

Perancangan Percepatan Jadwal Pada Proyek A PT XYZ Menggunakan Metode *Crashing* dan Pendekatan Prinsip *Lean*

1st Aura Maharani Puteri
Teknik Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
auramptr@gmail.com

2nd Devi Pratami
Teknik Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
Materials
Universiti Teknologi Malaysia
Skudai, Malaysia
devipratami@telkomuniversity.ac.id

3rd Intan Permatasari
Teknik Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
intanpr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Keterlambatan dalam proyek menjadi permasalahan umum yang berdampak pada biaya, waktu, dan kualitas proyek. Proyek A mengalami deviasi sebesar 12.73% antara rencana dan realisasi proyek yang menyebabkan keterlambatan pengembangan produk kesehatan. Keterlambatan disebabkan karena adanya waste activity yang terdiri dari, waiting, defect, dan overprocessing. Dalam mengatasi keterlambatan tersebut dilakukan percepatan jadwal menggunakan metode crashing dan pendekatan prinsip lean serta menentukan durasi dan biaya proyek. Metode crashing digunakan melalui penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja sedangkan prinsip lean digunakan untuk memperbaiki proses kerja pada proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi proyek dapat direduksi sebesar 37.22% hari dengan kenaikan biaya sebesar 0.34%, menurunkan waste sebesar 40%, dan memperbaiki proses kerja dilakukan dengan memerhatikan dependency activity. Penelitian ini dapat mempercepat proyek dan memberikan model implementasi prinsip lean dalam perancangan jadwal secara sistematis.

Kata kunci— keterlambatan proyek, crashing, prinsip lean, konstruksi

I. PENDAHULUAN

Keberhasilan proyek membutuhkan sebuah koordinasi yang baik antara seluruh *stakeholder* sehingga mampu mencapai target secara efektif dan efisien. Namun salah satu tantangan utama dalam pelaksanaan proyek konstruksi adalah menyelesaikan proyek secara tepat waktu karena adanya perubahan desain, arus kas, dan manajemen yang buruk [1]. Oleh karena itu, hal ini menjadi perhatian dalam kondisi yang memerlukan percepatan, tetapi tetap memerhatikan alur pada proses manajemen.

Terdapat dua jenis metode percepatan jadwal, yaitu *crashing* dan *fast tracking* [2]. *Crashing* dilakukan dengan menambahkan sumber daya sehingga dapat menyebabkan peningkatan anggaran. *Fast tracking* dilakukan dengan melakukan aktivitas secara paralel sehingga dapat meningkatkan risiko *rework*. Namun, dalam melakukan percepatan jadwal penting untuk melakukan pengidentifikasian aktivitas kritis dan *scope* sehingga penjadwalan dapat dilakukan secara efisien tanpa menambah pemborosan dan peningkatan biaya secara signifikan. Pengidentifikasian *scope* dapat dilakukan dengan pendekatan lean. Pendekatan *lean* adalah pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan

adanya waste pada proses sehingga mampu meningkatkan *value-added* bagi pelanggan [3].

Pendekatan lean berasal dari Toyota Production System (TPS) yang dikembangkan untuk menghadapi keterbatasan sumber daya sehingga dapat menciptakan sistem produksi yang lebih efisien. *Lean* diperkenalkan dalam bentuk lima prinsip utama, yaitu *value*, *value stream*, *flow*, *pull*, dan *perfection*. Melalui pendekatan tersebut mendokumentasikan bagaimana *lean* dapat diterapkan tidak hanya dalam manufaktur, tetapi di berbagai industri lain untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan memenuhi kebutuhan pelanggan [3]. Hadirnya prinsip *lean* dalam penjadwalan percepatan proyek dapat membantu mengelola kompleksitas proyek dan mengidentifikasi waste dengan tetap memerhatikan kualitas proyek.

Lean dapat membantu dalam mengidentifikasi *value added activities* dan *non-value added activities* yang harus dihilangkan sehingga dapat menyelesaikan proyek sesuai waktu dan anggaran [4]. *Value added activities* adalah aktivitas yang memberikan kontribusi dalam menciptakan nilai pada suatu produk sedangkan *non-value added activities* adalah aktivitas yang tidak memberikan nilai pada suatu produk [5]. *Non-value added activities* memiliki klasifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah disebut *waste activity*. *Waste activity* adalah aktivitas yang menyebabkan pemborosan pada *resource* tanpa memberikan nilai tambah pada aktivitas tersebut [6]. Terdapat tujuh jenis *Waste activity*, yaitu *overproduction*, *waiting*, *transportation*, *overprocessing*, *inventory*, *motion*, dan *defect*.

Proses identifikasi waste memiliki peran penting dalam penerapan prinsip *lean* guna menciptakan proses yang efisien [7]. Prinsip *lean* dapat diterapkan diberbagai industri, seperti layanan kesehatan, manufaktur, logistik, proyek konstruksi, hingga rantai pasok [8]. Salah satu perusahaan yang berada pada industri layanan kesehatan, yaitu PT XYZ. PT XYZ adalah perusahaan yang memiliki keunggulan kompetitif di bidang produk kesehatan yang diimplementasikan melalui keilmuan dan pengembangan. Saat ini PT XYZ sedang membangun 10 fasilitas penunjang produksi dan pengembangan produk kesehatan. Dari 10 fasilitas, setidaknya terdapat 8 fasilitas yang memiliki 1 hingga 2 amandemen. Proyek yang memiliki lebih dari satu amandemen adalah Proyek A.

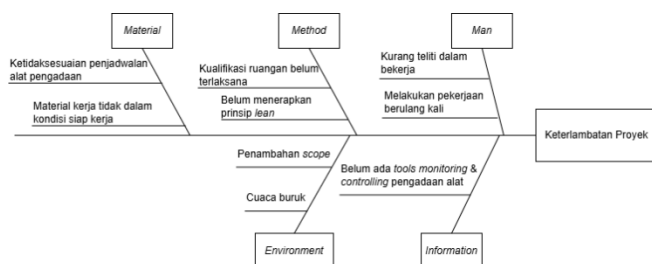
Proyek A adalah salah satu investasi proyek yang akan digunakan sebagai fasilitas pengembangan produk kesehatan. Proyek A terdiri dari 11 lantai yang akan digunakan sebagai

fasilitas pengembangan produk kesehatan dan luas lantai seluas 15.142 m². Proyek ini harus segegar diselesaikan dikarenakan perlu dilakukan pemenuhan target peningkatan kekebalan tubuh sebanyak 5,5 miliar orang sesuai arahan Menteri Kesehatan Budi Gunandi (2021). Akan tetapi, dalam memenuhi kebutuhan tersebut menurut Biskup et al (2011) terdapat beberapa kriteria kelayakan, seperti lokasi, produk yang dihasilkan, lingkungan, legal, keuangan, dan risiko.

Pada perencanaannya, Proyek A akan berlangsung pada bulan Februari 2022 – bulan September 2023. Tetapi, hingga saat ini telah dilakukan amandemen sebanyak dua kali dikarenakan perlu menyesuaikan perubahan regulasi yang telah ditetapkan oleh WHO (World Health Organization). Amandemen pertama dilakukan penambahan durasi proyek hingga bulan Oktober 2024, tetapi pada bulan September 2024 realisasi proyek baru mencapai 81.70%. Amandemen kedua dilakukan penambahan durasi proyek hingga bulan Mei 2025, tetapi pada bulan April 2025 realisasi proyek baru mencapai 87.27%. Hal ini menunjukkan bahwa rencana awal, amandemen pertama, dan amandemen kedua belum cukup efektif dalam mencapai target yang telah ditetapkan. Sebagai respons terhadap keterlambatan ini, PT XYZ membutuhkan rencana amandemen ketiga untuk memperpanjang jadwal proyek hingga bulan Maret 2026. Adanya amandemen kontrak disebabkan karena waktu adalah sumber utama keterbatasan proyek [9]. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan ulang terkait penjadwalan pada amandemen ketiga untuk memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan tepat waktu tanpa mengorbankan kualitas.

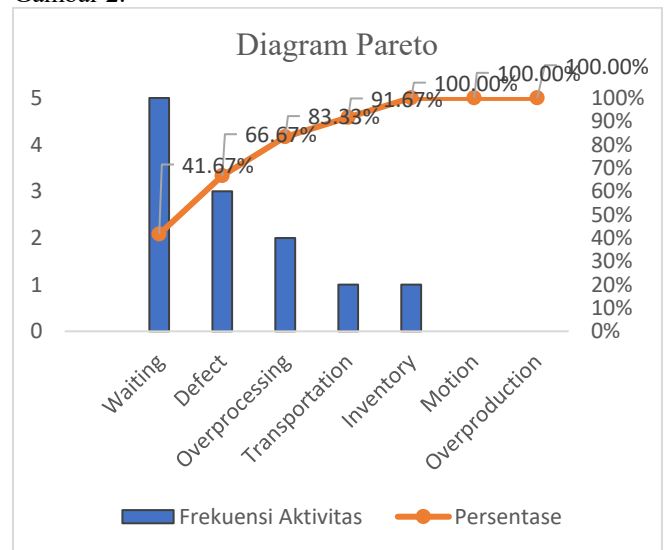
Dari sebelas lantai pada Proyek A, lantai D memiliki status konstruksi terendah, yaitu sebesar 56,05% dan lantai G memiliki status peralatan terendah, yaitu sebesar 37,50%. Dalam melakukan percepatan, konstruksi merupakan pilihan yang paling mungkin untuk dilakukan dalam membuat rencana amandemen ketiga. Oleh karena itu, perancangan jadwal akan difokuskan pada lantai D karena memiliki status konstruksi terendah, yaitu sebesar 56.05% yang terdiri dari pekerjaan arsitektur, mekanikal, elektrik, dan BMS & GMS.

Analisis *fishbone diagram* dilakukan untuk mengetahui pekerjaan yang memengaruhi kinerja proyek di lima dimensi yaitu tenaga kerja, metode, material, informasi, dan lingkungan. Tantangan yang dihadapi antara lain kurang hati-hati dalam bekerja, mengerjakan pekerjaan berulang kali, kualifikasi ruangan belum dilakukan, prinsip *lean* belum diterapkan, ketidakkonsistenan dalam penjadwalan dan pengadaan alat, material kerja tidak dalam kondisi siap kerja, tidak ada alat pemantauan dan pengendalian untuk pengadaan alat, penambahan ruang lingkup, dan cuaca buruk. Analisis *fishbone diagram* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Fishbone Diagram*

Dari Gambar 1, dapat dilakukan klasifikasi dalam pekerjaan *waste* menggunakan diagram pareto. Diagram pareto menampilkan *waste* tertinggi yang menjadi penyebab utama keterlambatan proyek. *Waste* tersebut terdiri dari *inventory*, *waiting*, *transportation*, *waiting*, *overprocessing*, dan *defect*. Analisis diagram pareto dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Pareto

Berdasarkan analisis pareto (Gambar 2), penyebab utama keterlambatan karena adanya aktivitas *waste*, yaitu *waiting*, *defect*, dan *overprocessing*. Keterlambatan tersebut berdampak terhadap jadwal pengembangan produk sehingga berpotensi terjadinya keterlambatan ketersediaan produk baru pada PT XYZ.

Pemborosan yang terjadi pada pekerjaan Proyek A menyebabkan keterlambatan terhadap jadwal pengembangan produk sehingga berpotensi terjadinya keterlambatan ketersediaan produk baru pada PT XYZ. Dalam mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan perancangan percepatan jadwal dengan mengombinasikan *schedule compression* dan prinsip *lean*. Mengombinasikan prinsip *lean* dengan percepatan jadwal mampu meningkatkan efisiensi proyek, mendorong perbaikan berkelanjutan, meningkatkan keandalan perencanaan, dan mengurangi pemborosan [10]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bahwa penerapan *lean* dalam proyek mampu mereduksi durasi proyek sebesar 19,17% dan menurunkan laba organisasi sebesar 5,33% [7]. Oleh karena itu, perlu dilakukan perancangan percepatan jadwal menggunakan metode *crashing* dengan pendekatan prinsip *lean* sehingga Proyek A mampu menyelesaikan proyek sesuai dengan rencana amandemen ketiga yang akan ditentukan tanpa menurunkan kualitas proyek.

II. KAJIAN TEORI

A. Proyek

Proyek merupakan usaha sementara yang dilakukan untuk menghasilkan produk, layanan, atau hasil yang bersifat unik [2]. Sifat sementara menunjukkan bahwa proyek memiliki awal dan akhir yang jelas, sementara keunikannya tercermin dari *deliverables* yang dihasilkan, seperti produk, layanan, dokumen, atau kombinasi dari ketiganya.

B. Project Management

Manajemen proyek merupakan penerapan pengetahuan, keterampilan, alat, dan teknik pada aktivitas proyek guna memenuhi persyaratan yang ditetapkan [2]. Proses ini mencakup lima tahapan utama yang dikenal sebagai *project life cycle*, yaitu: (1) *Initiation*, penetapan proyek atau fase baru; (2) *Planning*, perumusan langkah strategis dan *scope* proyek; (3) *Executing*, pelaksanaan aktivitas proyek sesuai rencana; (4) *Monitoring and controlling*, pengawasan kinerja dan kemajuan proyek secara berkelanjutan; serta (5) *Closing*, penyelesaian proyek secara resmi sesuai perencanaan.

C. Project Life Cycle Pada Industri Farmasi

Project life cycle adalah tahapan sistematis dari awal hingga akhir proyek untuk memastikan seluruh proses terkelola dengan baik [2]. Dalam industri farmasi, siklus ini terbagi menjadi tiga alur utama: *project initiation*, *planning*, dan *project delivery* [11].

Tahap *initiation* mencakup analisis kelayakan dan pengembangan konsep, menghasilkan dokumen *project charter* dan *conceptual of design* (CoD). Tahap *planning* melibatkan perencanaan menyeluruh proyek hingga menghasilkan *basic of design* (BoD). Tahap *delivery* mencakup desain rinci, implementasi konstruksi dan instalasi, hingga penutupan proyek, yang ditandai dengan tercapainya *detail engineering design* (DeD) dan serah terima proyek. Setiap tahap memiliki *milestone* sebagai penanda keberhasilan dan kelayakan untuk melanjutkan ke tahap berikutnya.

D. Project Schedule Management

Manajemen jadwal proyek merupakan proses penting untuk memastikan proyek selesai tepat waktu [2]. Proses ini meliputi enam tahapan utama: (1) *Plan schedule management*, penyusunan kebijakan dan prosedur jadwal; (2) *Define activities*, identifikasi dan dokumentasi seluruh aktivitas proyek; (3) *Sequence activities*, penetapan urutan dan ketergantungan antar aktivitas; (4) *Estimate activity durations*, estimasi waktu penyelesaian tiap aktivitas berdasarkan sumber daya yang tersedia; (5) *Develop schedule*, penyusunan jadwal proyek berdasarkan urutan, durasi, dan kendala; serta (6) *Control schedule*, pemantauan dan pengendalian jadwal untuk memastikan kesesuaian antara rencana dan realisasi. Tahapan ini saling terintegrasi dan berperan penting dalam menciptakan *baseline* serta kontrol terhadap pelaksanaan proyek.

E. Critical Path Method

Salah satu metode penjadwalan yang umum digunakan dalam manajemen proyek adalah *Critical Path Method* (CPM), yaitu teknik untuk menentukan durasi minimum proyek dan mengidentifikasi aktivitas kritis—aktivitas yang tidak boleh mengalami keterlambatan agar proyek selesai tepat waktu [2]. CPM menghitung waktu mulai dan selesai

paling awal serta paling lambat untuk tiap aktivitas menggunakan pendekatan *forward* dan *backward pass*.

Dalam menyusun jaringan proyek, digunakan *Precedence Diagram Method* (PDM), yaitu representasi grafis hubungan logis antar aktivitas dengan empat jenis hubungan: *Finish to Start* (FS), *Finish to Finish* (FF), *Start to Start* (SS), dan *Start to Finish* (SF) [2]. Ketergantungan antar aktivitas dapat dikategorikan sebagai *mandatory*, *discretionary*, *external*, atau *internal dependency* [2].

Estimasi durasi aktivitas dapat dilakukan menggunakan *Three-Point Estimating*, yaitu pendekatan yang memperhitungkan skenario optimis (O), realistis (M), dan pesimis (P), dengan rumus estimasi durasi rata-rata [2][12]:

$$E = \frac{O+M+P}{3} \quad (1)$$

Diagram jaringan atau *network diagram* berfungsi memvisualisasikan urutan dan hubungan antar aktivitas, yang dibentuk dengan model *Activity on Node* (AON) atau *Activity on Arrow* (AOA) [2]. Simbol penting mencakup panah, *node*, dan *dummy activity* [13]. Komponen utama CPM antara lain *Early Start* (ES), *Early Finish* (EF), *Late Start* (LS), *Late Finish* (LF), durasi, dan total *float*. Jalur dengan total *float* nol adalah jalur kritis [14]. Terdapat dua prosedur dalam melakukan perhitungan, yaitu perhitungan maju dan perhitungan mundur. Perhitungan maju adalah perhitungan yang dilakukan untuk menghitung nilai *earliest even time* (Persamaan 2) sedangkan perhitungan mundur adalah perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui *latest even time* dapat dimulai (Persamaan 3) [15]

$$EET\ j = (EET\ i + D\ ij)\ max \quad (2)$$

$$LET\ i = (LET\ i - D\ ij)\ min \quad (3)$$

F. Crashing Method

Metode *crashing* merupakan salah satu teknik percepatan jadwal (*schedule compression*) yang dilakukan dengan menambahkan sumber daya seperti jam kerja, tenaga kerja, atau material untuk mempersingkat durasi aktivitas pada jalur kritis [2]. Meskipun efektif untuk mempercepat proyek, metode ini umumnya meningkatkan biaya pelaksanaan.

Komponen penting dalam *crashing* antara lain: *normal duration* (durasi normal tanpa percepatan), *normal cost* (biaya penyelesaian dalam kondisi normal), *crash duration* (durasi setelah percepatan), dan *crash cost* (biaya setelah percepatan) [16]. Selisih antara biaya dan durasi ini dihitung dalam *cost slope*, dengan rumus [16]:

$$Cost\ Slope = \frac{crash\ cost - normal\ cost}{normal\ duration - crash\ duration} \quad (4)$$

G. Prinsip Lean

Pendekatan *lean* berasal dari Toyota Production System (TPS) yang dikembangkan oleh Toyota di Jepang pasca Perang Dunia II sebagai respons atas keterbatasan sumber daya. *Lean* merupakan pendekatan sistematis yang bertujuan mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (*waste*) dalam proses untuk meningkatkan nilai tambah (*value added*) bagi pelanggan). *Lean* terdiri dari lima prinsip utama yaitu, *value*, *value stream*, *flow*, *pull*, dan *perfection* [3].

Value berfokus pada pengidentifikasian kebutuhan pelanggan dan mendefinisikan nilai berdasarkan sudut pandang pelanggan. *Value stream* adalah serangkaian seluruh tindakan yang diperlukan untuk menghasilkan produk bernilai

tambah dan *non-value added*. *Flow* adalah proses menciptakan kelancaran aliran produk dan aktivitas dengan menghilangkan pemborosan setelah nilai telah ditentukan secara tepat. *Pull* adalah aktivitas hanya dilakukan berdasarkan permintaan pelanggan untuk menghindari *overproduction* dan pemborosan sumber daya. *Perfection* adalah upaya perbaikan terus-menerus untuk menghilangkan pemborosan dan mencapai efisiensi optimal.

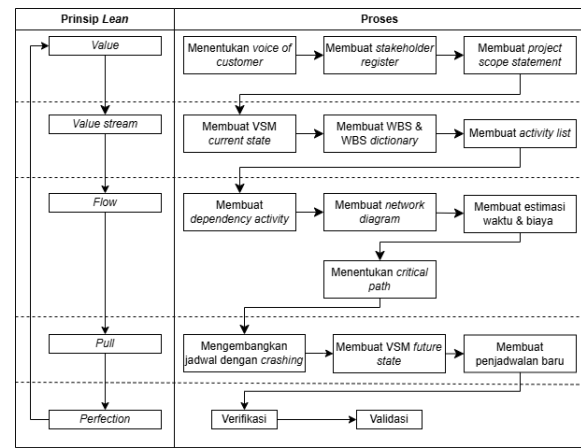
Waste atau pemborosan didefinisikan sebagai aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dalam proses transformasi *input* menjadi *output* sepanjang *value stream* [17]. Terdapat tujuh jenis *waste* dalam proses, yaitu *overproduction*, *waiting*, *transportation*, *overprocessing*, *inventory*, *motion*, dan *defect* [18].

III. METODE

Terdapat dua jenis metode *schedule compression*, yaitu *crashing* dan *fast tracking* [2]. Metode *crashing* dapat memberikan percepatan yang lebih terukur berdasarkan biaya optimal, mampu menjaga kualitas proyek, dan dapat digunakan pada proyek yang memiliki *dependency* relatif kuat. Tetapi, penggunaan metode *crashing* mampu meningkatkan biaya proyek dan menurunkan produktivitas pekerja. Sedangkan metode *fast tracking* tidak membutuhkan penambahan *resource* dan peningkatan biaya relatif lebih rendah. Tetapi, penggunaan metode *fast tracking* mampu menyebabkan *rework*, penurunan kualitas, meningkatkan kompleksitas koordinasi antar tim, dan membutuhkan ilmu dan pengalaman yang mendalam.

Kelebihan pada metode *crashing* sesuai dengan karakteristik proyek yang memiliki fleksibilitas dalam anggaran dan tetap mempertahankan kualitas proyek. Sedangkan dalam konteks penerapan prinsip *lean*, *crashing* mampu mempertahankan urutan pekerjaan sehingga tidak berpotensi menimbulkan permasalahan dalam alur proses. Selain itu, penggunaan metode *crashing* memungkinkan perencanaan yang relatif lebih terkontrol terhadap penambahan *resource* sehingga potensi adanya *waste* dapat terkendali. Oleh karena itu, penggunaan metode *crashing* lebih mendukung dalam perancangan penelitian ini karena dapat menciptakan aliran kerja yang efisien, menghindari adanya potensi *waste*, dan mempertahankan kualitas proyek.

Penerapan prinsip *lean* dalam *project management* dapat digunakan untuk mengurangi *waste activity*, meningkatkan efisiensi aliran kerja, dan memastikan bahwa seluruh aktivitas pada proyek memiliki nilai tambah [19]. Dalam perancangan percepatan jadwal dipetakan dalam lima prinsip utama *lean*, yaitu *value*, *value stream*, *flow*, *pull*, dan *perfection*. Gambar 3 merepresentasikan alur proses pada perancangan.



Gambar 3. Sistem Penyelesaian Masalah

Prosedur ini dapat diimplementasikan seperti yang disarankan untuk melakukan percepatan jadwal. Prosesnya meliputi, (1) Menentukan *value*, mengidentifikasi *value* dilakukan untuk memahami hal-hal yang bernilai tambah menurut *stakeholder* sehingga mampu membantu dalam penyelesaian proyek sesuai dengan harapan *stakeholder*; (2) Memetakan *value stream*, memetakan *value stream* dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh aktivitas yang dilakukan pada proses *macro* pada sebuah proyek dan mengklasifikasikan aktivitas yang berpotensi memiliki *waste*; (3) Membuat *flow*, dilakukan untuk menciptakan aliran kerja yang efisien dan bebas dari hambatan; (4) Menggunakan *pull system*, dilakukan untuk melakukan aktivitas didasari atas *voice of customer*; dan (5) *Perfection*, Melakukan *perfection* dilakukan untuk menyempurnakan hasil rancangan dengan melakukan verifikasi dan validasi hasil perancangan terhadap teoritis dan dampak terhadap *stakeholder*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mengidentifikasi *Value*

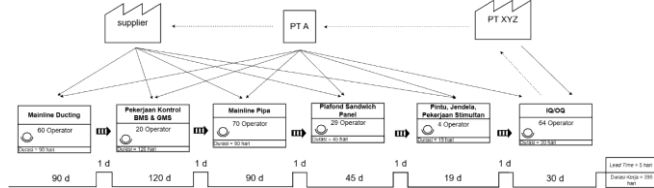
Dalam membantu membuat perancangan percepatan jadwal, perlu dilakukan identifikasi *value*. Identifikasi *value* dilakukan untuk mengidentifikasi *stakeholder* yang terlibat dan mengetahui ruang lingkup pekerjaan yang memberikan nilai tambah. Proses mengidentifikasi *value* dilakukan dengan membuat *stakeholder register* dan *project scope management*.

Voice of customer dilakukan untuk mendapatkan keinginan pelanggan yang perlu dipenuhi dari hasil perancangan [20]. Terdapat sepuluh *stakeholder* dalam perancangan percepatan jadwal. Setiap *stakeholder* tersebut dikategorikan internal apabila termasuk ranah PT A selaku kontraktor dan dikategorikan eksternal apabila termasuk ranah PT XYZ selaku *project sponsor*. *Stakeholder* tersebut memiliki peran masing-masing, *power*, *interest*, *impact*, dan kepentingan masing-masing. Dapat disimpulkan bahwa dari setiap *stakeholder* hal yang ingin dicapai dari hasil perancangan ini adalah ketersediaan sumber daya, pelaksanaan sesuai standar metode, rancangan memiliki biaya yang optimal, dan rencana amandemen 3 dapat selesai pada bulan Desember 2025.

B. Memetakan *Value Stream*

Memetakan *value stream* dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh aktivitas yang dilakukan pada proses macro pada Proyek A Lantai D dan mengklasifikasikan aktivitas yang berpotensi memiliki *waste*. Dalam mengklasifikasi aktivitas yang berpotensi memiliki *waste* dilakukan dengan penggambaran proses macros Proyek A Lantai D menggunakan *value stream mapping*.

Value stream mapping current state adalah salah satu *tools* pada pemetaan *value stream* untuk memetakan alur proses eksisting dari permintaan pelanggan hingga menjadi produk akhir [21]. Gambar 4 merupakan visualisasi alur proses menggunakan *value stream mapping current state*.



Gambar 4. *Value Stream Mapping Current State*

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa Proyek A Lantai D memiliki enam jenis pekerjaan dengan durasi total penyelesaian selama 395 hari. Keenam pekerjaan tersebut memiliki potensi *waste activity*, yaitu *waiting*. Hal tersebut perlu dilakukan mitigasi terjadinya *waste activity* dengan menyusun aktivitas pengerjaan untuk mengetahui alur proses *macro* dan *micro* dari Proyek A Lantai D [22]. Tabel 1 merupakan rekapitulasi data untuk hasil perancangan.

Tabel 1. Rekapitulasi Data

Kode	Aktivitas	Volume	Durasi	Predecessor
A	Pekerjaan Ducting dan Aksesoris	301 m	90	-
B	Pekerjaan Sistem Ventilasi	343 m	90	-
C	Sistem HVAC Area Office	65 m	90	-
D	Pekerjaan Kontrol BMS & GMS	6 ruang	120	A, B, C (SS + 23 hari)
E	Sistem Plumbing	115 m	28	A, B, C (SF)
F	IQ Plumbing	Lantai D	30	E (SF)
G	Sistem Distribusi Gas	21 m	8	A, B, C (FS)
H	Hydrant System	59 m	22	A, B, C (FS)
I	Sprinkler System	584 m	65	A, B, C (FS)
J	Sistem Udara Tekan	44 m	8	A, B, C (FS)
K	Sistem Black Steam	25 m	8	A, B, C (FS)
L	Cooling Process (Chilled Water)	33 m	28	A, B, C (FS)
M	Cooling Process (Ice Water)	14 m	28	A, B, C (FS)
N	Sistem Condensate Steam	3 m	8	A, B, C (FS)
O	Pretreated Water	11 m	8	A, B, C (FS)
P	Pekerjaan Peralatan, Valve, dan Pemipaan	157 m	65	A, B, C (FS)
Q	Pekerjaan Sistem Heating Coil	301 m	65	A, B, C (FS)

Kode	Aktivitas	Volume	Durasi	Predecessor
R	Pekerjaan Sistem Cooling Coil	343 m	65	A, B, C (FS)
S	IQ HVAC	Lantai D	30	P, Q, R (FS)
T	Pekerjaan Penyelesaian	848.55 m ²	37	E, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R (SS + 7 hari)
U	Pekerjaan Perlengkapan	52 unit	9	T (SS)
V	Pekerjaan Konstruksi Khusus	21 set	45	T (SS)
W	Sistem Distribusi Daya dan Sistem Penerangan	157 m	45	T (SS)
X	Sistem Telekomunikasi, Sistem Data, dan Sistem Tata Suara	31 titik	45	T (SS)
Y	IQ Elektrikal	Lantai D	30	V, W, X (FS)
Z	OQ Elektrikal	Lantai D	14	Y (FS)
AA	Pintu	26 unit	19	D, U, V, W, X (FS)
AB	Jendela dan Bukaun	5 unit	18	D, U, V, W, X (FS)
AC	OQ Plumbing	Lantai D	30	Z, F (FS)
AD	OQ HVAC	Lantai D	30	Z, S (FS)
AE	IQ Ruangan	Lantai D	7	AA, AB (FS)
AF	OQ Ruangan	Lantai D	21	AE (FS)

C. Membuat *Flow*

Menentukan *dependency activity* dapat mendukung kelancaran alur kerja agar tidak terhambat karena dependensi yang tidak jelas. Terdapat kaitan antara *dependency activity* dengan prinsip *lean* yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kaitan *Dependency Activity* dengan Prinsip *Lean*

Kategori Dependency Activity	Potensi Waste [23] [24]	Hubungan dengan Prinsip Lean [18]
Mandatory Dependency	Tidak bisa dihilangkan, tetapi bisa dioptimalkan.	Berpotensi <i>bottleneck</i> jika tidak diperhitungkan dengan baik.
Discretionary Dependency	Relatif sering menjadi <i>rework</i> jika tidak dikaji ulang.	Berpotensi menghambat alur proses.
Internal Dependency	Relatif mudah untuk dikendalikan, tetapi dapat menyebabkan <i>waiting time</i> .	Berpotensi menyebabkan <i>waste</i> , <i>waiting</i> , dan <i>overprocessing</i> .
External Dependency	Ketidakpastian yang menyebabkan keterlambatan.	Berpotensi mengganggu aliran proses.

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa dalam memitigasi terjadinya pekerjaan yang *bottleneck*, dapat dilakukan penentuan jalur kritis. Jalur kritis tersebut menjadi penentu durasi maksimal sebuah proyek dapat berlangsung. Menyusun jalur kritis membutuhkan estimasi durasi dan estimasi biaya setiap aktivitas. Estimasi durasi dapat dilakukan dengan pendekatan *three-point estimating*. Adapun contoh perhitungan *three-point estimating* pada pekerjaan pintu.

Durasi *Pessimistic* (P) = 21 hari
Durasi *Most-Likely* (M) = 19 hari
Durasi *Optimistic* (O) = 17 hari
Three-Point Estimating (E)

$$E = \frac{O+M+P}{3} = \frac{17+19+21}{3} = 19 \text{ hari}$$

Estimasi biaya dapat dilakukan dengan memperhatikan upah pekerja atau *direct cost* dan *indirect cost* berupa PPN dan *contingency reserve cost*. Nilai indeks standar remunerasi provinsi Jawa Barat sebesar 0.847 [25]. Tabel 3 merupakan acuan upah tenaga kerja.

Tabel 3. Acuan Upah Tenaga Kerja

No	Pekerja	Remunerasi/Biaya Personil [25]		
		Per Bulan	Per Bulan	Per Bulan
1.	Analisis Kontraktor (AK)	Rp13,975,500	Rp698,775	Rp87,347
2.	Project Manager (PM)	Rp10,587,500	Rp529,375	Rp66,172
3.	Analisis Lapangan (AL)	Rp 8,470,000	Rp423,500	Rp52,938
4.	Ahli Teknik (AT)	Rp13,975,500	Rp698,775	Rp87,347
5.	Ahli <i>Quality Assurance</i> (QA)	Rp13,975,500	Rp698,775	Rp87,347
6.	Site Project Coordinator (SP)	Rp13,975,500	Rp698,775	Rp87,347
7.	Analisis K3	Rp13,975,500	Rp698,775	Rp87,347
8.	Pekerja Proyek (PP)	Rp 5,082,000	Rp254,100	Rp31,763

Terdapat beberapa pekerja yang dibutuhkan dalam menyelesaikan sisa pekerjaan pada setiap aktivitas. Jumlah pekerja tersebut dihitung berdasarkan nilai produktivitas harian pekerja. Tabel 4 merupakan hasil perhitungan *project cost*.

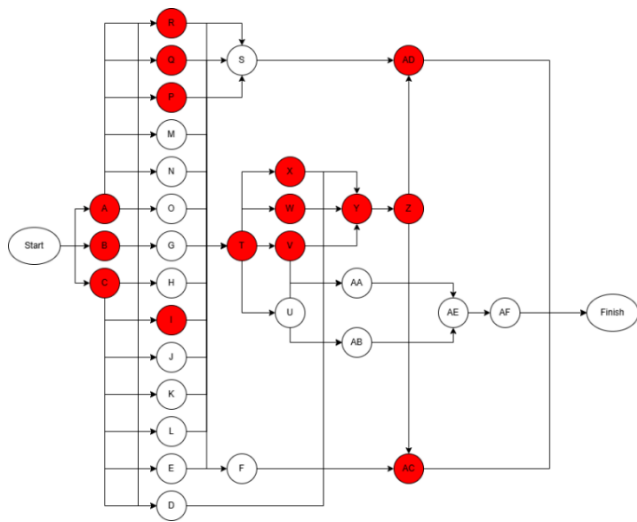
Tabel 4. Biaya Proyek

WBS Code	Aktivitas	Jumlah Pekerja							Harga Per Aktivitas
		SP	AK	PM	AL	AT	QA	PP	
1.1.1	Pintu	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
1.1.2	Jendela dan Buka	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
1.2	Pekerjaan Penyelesaian	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
1.3	Pekerjaan Perlengkapan	1	-	-	-	-	-	3	Rp29,221,500
2.1	Sistem Plumbing	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.2	Sistem Distribusi Gas	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
2.3.1	Hydrant System	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
2.3.2	Sprinkler System	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.4	Sistem Udara Tekan	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
2.5	Sistem Black Steam	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500

WBS Code	Aktivitas	Jumlah Pekerja							Harga Per Aktivitas
		SP	AK	PM	AL	AT	QA	PP	
1.1.1	Pintu	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
2.6	Sistem Cooling Process (Chilled Water)	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.7	Sistem Cooling Process (Ice Water)	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.8	Sistem Condensate Steam	1	-	-	-	-	-	2	Rp24,139,500
2.9	Pretreated Water	1	-	-	-	-	-	4	Rp34,303,500
2.10.1	Pekerjaan Peralatan, Valve, dan Pemipaan	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.10.2	Pekerjaan Ducting dan Aksesoris	1	-	-	-	-	-	20	Rp115,615,500
2.10.3	Pekerjaan Sistem Heating Coil	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.10.4	Pekerjaan Sistem Cooling Coil	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
2.10.5	Pekerjaan Sistem Ventilasi	1	-	-	-	-	-	20	Rp115,615,500
2.11	Sistem HVAC Area Office	1	-	-	-	-	-	20	Rp115,615,500
3.1	Pekerjaan Konstruksi Khusus	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
3.2.1	Sistem Distribusi Daya dan Sistem Penerangan	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
3.2.2	Sistem Telekomunikasi, Sistem Data, dan Sistem Tata Suara	1	-	-	-	-	-	8	Rp54,631,500
4	Pekerjaan Kontrol BMS & GMS	1	-	-	-	-	-	20	Rp115,615,500
5.1.1	IQ Plumbing	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.1.2	IQ HVAC	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.1.3	IQ Elektrikal	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.1.4	IQ Ruangan	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.2.1	OQ Plumbing	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.2.2	OQ HVAC	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.2.3	OQ Elektrikal	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
5.2.4	OQ Ruangan	1	2	1	2	1	1	1	Rp102,487,000
Analisis K3									Rp167,706,000
Total									Rp2,253,020,000

Pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa *direct cost* sebesar Rp2,253,020,000. Sedangkan *indirect cost* sebesar Rp450,604,000 dengan biaya *indirect cost* per hari sebesar Rp1,458,265.37.

Pada Proyek A, penentuan jalur kritis dilakukan dengan metode CPM dan didapatkan 15 aktivitas kritis. Gambar 5 merupakan *critical path* dari Proyek A.



Total Biaya Proyek
 = Biaya Langsung + Biaya Tidak Langsung
 = Rp2,254,103,895.31 + Rp463,728,388.35
 = Rp2,717,832,283.66

Penambahan 2 Jam Kerja

Crash Duration

Produktivitas setelah *crashing*
 = *Produktivitas per Hari*
 + (2 jam x *Produktivitas per Jam*)
 x *Koefisien Produktivitas Pekerja*
 = 3,34 + (2 jam x 0,42 x 80%)
 = 4,01 m/ hari

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Setelah Crashing}} = \frac{301}{4,01} = 75 \text{ hari}$$

Crash Cost

Upah Lembur
 = *Jumlah Pekerja x* $\frac{\text{Upah}}{\text{jam}}$ *x Peraturan Pemerintah*
 = ((20 x Rp31,763) + (1 x Rp87,347)) x (2)
 = Rp1,445,193.75 per hari

Total *crash cost* penambahan 2 jam kerja
 = *Normal cost* + *Upah lembur*
 = Rp115,615,500 + Rp1,445,193.75
 = Rp117,060,693.75 per hari

Cost Slope

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}} = \frac{\text{Rp117,060,693.75} - \text{Rp115,615,500}}{90 - 75} = \text{Rp96,346.25 per hari}$$

Rekapitulasi Biaya Proyek

Total Biaya Langsung
 = Biaya Langsung + Tambahan Biaya
 = Rp2,253,020,000 + Rp1,445,193.75
 = Rp2,254,465,193.75

Total Biaya Tidak Langsung
 = (Biaya Tidak Langsung Per Hari x Total *Crash*) + Biaya Tidak Langsung
 = (Rp1,458,265.37 x 15) + Rp450,604,000
 = Rp472,477,980.58

Total Biaya Proyek
 = Biaya Langsung + Biaya Tidak Langsung
 = Rp2,254,465,193.75 + Rp472,477,980.58
 = Rp2,726,943,174.33

Penambahan 3 Jam Kerja

Crash Duration

Produktivitas setelah *crashing*
 = *Produktivitas per Hari*
 + (3 jam x *Produktivitas per Jam*)
 x *Koefisien Produktivitas Pekerja*
 = 3,34 + (3 jam x 0,42 x 70%)
 = 4,22 m/ hari

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Setelah Crashing}} = \frac{301}{4,22} = 71,29 \approx 72 \text{ hari}$$

Crash Cost

Upah Lembur
 = *Jumlah Pekerja x* $\frac{\text{Upah}}{\text{jam}}$ *x Peraturan Pemerintah*
 = ((20 x Rp31,763) + (1 x Rp87,347)) x (1,5 + 2 + 2)
 = Rp3,974,282.81 per hari

Total *crash cost* penambahan 3 jam kerja
 = *Normal cost* + *Upah lembur*
 = Rp115,615,500 + Rp3,974,282.81
 = Rp119,589,782.81 per hari

Cost Slope

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}} = \frac{\text{Rp119,589,782.81} - \text{Rp115,615,500}}{90 - 72} = \text{Rp220,793.49 per hari}$$

Rekapitulasi Biaya Proyek

Total Biaya Langsung
 = Biaya Langsung + Tambahan Biaya
 = Rp2,253,020,000 + Rp3,974,282.81
 = Rp2,256,994,282.81

Total Biaya Tidak Langsung
 = (Biaya Tidak Langsung Per Hari x Total *Crash*) + Biaya Tidak Langsung
 = (Rp1,458,265.37 x 18) + Rp450,604,000
 = Rp476,852,776.70

Total Biaya Proyek
 = Biaya Langsung + Biaya Tidak Langsung
 = Rp2,253,020,000 + Rp476,852,776.70
 = Rp2,733,847,059.51

Penambahan 4 Jam Kerja

Crash Duration

Produktivitas setelah *crashing*
 = *Produktivitas per Hari*
 + (4 jam x *Produktivitas per Jam*)
 x *Koefisien Produktivitas Pekerja*
 = 3,34 + (4 jam x 0,42 x 60%)
 = 4,35 m/ hari

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Setelah Crashing}} = \frac{301}{4,35} = 69,23 \approx 70 \text{ hari}$$

Crash Cost

Upah Lembur
 = *Jumlah Pekerja x* $\frac{\text{Upah}}{\text{jam}}$ *x Peraturan Pemerintah*
 = ((20 x Rp31,763) + (1 x Rp87,347)) x (1,5 + 2 + 2 + 2)
 = Rp5,419,476.56 per hari

Total *crash cost* penambahan 4 jam kerja
 = *Normal cost* + *Upah lembur*
 = Rp115,615,500 + Rp5,419,476.56
 = Rp121,034,976.56 per hari

Cost Slope

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}}$$

$$= \frac{\text{Rp}121,034,976.56 - \text{Rp}115,615,500}{90 - 70}$$

$$= \text{Rp}270,973.83 \text{ per hari}$$

Rekapitulasi Biaya Proyek

Total Biaya Langsung
 = Biaya Langsung + Tambahan Biaya
 = Rp2,253,020,000 + Rp5,419,476.56
 = Rp2,258,439,476.56

Total Biaya Tidak Langsung
 = (Biaya Tidak Langsung Per Hari x Total *Crash*) + Biaya Tidak Langsung
 = (Rp1,458,265.37 x 20) + Rp450,604,000
 = Rp479,769,307.44

Total Biaya Proyek
 = Biaya Langsung + Biaya Tidak Langsung
 = Rp2,253,020,000 + Rp479,769,307.44
 = Rp2,738,208,784.01

Tabel 6 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan penambahan jam kerja.

Tabel 6. Rekapitulasi Penambahan Jam Kerja

Nama Aktivitas	Normal Duration	Crash Duration	Crash Cost	Cost Slope	Direct Cost	Indirect Cost	Total Cost
Normal					Rp 2,253,020,000	Rp 450,604,000	Rp 2,703,624,000
Pekerjaan <i>Ducting</i> & Aksesoris	90	81	Rp 116,699,395.31	Rp 120,432.81	Rp 2,254,103,895.31	Rp 463,728,388.35	Rp 2,717,832,283.66
Pekerjaan Sistem Ventilasi	90	81	Rp 116,699,395.31	Rp 120,432.81	Rp 2,254,103,895.31	Rp 463,728,388.35	Rp 2,717,832,283.66
Sistem HVAC Area Office	90	81	Rp 116,699,395.31	Rp 120,432.81	Rp 2,254,103,895.31	Rp 463,728,388.35	Rp 2,717,832,283.66
Sprinkler System	22	59	Rp 55,143,670.31	Rp 85,361.72	Rp 2,253,532,170.31	Rp 459,353,592.23	Rp 2,712,885,762.55
Pekerjaan Peralatan, Valve, dan Pemipaan	65	59	Rp 55,143,670.31	Rp 85,361.72	Rp 2,253,532,170.31	Rp 459,353,592.23	Rp 2,712,885,762.55
Pekerjaan Sistem Heating Coil	65	59	Rp 55,143,670.31	Rp 85,361.72	Rp 2,253,532,170.31	Rp 459,353,592.23	Rp 2,712,885,762.55
Pekerjaan Sistem Cooling Coil	65	59	Rp 55,143,670.31	Rp 85,361.72	Rp 2,253,532,170.31	Rp 459,353,592.23	Rp 2,712,885,762.55
Pekerjaan Penyelesaian	37	34	Rp 24,365,807.81	Rp 75,435.94	Rp 2,253,246,307.81	Rp 454,978,796.12	Rp 2,708,225,103.93
Pekerjaan Konstruksi Khusus	45	41	Rp 55,143,670.31	Rp 128,042.58	Rp 2,253,532,170.31	Rp 456,437,061.49	Rp 2,709,969,231.80

Nama Aktivitas	Normal Duration	Crash Duration	Crash Cost	Cost Slope	Direct Cost	Indirect Cost	Total Cost
Sistem Distribusi Data dan Sistem Penerangan	45	41	Rp 55,143,670.31	Rp 128,042.58	Rp 2,253,532,170.31	Rp 456,437,061.49	Rp 2,709,969,231.80
Sistem Telekomunikasi, Sistem Data, dan Sistem Tata Suara	45	41	Rp 55,143,670.31	Rp 128,042.58	Rp 2,253,532,170.31	Rp 456,437,061.49	Rp 2,709,969,231.80
IQ Elektrikal	30	27	Rp 102,999,170.31	Rp 170,723.44	Rp 2,253,532,170.31	Rp 454,978,796.12	Rp 2,708,510,966.43
OQ Elektrikal	14	13	Rp 102,999,170.31	Rp 512,170.31	Rp 2,253,532,170.31	Rp 452,062,265.37	Rp 2,705,594,435.68
OQ Plumbing	30	27	Rp 102,999,170.31	Rp 170,723.44	Rp 2,253,532,170.31	Rp 454,978,796.12	Rp 2,708,510,966.43
OQ HVAC	30	27	Rp 102,999,170.31	Rp 170,723.44	Rp 2,253,532,170.31	Rp 454,978,796.12	Rp 2,708,510,966.43

Perancangan percepatan jadwal pada alternatif penambahan tenaga kerja hanya dilakukan pada tujuh aktivitas. Hal ini dikarenakan aktivitas lainnya tidak dapat dilakukan penambahan karena keterbatasan area pekerjaan. Adapun contoh perhitungan *crash duration*, *crash cost*, dan *cost slope* untuk pekerjaan *ducting* dan aksesoris.

Penambahan Tenaga Kerja

Crash Duration

Volume Pekerjaan = 301 m
 Jumlah Pekerja Normal = 20 orang
 Koef. Penambahan = 25%

Akumulasi Penambahan Tenaga Kerja
 = Jumlah Pekerja x Koef. Penambahan
 = 20 orang x 25%
 = 5 orang

Total Pekerja
 = Jumlah Pekerja Normal + Akumulasi Penambahan
 = 20 orang + 5 orang
 = 25 orang

Produktivitas per hari = $\frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi Normal}}$
 = $\frac{301}{90}$
 = 3,34 m/ hari

Produktivitas per jam = $\frac{\text{Produktivitas Per Hari}}{\text{Jam Kerja Per Hari}}$
 = $\frac{3,34}{8}$
 = 0,42 m/ jam

Produktivitas Penambahan Pekerja
 = $\frac{\text{Produktivitas Per Hari} \times \text{Total Pekerja}}{\text{Pekerja}}$
 = $\frac{3,34 \times 25}{20}$
 = 4,18 m/ orang

Crash duration

$$= \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Penambahan Pekerja}}$$

$$= \frac{301}{4,18}$$

$$= 72,096 \approx 72 \text{ hari}$$

Crash Cost

$$\text{Upah per hari} = \text{Rp}254,100$$

$$\text{Penambahan Tenaga Kerja} = 5 \text{ orang}$$

$$\text{Biaya Normal} = \text{Rp}101,640,000$$

$$\text{Upah Penambahan per Hari} = \text{Rp}254,100 \times 5 \text{ orang}$$

$$= \text{Rp}1,270,500$$

$$\text{Total Crash Cost} = \text{Biaya Normal} + \text{Upah Penambahan}$$

$$= \text{Rp}101,640,000 + \text{Rp}1,270,500$$

$$= \text{Rp}102,910,500$$

Cost Slope

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}}$$

$$= \frac{\text{Rp}102,910,500 - \text{Rp}101,640,000}{90 - 72}$$

$$= \text{Rp}70,583.33 \text{ per hari}$$

Rekapitulasi Biaya Proyek

Total Biaya Langsung

$$= \text{Total Biaya} + \text{Tambahan Biaya}$$

$$= \text{Rp}1,638,098,000 + \text{Rp}1,270,500$$

$$= \text{Rp}1,639,368,500$$

Total Biaya Tidak Langsung

$$= (\text{Biaya Tidak Langsung Per Hari} \times \text{Total Crash}) + \text{Biaya Tidak Langsung}$$

$$= (\text{Rp}530,128.80 \times 18) + \text{Rp}163,809,800$$

$$= \text{Rp}174,412,376.05$$

Total Biaya Proyek

$$= \text{Biaya Langsung} + \text{Biaya Tidak Langsung}$$

$$= \text{Rp}1,639,368,500 + \text{Rp}174,412,376.05$$

$$= \text{Rp}1,812,720,618.45$$

Tabel 7 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan penambahan tenaga kerja.

Tabel 7. Rekapitulasi Penambahan Tenaga Kerja

Nama Aktivitas	Normal Duration	Crash Duration	Crash Cost	Cost Slope	Direct Cost	Indirect Cost	Total Cost
Normal					Rp 2,253,020,000	Rp 450,604,000	Rp 2,703,624,000
Pekerjaan Ducting & Aksesoris	90	70	Rp 117,140,100	Rp 76,230	Rp 2,254,544,600	Rp 479,769,307.44	Rp 2,734,313,907.44
Pekerjaan Sistem Ventilasi	90	70	Rp 117,140,100	Rp 76,230	Rp 2,254,544,600	Rp 479,769,307.44	Rp 2,734,313,907.44
Pekerjaan Sistem Cooling Coil	65	63	Rp 55,655,840	Rp 512,170.31	Rp 2,254,044,340.63	Rp 453,520,530.74	Rp 2,707,564,871.37
IQ Elektrikal	30	27	Rp 103,127,543.75	Rp 23,723.84	Rp 2,253,660,543.75	Rp 489,977,165.05	Rp 2,743,637,708.80

Nama Aktivitas	Normal Duration	Crash Duration	Crash Cost	Cost Slope	Direct Cost	Indirect Cost	Total Cost
OQ Elektrikal	14	2	Rp 103,127,543.75	Rp 53,378.65	Rp 2,253,660,543.75	Rp 468,103,184.47	Rp 2,721,763,728.22
OQ Plumbing	30	7	Rp 103,127,543.75	Rp 27,849.73	Rp 2,253,660,543.75	Rp 484,144,103.56	Rp 2,737,804,647.31
OQ HVAC	30	7	Rp 103,127,543.75	Rp 27,849.73	Rp 2,253,660,543.75	Rp 484,144,103.56	Rp 2,737,804,647.31

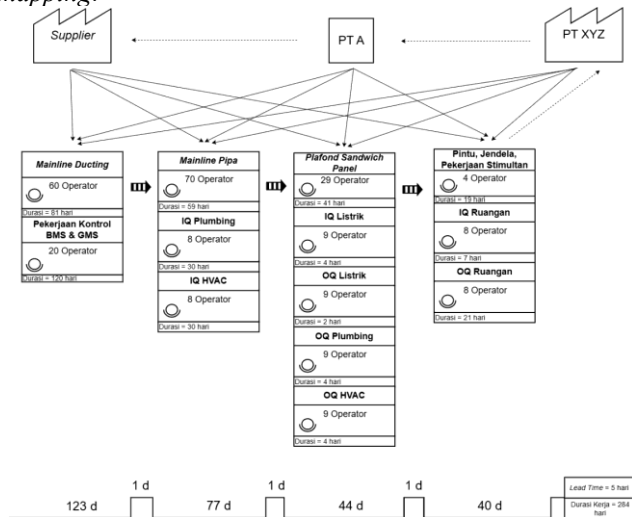
Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 dapat diketahui terdapat dua alternatif yang dapat dilakukan dalam merancang percepatan jadwal menggunakan metode *crashing*. Dari dua alternatif tersebut perlu dilakukan pemilihan alternatif paling optimal dari setiap aktivitas. Penentuan nilai paling optimal didapatkan dari nilai kompresi yang terpilih kemudian dibandingkan biaya aktivitas dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja. Tabel 8 merupakan hasil rekapitulasi dalam memilih alternatif yang digunakan dalam percepatan jadwal.

Tabel 8. Rekapitulasi Pemilihan Alternatif

Nama Aktivitas	Normal Duration	Crash Duration	Crash Cost	Cost Slope
Pekerjaan Ducting & Aksesoris	Penambahan Jam Kerja	81	Rp 115,615,500	Rp 116,699,395
Pekerjaan Sistem Ventilasi	Penambahan Jam Kerja	81	Rp 115,615,500	Rp 116,699,395
Sistem HVAC Area Office	Penambahan Jam Kerja	81	Rp 115,615,500	Rp 116,699,395
Sprinkler System	Normal	120	Rp 115,615,500	-
Pekerjaan Peralatan, Valve, dan Pemipaan	Normal	28	Rp 54,631,500	-
Pekerjaan Sistem Heating Coil	Normal	30	Rp 102,487,000	-
Pekerjaan Sistem Cooling Coil	Normal	8	Rp 24,139,500	-
Pekerjaan Penyelesaian	Normal	22	Rp 24,139,500	-
Pekerjaan Konstruksi Khusus	Penambahan Jam Kerja	59	Rp 54,631,500	Rp 55,143,670
Sistem Distribusi Data dan Sistem Penerangan	Normal	8	Rp 24,139,500	-
Sistem Telekomunikasi, Sistem Data, dan Sistem Tata Suara	Normal	8	Rp 24,139,500	-
IQ Elektrikal	Normal	28	Rp 54,631,500	-
OQ Elektrikal	Normal	28	Rp 54,631,500	-
OQ Plumbing	Normal	8	Rp 24,139,500	-
OQ HVAC	Normal	8	Rp 34,303,500	-

Dari Tabel 8, dapat diketahui bahwa telah dilakukan perubahan proses *macro* dan proses *micro* pada Proyek A Lantai D. Perubahan tersebut telah mempertimbangkan keterkaitan antar aktivitas dan analisis potensi *waste* pada VSM *current state*. Gambar 6 merupakan visualisasi alur

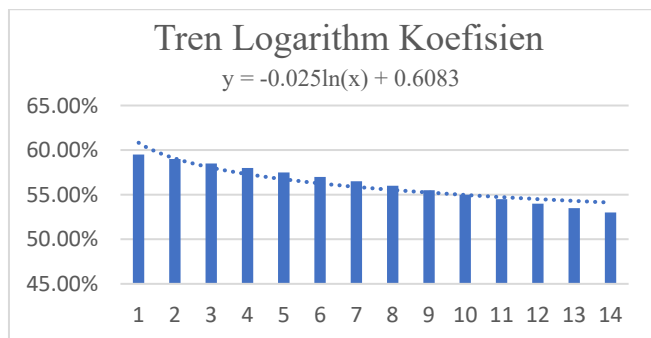
proses Proyek A pada *future state* menggunakan *value stream mapping*.



Gambar 6. *Value Stream Mapping Future State*

Berdasarkan hasil perancangan dapat diketahui bahwa, penerapan prinsip *lean* pada perancangan percepatan jadwal menggunakan metode *crashing* memberikan kontribusi terhadap memperbaiki proses *macro* pengerjaan Proyek A Lantai D. Melalui identifikasi *waste activity* pada *value stream mapping current state* dapat mengetahui aktivitas yang berpotensi *waste* dan *bottleneck* yang dapat dioptimalisasikan dengan menyesuaikan durasi pekerjaan dan hubungan antar pekerjaan. Hal ini selaras dengan prinsip *lean* yang ketiga, yaitu *flow* sehingga dapat mengurangi pemborosan, yaitu *waiting*. Maka dari itu, hasil perancangan ini telah sesuai dan berhasil mengubah proses *macro* Proyek A Lantai D dengan mempertimbangkan hubungan antar aktivitas. Setelah dilakukan percepatan menggunakan metode *crashing*, terjadi percepatan durasi menjadi 235 hari dengan, total biaya proyek sebesar Rp2,712,735,867 atau adanya penurunan durasi sebesar 37.22%, kenaikan harga sebesar 0.34%, dan mengurangi *waste* sebesar 40%. Hasil rancangan tersebut sudah sesuai dengan harapan *stakeholder* agar proyek dapat selesai pada bulan Desember 2025.

Analisis sensitivitas dilakukan terhadap penurunan produktivitas pekerja. Pada perancangan ini, penurunan produktivitas pekerja pada kompresi kelima menurun pada rentang 0.2% - 0.5%. Persentase penurunan didapatkan berdasarkan rumus tren logaritma yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tren Logaritma Terhadap Penurunan Produktivitas Pekerja

Penurunan produktivitas memiliki pengaruh terhadap percepatan durasi pada perhitungan penambahan jam kerja. Hubungan antara produktivitas dan durasi kerja berbanding lurus. Apabila penambahan jam kerja atau lembur semakin banyak, maka produktivitas pekerja akan semakin menurun. Berdasarkan hasil uji coba pada penambahan jam kerja hingga 18 jam diketahui bahwa penurunan produktivitas mencapai 54.06%. Apabila dilakukan hingga 23 jam, penurunan produktivitas pekerja mencapai 53.34% yang merupakan batas rata-rata penurunan produktivitas pekerja menurut [29]. Akan tetapi, berdasarkan aturan pemerintah bahwa jumlah jam lembur dalam seminggu maksimal 18 jam. Hal tersebut telah melampaui batas waktu jam lembur yang dilakukan sehingga target durasi hasil penambahan jam kerja tidak lagi efisien.

Dalam menerapkan hasil perancangan percepatan proyek dengan metode *crashing* dan pendekatan prinsip *lean*, PT A sebagai pelaksana proyek dan PT XYZ sebagai sponsor perlu melakukan sejumlah upaya strategis. Upaya tersebut mencakup pengelolaan waktu dengan memperbarui *baseline* jadwal proyek, pengelolaan sumber daya melalui penyesuaian kapasitas dan produktivitas pekerja secara rutin, serta pengelolaan biaya agar tetap sesuai anggaran dan menyisakan *contingency reserve cost*. Implementasi percepatan dilakukan dengan menambah jam kerja dan tenaga kerja, disertai pengaturan shift untuk mencegah kelelahan dan pemborosan. Selain itu, perusahaan perlu memetakan kapasitas kerja di lapangan agar tidak terjadi benturan pekerjaan. Tantangan utama dalam penerapan ini meliputi penyesuaian metode kerja, kompleksitas pelaksanaan, perubahan durasi proyek, serta kebutuhan pengawasan yang lebih intensif. Untuk mengatasi tantangan tersebut, perusahaan dapat menyusun SOP terbaru, membangun komunikasi efektif dengan seluruh *stakeholder*, serta memberikan pelatihan dalam analisis pemborosan. Dukungan teknologi juga dioptimalkan dengan penggunaan Primavera P6 sebagai alat *monitoring* dan *controlling*, yang diintegrasikan dengan PMIS untuk pengambilan keputusan secara *real-time* berdasarkan data dan *lesson learned*. Selain itu, penerapan sistem *just-in-time delivery* bersama vendor serta penjadwalan *shift* kerja juga menjadi solusi kunci guna menjaga stabilitas dan produktivitas proyek di lapangan.

V. KESIMPULAN

Hadirnya prinsip *lean* dalam perancangan percepatan menggunakan metode *crashing*, mampu memperbaiki proses yang termasuk *waste activity* berdasarkan *dependency activity*. Hasil dari perancangan percepatan jadwal pada Proyek A Lantai D menggunakan metode *crashing* adalah terjadi percepatan durasi dari 309 hari menjadi 235 hari dengan, total biaya proyek sebesar Rp2,712,735,867 atau adanya penurunan durasi sebesar 37.22%, kenaikan harga sebesar 0.34%, dan mengurangi *waste* sebesar 40%. Hadirnya prinsip *lean* membantu dalam memperbaiki proses pekerjaan berdasarkan *dependency activity* dari setiap pekerjaan.

REFERENSI

- [1] M. Dlamini and R. Cumberlege, "The impact of cost overruns and delays in the construction business," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Feb. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/654/1/012029.
- [2] Project Management Institute, *Guide to the project management body of knowledge*, 6th ed. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc, 2017.
- [3] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon & Schuster Inc, 2003.
- [4] S. Chandran, A. Alothman, and L. Krishnaraj, "Case Study on Effective Utilization of Wastes by Implementing Lean Principles in the Auditorium Building," in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 135–151. doi: 10.1007/978-981-16-6403-8_12.
- [5] D. Klosova and M. Kozlovská, "Methods for Identifying Non-Value-Adding Activities in Construction Processes," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1209/1/012032.
- [6] P. Laia and Marwan, "Penerapan Lean Manufacturing Untuk Meminimalkan Waste Pada Bagian Produksi Di PT. Mechmar Jaya Industri Application of Lean Manufacturing to Minimize Waste in the Production Department at PT. Mechmar Jaya Industri," *Jurnal Teknik Dan Industri*, vol. 2, pp. 61–76, Mar. 2024, [Online]. Available: <http://kti.potensi-utama.ac.id/index.php/JTTI>
- [7] M. A. Berawi, M. Sari, P. Miraj, Mardiansyah, G. Saroji, and B. Susantono, "Lean Construction Practice on Toll Road Project Improvement: A Case Study in Developing Country," *Civil Engineering Journal*, vol. 9, no. 12, pp. 3186–3201, Dec. 2023, doi: 10.28991/CEJ-2023-09-12-016.
- [8] M. G. Tetteh-Caesar, S. Gupta, K. Salonitis, and S. Jagtap, "Implementing Lean 4.0: A Review of Case Studies in Pharmaceutical Industry Transformation," *Technological Sustainability*, vol. 3, no. 3, pp. 354–372, Apr. 2024, doi: 10.1108/TECHS-02-2024-0012.
- [9] D. Pratami, A. R. Bermanto, and H. Amani, "Implementing Ethical Decision Making Process To Project Amendment Contract," Sep. 2019.
- [10] M. Sheikhhoshkar, H. B. El-Haouzi, A. Aubry, F. Hamzeh, and M. Poshdar, "Analyzing the Lean Principles in Integrated Planning and Scheduling Methods," in *Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)*, International Group for Lean Construction, Jun. 2023, pp. 1196–1207. doi: doi.org/10.24928/2023/0159.
- [11] K. Gibbs et al., *ISPE Good Practice Guide: Project Management for the Pharmaceutical Industry*. ISPE, 2011. [Online]. Available: www.ipsdb.com
- [12] B. N. Kurniawan and N. B. Mulyono, "Minimizing Delay in Construction Project at PT Freeport Indonesia using Crashing CPM-PERT Approach and Monte Carlo Simulation," *European Journal of Business and Management Research*, vol. 9, no. 5, pp. 61–69, Sep. 2024, doi: 10.24018/ejbmr.2024.9.5.2448.
- [13] I. Habibi, F. Z. Nugraha, and S. Sutrisno, "Penerapan Critical Path Method pada Penyelesaian Proyek Rehabilitasi Jalan Parigi Lama di Kabupaten Sumedang," *Jurnal Teknik Sistem dan Industri*, vol. 4, no. 01, pp. 1–10, May 2023, doi: <https://doi.org/10.35261/gijtsi.v4i01.8307>.
- [14] S. Mubarak, *Construction Project: Schedule and Control*, 2nd ed. Pearson Education, Inc, 2010.
- [15] Wasito and A. Y. Syaikhudin, "Studi Penerapan Critical Path Metode (CPM) Pada Proyek Pembangunan Pabrik Semen Rembang PT Semen Gresik," *Journal of Management and Accounting*, vol. 3, no. 2, pp. 74–91, 2020, doi: <https://doi.org/10.52166/j-macc.v3i2.2072>.
- [16] P. F. Dewi and Z. R. Kamandang, "Optimizing Project Performance by Applying the Crashing Method to Road Construction Project," *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET)*, vol. 5, no. 2, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.26877/asset.v5i2.15944>.
- [17] R. Novitasari and I. Iftadi, "Analisis Lean Manufacturing untuk Minimasi Waste pada Proses Door PU," *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 6, no. 1, pp. 65–74, Jun. 2020, doi: 10.30656/intech.v6i1.2045.
- [18] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster UK, 1996.
- [19] B. Moshood Adegbite, "Applying Lean Principles to Eliminate Project Waste, Maximize Value, Cut Superfluous Steps, Reduce Rework and Focus on Customer Centricity," *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, vol. 9, no. 2, pp. 1760–1768, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24FEB1682>.
- [20] D. Pratami, N. A. Puspitasari, and I. Haryono, "Designing Project Stakeholder Management Plan at Coffee Plant Construction Project for Successful Initiating Phase in Ciwidey," *International Journal of Innovation in Enterprise System*, vol. 01, pp. 19–28, Jul. 2017.
- [21] Q. Amarkhil and E. Elwakil, "Enhanced Planning and Scheduling in Building Construction Projects: An Innovative Approach to Overcome Scheduling Challenges," *International Journal of Construction Management*, vol. 24, no. 16, pp. 1719–1729, 2023, doi: <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2286888>.
- [22] A. Mohammadi, C. Igwe, L. Amador-Jimenez, and F. Nasiri, "Applying Lean Construction Principles in Road Maintenance Planning and Scheduling," *International Journal of Construction Management*, pp. 1–11, 2020, doi: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788758>.
- [23] M. Ramadan, B. Salah, M. Othman, and A. A. Ayubali, "Industry 4.0-Based Real-Time Scheduling

- and Dispatching in Lean Manufacturing Systems,” *Sustainability*, vol. 12, Mar. 2020, doi: 10.3390/su12062272.
- [24] D. L. Pereira, J. C. Alves, and M. C. de O. Moreira, “A Multiperiod Workforce Scheduling and Routing Problem with Dependent Tasks,” *Comput Oper Res*, vol. 118, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104930>.
- [25] INKINDO, *Pedoman Standar Minimal Tahun 2025 Remunerasi/Biaya Personil dan Biaya Langsung Untuk Badan Usaha Jasa Konsultasi*. Jakarta: INKINDO, 2025. [Online]. Available: www.inkindo.org
- [26] Badan Pemeriksa Keuangan Negara, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja.”
- [27] A. Ridwan, “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*, vol. 11, no. 1, pp. 35–53, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.30649/japk.v11i1.61>.
- [28] M. Ozdemir, S. Pehlivan, and M. Melikoglu, “Estimation of Greenhouse Gas Emissions Using Linear and Logarithmic Models: A Scenario-Based Approach for Turkiye’s 2030 Vision,” *Energy Nexus*, vol. 13, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100264>.
- [29] C. P. Hudoyo and A. Sismiani, “Humantech Jurnal Ilmiah Multi Disiplin Indonesia Analisis Pengaruh Kerja Lembur Terhadap Produktivitas Pekerja Konstruksi Pada Proyek Pembangunan Gedung,” vol. 1306–1313, Jul. 2022.
- [30] S. R. Feriansyah, D. Pratami, and P. Yasa, “Perancangan Jadwal dan Biaya untuk Proyek Pengembangan Aplikasi Core System di PT. XYZ Menggunakan Metode Crashing,” *Proceeding of Engineering*, vol. 10, no. 3, p. 2471, Jun. 2023.
- [31] D. A. Herfirsta, D. Pratami, and S. Widyasthana, “Perancangan Ulang Baseline Jadwal Proyek Shift To The Front (STTF) Galanggang Batujajar di PT XYZ dengan Menggunakan Metode Crashing,” *e-Proceeding of Engineering*, vol. 10, no. 3, p. 2925, Jun. 2023.
- [32] J. Nicholas and H. Steyn, *Project Management For Engineering, Business, And Technology*, 5th ed. New York: Routledge, 2017.
- [33] Z. Sh. P. Anugerah, D. Pratami, and M. Deni Akbar, “Designing Project Schedule Using Crashing Method To Compress The Fiber To The Home Project Schedule,” *International Journal of Industrial Optimization*, vol. 2, no. 1, pp. 51–62, 2021.