

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengumpulan Data dan Kondisi Aktual (*Baseline*)

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari dokumen *Completion and Acceptance Certificate (CAC)*, gambar Hull Expansion, dan spesifikasi prosedur pengelasan atau *Welding Procedure Specification (WPS)* milik PT Dharma Sentosa Marindo.

Fokus penelitian ini adalah pada pekerjaan Steel Work (penggantian pelat lambung), di mana volume pengelasan dihitung berdasarkan parameter keliling las (*Around*) dari setiap pelat yang diganti, termasuk konstruksi internal yang melekat padanya. Berdasarkan data rekapitulasi material, area pekerjaan yang dievaluasi tidak hanya mencakup pelat kulit (*shell plate*), tetapi juga mencakup pembaharuan profil tulangan penguat (*Internal Construction*) seperti Girder, Web Frame, dan Longitudinal (Pelat siku / Angle Bar ukuran 125 x 75 mm).

Salah satu area dengan volume pekerjaan terbesar adalah Bottom Plate Void Tank 01 & 02 (Fr 98-116) dengan dimensi pelat masif 9150 x 2450 mm beserta rangkaian profil internal di baliknya.

### 4.2 Perhitungan Durasi Analitis Berdasarkan WPS

Berbeda dengan galangan yang menggunakan pendekatan estimasi makro/tonase, penelitian ini menghitung durasi pekerjaan secara mikro dan deterministik menggunakan parameter kecepatan pengelasan dari *Welding Procedure Specification (WPS)* No. 011/WPS-DSM/VI/2017. Berdasarkan data detail dimensi pelat dari dokumen *Cost and Assessment Calculation (CAC)*, dilakukan perhitungan beban kerja per lembar pelat dengan formulasi waktu ( $\text{Waktu} = \text{Panjang Las} \times \text{Jumlah Pass} / (\text{Welding Rate} \times \text{Operating Factor})$ ).

Sesuai dengan Batasan Masalah pada Bab I serta penetapan parameter Variabel Kontrol pada Bab III, nilai *Operating Factor (OF)* di dalam seluruh perhitungan durasi analitis ini diterapkan secara konstan sebesar **0,3**. Penentuan angka konstan 0,3 ini diambil sebagai representasi nilai rata-rata limitasi efisiensi kerja aktual pada lingkup proyek reparasi kapal (*ship repair*). Secara teoritis manajemen proyek, nilai ini mengindikasikan bahwa dari total jam kerja yang tersedia di galangan, hanya sekitar 30% waktu yang benar-benar digunakan secara efektif oleh tenaga kerja untuk melakukan aktivitas pengelasan murni atau menyalakan busur las (*arc-on time*).

Sementara itu, sisa 70% waktu kerja lainnya merupakan proporsi waktu tidak produktif (*non-productive time*) yang secara kontinuitas tidak dapat dihindari di lapangan. Faktor kehilangan waktu tersebut meliputi proses persiapan material, penyetelan peralatan trafo las, pembersihan terak (*slag*) menggunakan gerinda, pergantian posisi kerja, serta frekuensi inspeksi berkala yang harus dilakukan di antara tahapan *cropping*, *fit-up*, hingga pengelasan penuh selesai. Lebih jauh lagi, karakteristik area kerja replating pada lambung kapal yang didominasi oleh ruang terbatas (*confined space*) seperti di dalam *Void Tank* memicu tingginya kelelahan fisik pekerja, sehingga membutuhkan jeda istirahat yang lebih sering dan menurunkan nilai efisiensi kerja harian.

Dengan mengunci nilai OF pada angka 0,3 sebagai variabel kontrol di seluruh item pekerjaan, model estimasi durasi analitis ini menjadi lebih objektif dan memiliki dasar standar perbandingan yang konsisten. Pendekatan ini memastikan bahwa variasi durasi total proyek murni dipengaruhi oleh parameter dimensi fisik pelat, posisi pengelasan (*Welding Rate*), dan panjang sambungan las aktual (Variabel Independen), bukan akibat subjektivitas estimasi performa harian tenaga kerja di lapangan.

No	MAIN JOB DESCRIPTION STEEL WORK	Position	Plate	DIMENSION (mm)			QTY	Around	Pass	WR (mm/min)	OF	Waktu (Th)	Manpower (M)	Durasi Aktual		
				Large	Wide	Thickness										
1	10.2 Crop & renew leaking/corroded hull bottom c/w internal construction/iwo cargo room, void tank & wing tank stbd	Bottom plate Strike A, B dan C Fr. 28-35 void tank No 7 Stbd	Bottom plate	4100	2460	10	1	13120	4	87,92	0,3	420	1	4,74		
			Bottom plate	4100	1000	10	1	10200	4	87,92	0,3	420	1	3,68		
			Bottom plate	500	440	10	1	1880	4	87,92	0,3	420	1	0,68		
			Internal construction													
			Web frame	1370	210	10	1	3160	4	87,92	0,3	420	1	1,14		
			Access to work													
			Crop & refit back	2000	300	10	1	4600	4	87,92	0,3	420	1	1,66		
			Crop & refit back	1300	300	10	1	3200	4	87,92	0,3	420	1	1,16		
Crop & refit back	1150	300	10	1	2900	4	87,92	0,3	420	1	1,05					

Gambar 4. 1 Format Tabel Estimasi Durasi Analitis Menggunakan Microsoft Excel

Tabel di atas menunjukkan bagaimana variabel dimensi pelat, batasan posisi, dan spesifikasi pengelasan sangat memengaruhi durasi penyelesaian di masing-masing area. Berdasarkan data WPS aktual, pengelasan pelat lambung ini mensyaratkan 4 kali lintasan las (*Pass*). Hal ini membuat beban durasi pengelasan meningkat secara terukur dan signifikan.

Berdasarkan perhitungan pada tabel keseluruhan (tersedia pada Lampiran), diperoleh total akumulasi beban kerja mentah (*Total Man-Days*) sebesar 108 Hari Kerja (dengan asumsi dikerjakan secara berurutan oleh nilai *Manpower* / M = 1 Regu Welder). Angka ini merepresentasikan murni total waktu volume pekerjaan pengelasan sebelum dilakukan tahapan optimalisasi.

### 4.3 Analisis Komparasi Metode (Galangan vs Analitis)

Terdapat perbedaan angka yang sangat signifikan antara akumulasi durasi aktif pada *Master Schedule* galangan (37 Hari) dengan hasil perhitungan analitis beban kerja menggunakan parameter WPS (108 Hari). Perbedaan ini bukan merupakan sebuah anomali atau kesalahan hitung, melainkan konsekuensi dari perbedaan pendekatan manajemen yang digunakan. Perbandingan karakteristik kedua metode tersebut dijabarkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Perbandingan Karakteristik Penjadwalan Galangan vs Analitis

Aspek Perbandingan	<i>Master Schedule</i> Galangan (Kondisi Aktual)	Perhitungan Analitis Skripsi (Metode Usulan)
<b>1. Pendekatan Estimasi</b>	Makro dan Empiris ( <i>Rule of Thumb</i> / Pengalaman).	Mikro dan Deterministik (Matematis berdasarkan parameter WPS).
<b>2. Parameter Utama</b>	Estimasi umum berdasarkan berat pelat (tonase).	Detail: Keliling Las, Jumlah Lapis (4 <i>Pass</i> ), <i>Welding Rate</i> , dan <i>Operating Factor</i> .
<b>3. Akumulasi Durasi</b>	Langsung memunculkan durasi kalender pendek karena mengasumsikan pekerjaan sudah berjalan paralel.	Menghitung Total Beban Kerja ( <i>Man-Days</i> ) terlebih dahulu (akumulasi total 108 hari)

<b>4. Transparansi Manpower</b>	Jumlah regu yang dialokasikan tidak dijabarkan secara terperinci.	Variabel <i>Manpower</i> ( <i>M</i> ) secara eksplisit menjadi faktor pembagi durasi di lapangan.
---------------------------------	---	---

Angka 108 Hari pada perhitungan analitis merupakan representasi dari total beban kerja murni jika seluruh rangkaian penggantian pelat dieksekusi oleh hanya 1 (satu) regu kerja ( $M=1$ ) secara berurutan (*Finish-to-Start*). Sedangkan angka 37 Hari pada jadwal galangan adalah durasi kalender yang sudah mempertimbangkan eksekusi pekerjaan secara bersamaan.

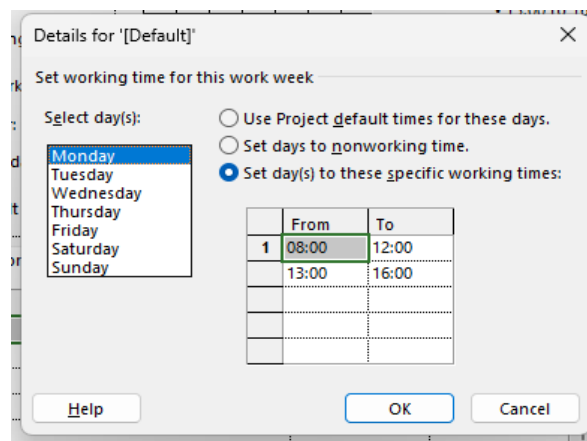
Oleh karena itu, untuk mengonversi beban kerja 108 hari ini menjadi jadwal proyek yang efisien (menjadi di bawah 37 hari), diperlukan tahap pemodelan jaringan kerja menggunakan *Critical Path Method* (CPM) untuk mengatur strategi paralelitas pekerjaan dan penambahan jumlah unit *Manpower* secara terukur.

#### 4.4 Pemodelan CPM dan Optimalisasi pada *Microsoft Project*

Data beban kerja murni (*Total Man-Days*) sebesar 108 Hari Kerja yang diperoleh dari perhitungan analitis pada subbab sebelumnya, selanjutnya diintegrasikan ke dalam perangkat lunak *Microsoft Project* untuk disusun menjadi sebuah jadwal proyek (*Network Planning*) yang aplikatif.

##### 4.4.1 Pengaturan Sistem Kalender Proyek (Project Calendar)

Sebelum memasukkan durasi pekerjaan, penyesuaian kalender proyek wajib dilakukan agar simulasi jadwal 100% presisi dengan realita di lapangan. Pada perhitungan analitis menggunakan Microsoft Excel, durasi dihitung menggunakan standar beban kerja murni dengan pembagi 420 menit (7 jam/hari). Namun pada aktualnya, galangan menerapkan sistem kerja yang berbeda pada akhir pekan.



Gambar 4. 2 Penyetelan Waktu Kerja Efektif Galangan Kapal pada MS Project

Untuk mengakomodasi hal tersebut, dilakukan modifikasi pada fitur *Change Working Time* di *Microsoft Project* dengan rincian:

- **Senin - Jumat:** Ditetapkan sebagai hari kerja penuh selama 7 jam kerja efektif.
- **Sabtu:** Ditetapkan sebagai hari kerja pendek selama 5 jam kerja efektif.
- **Minggu:** Ditetapkan sebagai hari libur (*Non-working time*).

Dengan pengaturan ini, perangkat lunak akan secara otomatis menyesuaikan (*stretching*) sisa durasi aktivitas pengelasan apabila pelaksanaannya jatuh dan melewati hari Sabtu atau Minggu, sehingga tidak ada jam kerja yang terhitung salah atau hilang.

#### 4.4.2 Pemetaan Logika Ketergantungan dan Durasi *Fit-up*

Langkah kedua dalam pemodelan *Critical Path Method* (CPM) adalah mengatur logika urutan antar aktivitas. Selain mengatur pemetaan secara paralel berdasarkan lokasi area (sisi *Port* dan *Starboard*), logika ketergantungan juga diterapkan secara ketat pada jenis pekerjaan.

Perhitungan analitis menggunakan parameter WPS pada Subbab 4.2 menghasilkan nilai durasi yang murni merupakan waktu pengelasan (*Welding*). Namun pada realita lapangan, proses pengelasan harus didahului oleh proses pabrikan, ukur, potong, dan las titik (*tack weld*) yang dieksekusi oleh regu *Fitter*. Untuk mengakomodasi hal tersebut ke dalam jadwal, penelitian ini menerapkan pendekatan hibrida:

##### 1. Durasi *Fabricate & Fit-up* (Fitter):

Diestimasi menggunakan pendekatan empiris berdasarkan data historis galangan, yaitu dialokasikan waktu sekitar 2 hingga 3 hari kerja sebelum pengelasan penuh (*full welding*) dimulai.

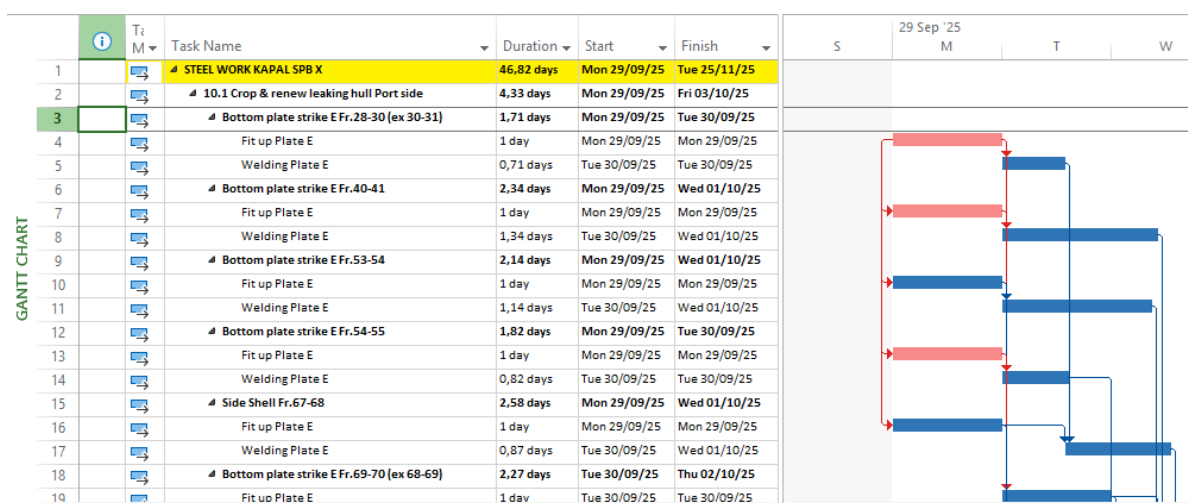
##### 2. Logika *Overlapping*:

Pada pemodelan *Microsoft Project*, pekerjaan *Fitter* dan *Welder* diparalelkan menggunakan logika *Start-to-Start* (SS) dengan jeda waktu (*Lag time*) 1 hingga 2 hari.

##### 3. Logika Penutupan Akses (*Access to Work*):

Khusus untuk pelat yang difungsikan sebagai lubang akses keluar-masuk (*Access to Work*), diterapkan logika *Finish-to-Start* (FS) terhadap seluruh pekerjaan internal di dalam tangki terkait. Hal ini memastikan bahwa pelat kulit penutup hanya akan dilas kembali pada tahap paling akhir setelah seluruh inspeksi di dalam ruangan tersebut selesai (K3).

Dengan penerapan logika SS + *Lag Time* ini, regu *Welder* dapat langsung masuk mengelas pelat pertama yang sudah selesai dirakit oleh regu *Fitter*, sementara regu *Fitter* melanjutkan perakitan pelat berikutnya. Meskipun logika telah dibuat sangat realistis dan paralel, simulasi awal pada *Microsoft Project* dengan asumsi alokasi sumber daya minimal ( $M = 1$  regu per aktivitas) tetap menghasilkan lintasan kritis yang sangat panjang karena beban kerja belum didistribusikan.



Gambar 4. 3 Gantt Chart Kondisi Awal ( $M = 1$  Regu)

#### 4.4.3 Optimalisasi *Manpower* (*Crashing*)

Untuk mengompresi lintasan kritis (*Critical Path*) yang durasinya melampaui target dasar (*Schedule Baseline*) galangan sebesar 37 Hari Kerja aktif, penelitian ini menerapkan teknik pemampatan jadwal (*Schedule Compression*) melalui metode *Crashing*. Sesuai dengan pedoman Project Schedule Management dalam PMBOK Guide, *Crashing* dieksekusi dengan mengalokasikan sumber daya tambahan (resource allocation) secara eksklusif pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis, yakni pada area pekerjaan pelat di Void Tank 01 & 02.

Guna mencegah terjadinya kelebihan beban kerja (*Resource Overallocation*) pada tenaga kerja internal galangan, strategi manajemen sumber daya diarahkan pada pengadaan tenaga kerja eksternal (*Project Procurement Management* / Subkontraktor) yang didedikasikan khusus untuk mengakomodasi beban kerja pada periode puncak (peak season).

Secara teknis, eksekusi percepatan ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak Microsoft Project melalui pengaturan tipe tugas sebagai Fixed Work dengan mengaktifkan parameter penjadwalan Effort-Driven. Melalui mekanisme ini, penambahan indeks sumber daya (*Resource Units*) akan secara otomatis mendistribusikan total beban kerja murni (*Work*) ke jumlah pekerja yang lebih banyak. Pendekatan ini menghasilkan reduksi durasi aktivitas (*Task Duration*) secara proporsional tanpa perlu mereduksi volume pekerjaan fisik, mengubah spesifikasi prosedur pengelasan (WPS), maupun melanggar standar kualitas dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Dalam penerapan di *Microsoft Project*, kapasitas 1 regu pekerja direpresentasikan dengan nilai 100%. Oleh karena itu, simulasi penambahan sumber daya dilakukan dengan menginput persentase kelipatannya (sebagai contoh, alokasi 2 regu diinput sebesar 200%).

Berdasarkan iterasi *Crashing* yang dilakukan secara bertahap pada lintasan kritis, diperoleh titik jenuh alokasi sumber daya pada komposisi maksimal 7 Regu Fitter dan 8 Regu Welder (total 15 pekerja). Melalui keputusan manajerial ini, durasi penyelesaian proyek secara keseluruhan berhasil dikompresi secara maksimal menjadi 27 Hari Kerja aktif.

Dalam standar Project Resource Management, penentuan batas maksimal penambahan sumber daya tidak dapat dilakukan secara tanpa batas, melainkan harus divalidasi secara kuantitatif melalui identifikasi batasan fisik area kerja (*Physical Resource Constraints*). Berdasarkan spesifikasi teknis, luas area lantai kompartemen lintasan kritis (Void Tank 01 & 02) adalah sebesar 22,41 m<sup>2</sup> (dimensi 9,15 m x 2,45 m). Jika dialokasikan 15 pekerja secara bersamaan di dalam area tersebut, tingkat kepadatan ruang kerja (space density) berada pada rasio 1,49 m<sup>2</sup> per orang.

Berdasarkan pedoman keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada area ruang terbatas (*Confined Space*), ruang gerak aman minimum yang diwajibkan adalah sekitar 1,5 m<sup>2</sup> per pekerja guna mengakomodasi manuver tubuh, instalasi utilitas (kabel trafo las dan selang gas), serta sirkulasi udara buang. Oleh karena itu, penambahan sumber daya manusia melebihi batasan ruang fisik tersebut sangat tidak direkomendasikan.

Sebagaimana didefinisikan dalam PMBOK, upaya melakukan *Crashing* dengan menambah sumber daya di luar batas toleransi area kerja akan memicu berlakunya Hukum Hasil yang Semakin Berkurang (*Law of Diminishing Returns*). Alih-alih mempercepat jadwal proyek, penambahan regu ke-16 dan seterusnya dipastikan akan memberikan dampak nihil (*Zero Impact*) terhadap durasi lintasan kritis, serta justru memicu inefisiensi biaya (*cost overrun*) dan bahaya keselamatan akibat kepadatan area kerja yang berlebihan (*overcrowding*).

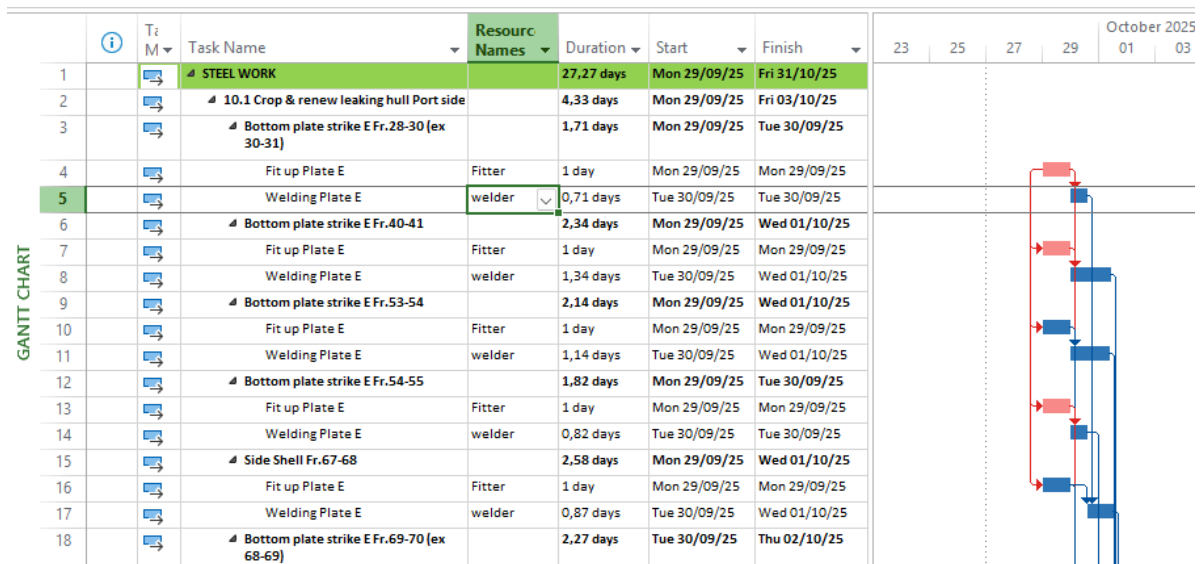
Meskipun penelitian ini tidak menyertakan analisis perbandingan biaya (*Time-Cost Trade Off*), penentuan komposisi 7 Regu Fitter dan 8 Regu Welder (durasi 27 hari) sebagai

"Titik Optimal" tetap valid secara akademis. Dalam konteks operasional ini, kata optimal didefinisikan secara khusus sebagai **Optimalitas Teknis (*Maximum Crash Point*)**, yang dibuktikan melalui tiga landasan logis berikut:

1. **Limitasi Ruang Fisik Mutlak:** Berdasarkan perhitungan *Space Productivity Factor* sebelumnya, rasio kepadatan tangki telah menyentuh batas kritis K3 (1,49 m<sup>2</sup>/pekerja).
2. **Kondisi Zero Impact:** Jika pihak galangan mengabaikan batas aman tersebut dan memaksakan penambahan regu ke-16 dan seterusnya, durasi penyelesaian tidak akan bisa lebih cepat dari 27 hari karena pekerja sudah saling berdesakan dan kehilangan ruang bermanuver (*overcrowding*).
3. **Kerugian Finansial Logis:** Secara deduktif, penambahan pekerja di atas titik jenuh ini dipastikan merugikan secara finansial. Durasi proyek tidak bertambah cepat, namun galangan harus menanggung pembengkakan biaya upah harian untuk pekerja yang tidak produktif akibat ruang yang penuh.

Oleh karena itu, 27 hari beserta komposisi 15 regu pekerja tersebut adalah titik akselerasi maksimal dan paling optimal yang dapat dicapai secara fisik maupun teknis di lapangan.

Visualisasi ringkas mengenai jadwal akhir setelah dilakukan optimalisasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut. Adapun rincian keseluruhan jadwal secara utuh dilampirkan pada halaman Lampiran.



Gambar 4. 4 Gantt Chart Hasil Optimalisasi (*Crashing*)

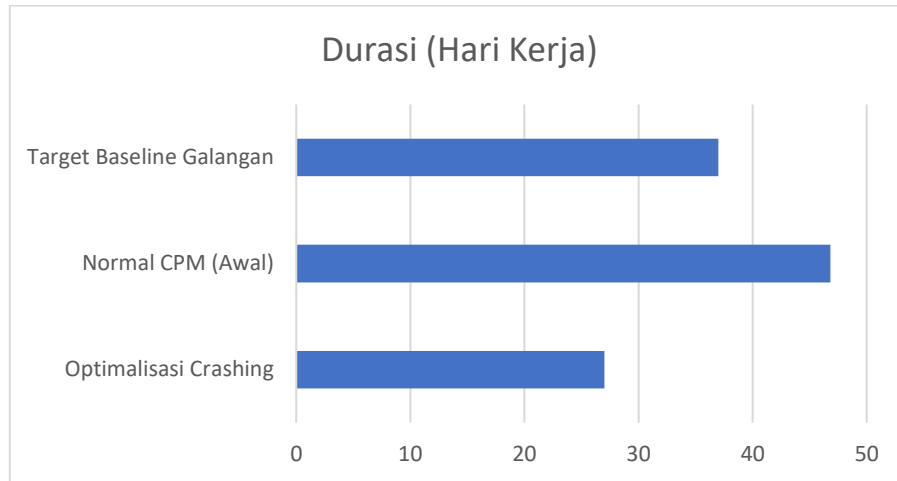
#### 4.5 Komparasi Hasil Penjadwalan

Untuk melihat sejauh mana efektivitas penerapan metode *Critical Path Method (CPM)* dan *Crashing* pada proyek *replating* SPB X, dilakukan komparasi antara durasi target galangan (*Master Schedule*), durasi normal hasil *CPM (Baseline)*, dan durasi optimal setelah dilakukan percepatan. Ringkasan komparasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Komparasi Skenario Durasi Proyek

Skenario Penjadwalan	Pendekatan Estimasi	Alokasi Manpower	Total Durasi (Hari Kerja)
Target Baseline Galangan	Makro (Tonase Baja)	Tidak Terdefinisi Spesifik	37 Hari

<b>Normal CPM (Skenario Awal)</b>	Mikro (Deterministik WPS)	1 Regu Fitter, 1 Regu Welder	<b>46,82 Hari</b>
<b>Optimalisasi Crashing (Final)</b>	Mikro (Deterministik WPS)	7 Regu Fitter, 8 Regu Welder	<b>27 Hari</b>



Gambar 4. 5 Grafik Komparasi Durasi Proyek

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, terlihat jelas bahwa pendekatan estimasi makro yang digunakan galangan (37 hari) bersifat kurang presisi apabila dihadapkan pada realita perhitungan volume pengelasan secara deterministik. Jika proyek dikerjakan dengan alokasi sumber daya standar (1 regu), durasi aktual secara matematis akan membengkak hingga 46,82 hari. Hal ini mengindikasikan adanya potensi keterlambatan (deviasi negatif) yang sangat besar jika galangan tidak melakukan intervensi manajerial.

Melalui intervensi *Schedule Compression* (metode *Crashing*) pada aktivitas lintasan kritis, durasi proyek berhasil dikompresi dari 46,82 hari menjadi **27 hari kerja aktif**. Jika dikomparasikan secara persentase, model penjadwalan optimal ini memberikan dua tingkat efisiensi, yaitu:

1. **Efisiensi terhadap Baseline Galangan:** Jadwal usulan 10 hari lebih cepat dibandingkan target *Master Schedule* galangan (37 hari), yang merepresentasikan penghematan waktu sebesar **27%**.
2. **Efisiensi terhadap Normal CPM:** Jadwal usulan memangkas waktu sebesar 19,82 hari dibandingkan jika proyek dibiarkan berjalan normal tanpa optimalisasi tenaga kerja, yang merepresentasikan tingkat kompresi jadwal sebesar **42,3%**.

Komparasi ini membuktikan bahwa metode CPM tidak hanya berfungsi untuk merapikan urutan kerja, tetapi juga bertindak sebagai instrumen vital dalam mendeteksi ancaman keterlambatan sejak fase perencanaan (*planning phase*), serta memberikan pedoman kuantitatif yang presisi untuk melakukan pemampatan jadwal.

Tabel 4. 3 Komparasi Evaluasi Penjadwalan Akhir

Parameter	Master Schedule Aktual	Hasil Optimalisasi (Metode Usulan)
Total Durasi Kerja Aktif	37 Hari	27 Hari

Total Rentang Kalender	61 hari	32 Hari
Status Idle Time	Terdapat 24 Hari <i>Delay</i>	Tereliminasi

Tabel di atas mengonfirmasi bahwa penggunaan pendekatan analitis berbasis produktivitas pengelasan yang diintegrasikan dengan *Critical Path Method* (CPM) terbukti mampu mengeksekusi proyek penggantian pelat lambung menjadi lebih cepat dan terukur. Skema usulan ini memberikan dampak positif tidak hanya pada efisiensi waktu operasional *docking*, tetapi juga meminimalisir pembengkakan biaya *overhead* galangan akibat waktu tunggu (*idle time*).