirect cost*) seperti biaya *overhead* proyek, biaya mobilisasi-demobilisasi peralatan tambahan, biaya mitigasi lapangan, maupun potensi biaya risiko keselamatan akibat kelelahan pekerja pada periode lembur berkepanjangan, belum dimasukkan dalam perhitungan. Meskipun demikian, pendekatan yang berfokus pada biaya langsung ini tetap relevan dan valid untuk mencapai tujuan penelitian. Metode *crashing* yang diterapkan yaitu penambahan jam kerja lembur tanpa penambahan tenaga kerja maupun perubahan struktur organisasi proyek, secara teoritis hanya mempengaruhi komponen upah lembur sebagai satu-satunya variabel biaya yang berubah. Sementara itu, volume material, harga peralatan, dan biaya *overhead* cenderung konstan dalam rentang waktu kompresi relatif singkat (maksimum 141,18 hari dari total durasi normal 560 hari). Dengan demikian, biaya langsung tenaga kerja merupakan komponen yang paling sensitif dan paling representatif dalam mengukur konsekuensi finansial atas keputusan percepatan durasi. Hal ini sejalan dengan konsep *cost slope* klasik dalam teori CPM – *crashing* yang secara definitif hanya memperhitungkan perubahan biaya langsung akibat kompresi durasi aktivitas (PMI, 2021). Meskipun demikian, penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan komponen biaya tidak langsung guna memperoleh gambaran pertukaran waktu-biaya secara komprehensif, terutama pada proyek berskala besar dan berdurasi panjang di wilayah kepulauan, dimana kontribusi biaya *overhead* dan risiko logistik terhadap total biaya proyek cenderung lebih signifikan dibandingkan proyek di kawasan dengan akses lancar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap Proyek Pengembangan Bandar Udara Siau menggunakan metode *critical path method* (CPM) dan metode *crashing* melalui penambahan jam kerja lembur, dapat disimpulkan bahwa durasi normal pelaksanaan pekerjaan pembangunan gedung terminal adalah 560 hari, dengan 11 dari 28 aktivitas tergolong aktivitas kritis (TF = 0) yang membentuk jalur kritis A ,B ,C, D, E, G, J, I ,H ,AA , AB. Penerapan metode *crashing* dengan variasi 2 jam lembur per hari menghasilkan pengurangan durasi sebesar 113,17 hari (20,21%) dengan kenaikan biaya sebesar Rp2.944.796.562 (5,29%), sedangkan variasi 3 jam lembur menghasilkan pengurangan durasi sebesar 141,18 hari (25,21%) dengan kenaikan biaya sebesar Rp5.008.762.885 (9,00%) dari total biaya normal sebesar Rp55.671.481.751.

Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi kontraktor maupun pemilik proyek dalam pengambilan keputusan terkait strategi percepatan durasi proyek konstruksi di wilayah kepulauan. Kelebihan metode ini terletak pada kemudahan penerapan tanpa penambahan tenaga kerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, atas dukungan akademik dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada PT. Anugerah Bangun Kencana – PT. Karya Sejahtera Bangun Kencana, KSO, dan Kantor Unit Penyelenggara Bandar Udara Kelas III Naha atas ketersediaan data *time schedule* dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Astari, N. M., Subagyo, A. M., & Kusnadi. (2021). Perencanaan Manajemen Proyek dengan Metode CPM (Critical Path Method) dan PERT (Program Evaluation and Review Technique). *Jurnal Konstruksia*, 13(1), 164–180.
- Avinika Ningtyas, R., Bagus Yulistian, M., Rijali Sukur Pelu, M., Pranoto, O., Choiruna Daffarel, R., Rahmayeni, Y. P., & Asfino Putra, O. (2025). Tinjauan Penerapan Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT) dalam Pembangunan Proyek Gedung X. In *Construction and Material Journal*. <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>
- Eliatun, & Tjitradi, D. (2022). Analisis Percepatan dengan Metode Crashing pada Proyek Pembangunan Gedung X di Banjarmasin. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5.
- Friatmojo, E. K., & Utomo, A. B. (2022). *Buku ajar manajemen konstruksi : penjadwalan proyek konstruksi bagi pemula*. Deepublish.
- Indonesia, P. R. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021*.
- Jayantari, M. W., Predana, I. M. A., & Wade, Y. R. (2022). Analisis Biaya Serta Percepatan Durasi Proyek Menggunakan Metode Crashing Dengan Sistem Waktu Gilir Kerja Dan Lembur (Studi Kasus: Puskesmas Wolowaru, Kabupaten Ende). *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, (x), 20–26. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v1i1.4098>
- Luqman Hakim, A., Yulianto, T., & Wahyu Nugroho, M. (2023). Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Crashing Program pada Proyek Gedung BPJS Tulungagung. *Briliant : Jurnal Riset Dan Konseptual*, 8(1). <https://doi.org/10.28926/briliant.v8i1>
- Matahelumual, R., Jamlaay, O., & Sahusilawane, T. (2022). Analisa Percepatan Proyek dengan Metode Crashing Program pada Proyek Pembangunan Gedung Auditorium IAIN Kota Ambon. *Journal Agregate*, 1(1), 9.
- Nugrahaini, D. (2021). Strategi Percepatan Proyek dengan Memilih Metode Pelaksanaan Konstruksi yang Paling Efisien pada Proyek Konstruksi Bangunan Fakultas B Universitas Islam Internasional Indonesia. *Eskripsi Universitas Semarang*. <https://eskripsi.usm.ac.id/detail-C11A-2000.html>
- Nukuhehe, S., Saleh, L. M., & Gaspersz, W. (2025). Analisis Penjadwalan Proyek Kontruksi Dengan Critical Path Method (CPM) Pada Proyek Pembangunan Poliklinik Fakultas Kedokteran Universitas Pattimura Ambon. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, 1(8), 12. <https://ejournal.amirulbangunbangsapublishing.com/index.php/jpnmb/index>
- PMI. (2021). *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)* (Seventh Ed). Project Management Institute, Inc.
- Ramadhan, W., Sitorus, S., & Maulana, R. (2023). Evaluasi Perencanaan Proyek Pembangunan SDS X Menggunakan Network Diagram dan Crashing Project Guna Mengoptimalkan Waktu Dan Biaya Proyek. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(4), 1118–1128. <https://doi.org/10.31004/jutin.v6i4.17709>
- Ridwan, A. (2020). Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode Crashing dengan Penambahan Jam Kerja Empat Jam dan Sistem Shift Kerja (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung RSUD Malang). *Jurnal Aplikasi Pelayaran Dan Kepelabuhanan*, 11(1), 35–53. <https://doi.org/10.30649/japk.v11i1.61>
- Tamalika, T., Azhari, Hermanto, Alamsyah, M. N., & Sianipar, T. P. O. (2026). Optimasi Manajemen Waktu dengan Metode Precedence Diagram Method (PDM) pada Proyek Pembangunan Pasar Rakyat Kota Muara Enim. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 14, 57–64.
- Umam, K., Syaugi, A., Syarif, M. R., Izzati, B., & Prastyo, Y. (2026). Penerapan Metode CPM dan Crashing pada Proyek Fabrikasi Jembatan B-60 di PT XYZ. *Jurnal Factory : Jurnal Industri, Manajemen Dan Rekayasa Sistem Industri*.