

**Analisis Implementasi Metode *Algoritma Brooks* untuk Optimalisasi
Penjadwalan Proyek IT Betty POS dengan Keterbatasan Sumber Daya**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Strata-1 Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Annisa Oktaviyana
No. Mahasiswa 21522279

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 21 Juli 2025



(Annisa Oktaviyana)
21522279

SURAT BUKTI PENELITIAN

SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Habib Dwi Prajoto

Jabatan : Programmer/Project Manager

Perusahaan : PT XYZ

Lokasi : Jl. Wijaya Kusuma, Tipes, Kec. Serengan, Kota Surakarta, Jawa Tengah

Dengan ini menyatakan bahwa dibawah ini:

Nama : Annisa Oktaviyana

NIM : 21522279

Program Studi : Teknik Industri-FTI-UII

Telah selesai melakukan penelitian di PT XYZ untuk memperoleh data dalam rangka penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Implementasi Metode Algoritma Brooks untuk Optimalisasi Penjadwalan Proyek IT Betty POS dengan Keterbatasan Sumber Daya”.

Dengan demikian surat keterangan ini dibuat dan diberikan kepada yang bersangkutan untuk digunakan semestinya.

Surakarta, 22 Juli 2025



Habib Dwi Prajoto

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Analisis Implementasi Metode *Algoritma Brooks* untuk Optimalisasi
Penjadwalan Proyek IT Betty POS dengan Keterbatasan Sumber Daya**



Dosen Pembimbing

(Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
**Analisis Implementasi Metode *Algoritma Brooks* untuk Optimalisasi
Penjadwalan Proyek IT Betty POS dengan Keterbatasan Sumber Daya**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Annisa Oktaviyana

No. Mahasiswa : 21 522 279

**Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 28 - Juli – 2025

Tim Penguji

Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.

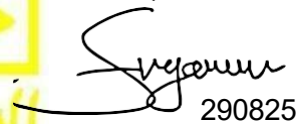
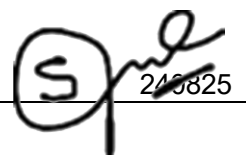
Ketua

Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I.,
IPM.

Anggota I

Wahyudi Sutrisno, S.T., M.M., M.T.

Anggota II


290825
240825

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo. S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan pertolongan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai bagian dari studi di Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua tercinta, khususnya ayahanda (almarhum) dan ibunda, serta kedua kakak saya yang selalu memberi dukungan dan semangat. Terima kasih juga saya sampaikan kepada segenap dosen-dosen Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang telah membekali saya dengan ilmu dan wawasan berharga sebagai fondasi untuk menghadapi tantangan kehidupan dan membangun jenjang karier di masa depan. Serta teman-teman yang telah menemani, membantu, dan mendukung selama proses perkuliahan.

Ucapan terima kasih saya tujukan kepada Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya. Saya juga berterima kasih kepada PT. XYZ dan mentor yang telah memberikan kesempatan dalam pelaksanaan penelitian. Terakhir, saya mempersembahkan tugas akhir ini untuk diri saya sendiri sebagai bentuk penghargaan atas kerja keras dan usaha yang telah dilakukan hingga berhasil melewati salah satu tahapan penting dalam perjalanan akademik ini.

MOTTO

*"Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum, kecuali mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka sendiri."
(QS. Ar-Ra'd: 11)*

*"Ridho Allah tergantung pada ridho orang tua, dan murka Allah tergantung pada murka orang tua."
(Hadis Riwayat Tirmidzi)*

*"It will pass, everything you've gone through it will pass"
(Rachel Vennya)*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahatullahi Wabarakatuh.

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Implementasi Metode Algoritma Brooks untuk Optimalisasi Penjadwalan Proyek IT Betty POS dengan Keterbatasan Sumber Daya” selaras dengan tujuan yang telah ditetapkan meskipun dalam perjalanannya terdapat berbagai kendala selama proses penulisan. Tanpa pertolongan dari-Nya, penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik sebagai salah satu syarat kelulusan di Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa capaian ini tidak lepas dari doa, dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini dan menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng., selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo. S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., selaku Kepala Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, mengajarkan ilmu, memberikan petunjuk, nasehat, motivasi, dan dorongan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Pihak PT XYZ, yang telah memberikan izin serta kesempatan kepada penulis untuk melakukan pengambilan data dan informasi yang sangat penting dalam penyusunan skripsi ini.

5. Mas Habib selaku mentor dan ketua tim proyek IT Betty POS di PT.XYZ yang telah membantu penulis dalam pengambilan data, wawancara serta menemani penulis melangsungkan penelitian dengan segala kerendahan hati turut membantu penulis ketika terdapat kesulitan.
6. Kedua orang tua tercinta, ayahanda Sudyana (almarhum) dan ibunda Kadarini, yang menjadi sumber kekuatan terbesar dalam hidup penulis. Dengan doa yang tak pernah putus, nasihat penuh makna, serta kasih sayang dan cinta yang tulus, mereka telah mendampingi setiap langkah perjuangan penulis dalam menempuh pendidikan. Tak hanya dukungan moril, namun juga dukungan material yang tiada henti telah menjadi fondasi utama dalam pencapaian akademik ini.
7. Kakak kandung tercinta, Devi Listiyarini, A.Md.Par. dan Normalita, M.P.H. yang tidak hanya memberikan dukungan, tetapi juga selalu hadir sebagai tempat berbagi keluh kesah dengan kehangatan dan kepedulian yang menjadi bagian penting untuk menguatkan penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
8. Nia, Arzety, Najwa, Rindu, Adel, dan Lala, sahabat sejak kecil yang telah menjadi bagian dari hidup penulis selama lebih dari 15 tahun. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, dan dukungan yang selalu menjadi penguat dalam setiap fase kehidupan, termasuk dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. KKA, sahabat penulis yang terdiri dari Sasty, Shelma, Vira, Aurel, Salsa, Dyna, Yona, Sera dan Nabol sejak hari pertama perkuliahan, menjadi sumber semangat yang selalu membawa keceriaan, tawa, dan warna membuat masa-masa kuliah terasa lebih ringan, hangat, dan penuh kenangan indah yang tak tergantikan.
10. Keluarga di Bantul yang selalu memberikan motivasi dan semangat, terutama Bulek Nino dan Mbah Uti.
11. *Come Home*, sahabat-sahabat SMA saya yang selalu membawa tawa di setiap pertemuan, yang kehadirannya menjadi pelipur lelah di tengah perjalanan panjang ini, dan selalu menyempatkan waktu untuk bertemu ditengah kesibukan masing-masing.
12. Terima kasih untuk teman-teman seperjuangan dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, atas dukungan, semangat, dan kebersamaan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini sehingga terasa ringan, menyenangkan dan telah menjadi penguat dalam hari-hari sulit, membuat proses penyusunan Tugas Akhir ini terasa jauh lebih bermakna.

ABSTRAK

Kemajuan teknologi informasi telah mendorong banyak perusahaan untuk mengembangkan sistem digital dalam mendukung aktivitas bisnis, termasuk penggunaan sistem Point of Sale (POS). PT XYZ merencanakan pengembangan aplikasi Betty POS yang dilengkapi fitur seperti inventory management, membership, dan supply chain. Namun, dari proyek sebelumnya, tim mengalami keterlambatan akibat keterbatasan sumber daya manusia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyusun perencanaan proyek pengembangan aplikasi dengan memperhitungkan keterbatasan tersebut agar peluncuran tidak lagi mengalami keterlambatan. Metode yang digunakan adalah Algoritma Brooks, yang mampu menyusun penjadwalan proyek dengan sumber daya terbatas secara optimal. Proses perencanaan meliputi identifikasi aktivitas proyek, penyusunan diagram jaringan (AON), identifikasi jalur kritis, dan penerapan teknik crashing untuk mempercepat penyelesaian proyek tanpa menambah jumlah tenaga kerja. Crashing dilakukan dengan menambahkan jam lembur pada aktivitas-aktivitas jalur kritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi proyek berhasil dipersingkat dari 399 hari menjadi 364 hari (12 bulan) dengan biaya tambahan lembur sebesar Rp14.718.375. Total biaya tenaga kerja setelah crashing menjadi Rp140.718.375, yang lebih rendah dibandingkan biaya awal sebesar Rp147.000.000 jika proyek berjalan selama 14 bulan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa optimalisasi penjadwalan melalui penerapan Algoritma Brooks dan teknik crashing dapat menghemat biaya dan waktu secara signifikan, tanpa menurunkan kualitas maupun stabilitas pelaksanaan proyek.

Kata Kunci: Penjadwalan, Crashing, Algoritma Brooks, Jalur Kritis, Proyek IT

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.4.1 Bagi Peneliti.....	4
1.4.2 Bagi Perusahaan.....	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Sebelumnya	6
2.1.1 Implementasi Metode Algorithm Brooks dalam Penjadwalan Kerja Pada Proyek dengan Sumber Daya Terbatas	6
2.1.2 Optimasi Resource Constrained Project Scheduling Problem menggunakan Metode Genetic Algorithm Dan Symbiotic Organisms Search	6
2.1.3 Optimalisasi Sumber Daya Tenaga Kerja Proyek Pembangunan Hotel Amaris Manado dengan Metode Resource Leveling.....	7
2.1.4 Analisis Kebutuhan Tenaga Kerja Dengan Menggunakan Metode Resource Levelling	8
2.1.5 Analisis Kebutuhan Tenaga Kerja Dengan Menggunakan Metode Resource Levelling	8
2.1.6 Evaluasi Pengendalian Sumber Daya Manusia pada Pekerjaan Struktur dengan Menggunakan Metode Resource Leveling (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Konstruksi Revitalisasi Pasar Tematik Wisata Ubud di Kabupaten Gianyar).....	9
2.1.7 Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Pendekatan Algoritma Harmony Search Di Pt. Adi Satria Abadi (Asa)	9
2.1.8 Algoritma Harmony Search untuk Menyelesaikan Masalah Penjadwalan Konstruksi Rehabilitasi Puskesmas Besuki.....	10
2.1.9 Metode Critical Chain Project Management (CCPM) dalam Upaya Optimalisasi Penjadwalan.....	11
2.1.10 Analisis Pengendalian Biaya dan Waktu Proyek Storage Tank 1000 MT	

dan Building WWTP dengan Metode CCPM (Critical Chain Project Management)	11
2.1.11 Optimasi Penjadwalan Proyek Kantor PT.X dengan Konsep Finance-Based Scheduling dan Metode Metaheuristik.....	12
2.1.12 Optimisasi Rute Pengiriman Produk Usaha Mikro Kecil dan Menengah Menggunakan Metode Metaheuristik Particle Swarm Optimization .	12
2.1.13 Optimasi Trim Losspembesian Beton Bertulang Dengan Metode Metaheuristik Particle Swarm Optimizationdan Symbiotic Organisms Search	13
2.1.14 Optimasi Open Location Routing Problem Menggunakan Metode Metaheuristik Simulated Annealing, Large Neighborhood Search, dan Adaptive Large Neighborhood Search	14
2.1.15 Analisis Biaya Dan Waktu Pada Pembangunan Rumah Sakit Tingkat III Brawijaya Surabaya Menggunakan Metodecritical Chain Project Management(Ccpm).....	15
2.2 Landasan Teori.....	21
2.2.1 Manajemen Proyek.....	21
2.2.2 Penjadwalan Proyek.....	22
2.2.3 Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)	23
2.2.4 Activity Network Diagram	24
2.2.5 ACTIM (Activity Time)	25
2.2.6 Crashing.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Subjek penelitian.....	27
3.2 Objek penelitian	27
3.3 Pengumpulan Data	27
3.4 Diagram Alur Penelitian	28
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	32
4.1 Pengumpulan Data	32
4.1.1 Timeline Kegiatan dan Perencanaan.....	32
4.1.2 Hubungan keterkaitan antar aktivitas pekerjaan dan lamanya waktu tiap aktivitas.....	34
4.1.3 Anggaran Gaji Tim Proyek.....	37
4.2 Pengolahan Data.....	38
4.2.1 AON (Activition on Node)	38
4.2.2 Penentuan Kebutuhan sumber daya.....	40
4.2.3 ACTIM (Activity Time)	40
4.2.4 Anggaran Gaji Tim Proyek.....	43
4.2.5 Crashing.....	44
4.2.6 Cost Slope.....	49
4.2.7 Dampak Crashing	50
4.2.8 Anggaran gaji tim proyek setelah Crashing.....	52
4.2.9 Analisis Kelayakan Finansial dan Estimasi Balik Modal	54
BAB V PEMBAHASAN	56
5.1 Analisis Activity on Network Diagram.....	56
5.2 Identifikasi Jalur Kritis.....	56
5.3 Analisis Perhitungan Metode Algoritma Brooks	57
5.4 Analisis Crashing	57
5.5 Analisis Dampak Crashing.....	59

5.6 Analisis Perbandingan.....	59
BAB VI PENUTUP	61
6.1 Kesimpulan	61
6.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu.....	17
Tabel 4. 1 Keterkaitan antar aktivitas pekerjaan	32
Tabel 4. 2 Keterkaitan antar aktivitas.....	35
Tabel 4. 3 Gaji Tenaga Kerja per Bulan	38
Tabel 4. 4 Tabel Penentuan Kebutuhan Sumber Daya	40
Tabel 4. 5 Penentuan ES dan ACTIM.....	41
Tabel 4. 6 Penjadwalan Kerja dengan Algoritma Brooks.....	42
Tabel 4. 7 Anggaran gaji tenaga kerja selama 14 bulan	43
Tabel 4. 8 Jalur kritis dan non kritis dari hasil algoritma brooks.....	44
Tabel 4. 9 Usulan durasi yang dilakukan pemendekan	45
Tabel 4. 10 Total waktu lembur	47
Tabel 4. 11 Total waktu dan biaya lembur.....	47
Tabel 4. 12 Total Biaya Lembur 364 hari	49
Tabel 4. 13 Penentuan ES dan ACTIM.....	50
Tabel 4. 14 Hasil penjadwalan ulang kerja dengan Algoritma Brooks.....	51
Tabel 4. 15 Jalur kritis dan non kritis penjadwalan ulang kerja dengan Algoritma Brooks	52
Tabel 4. 16 Keseluruhan Anggaran Gaji Tim	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Manajemen Proyek	22
Gambar 2. 2 Simbol pada AON (Sumber ppt Manajemen Proyek Dr.AZ)	24
Gambar 2. 3 Simbol dalam AOA (sumber jurnal Muhammad Fazis, Tugiah)	25
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	29
Gambar 4. 1 Gantt Chart ditahun 2025	37
Gambar 4. 2 Gantt Chart ditahun 2026	37
Gambar 4. 3 Actitivity on Network diagram.....	38
Gambar 4. 4 Actitivity on Network diagram.....	39

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang kini telah berkembang pesat telah mempermudah dan mempercepat penyampaian informasi. Sistem informasi adalah suatu *system* yang terdapat di dalam sebuah organisasi yang mempertemukan kebutuhan pengelola transaksi harian, mendukung operasi, bersifat managerial dan kegiatan strategi dari suatu organisasi dan menyediakan pihak luar tertentu dengan laporan-laporan yang dibutuhkan (O'brien, 2011) . Sistem informasi memiliki peran penting dan dapat memberikan dampak signifikan bagi suatu organisasi, perusahaan, maupun individu. Penyampaian informasi yang efektif dan cepat akan meningkatkan produktivitas, terutama dalam hal memperoleh, mengolah, dan memanfaatkan data secara akurat. Pada saat ini, banyak yang memanfaatkan aplikasi digital untuk menyederhanakan dan mempercepat proses transaksi terutama dalam bidang usaha. Seiring dengan perkembangan era globalisasi, persaingan akan semakin ketat dan kompetitif. Akibatnya, para pelaku bisnis harus dapat meningkatkan daya jual yang di dukung oleh sistem informasi yang mampu menjalankan bisnis produk atau jasa mereka dengan akurat, cepat, dan tepat.

Tim pengembang di PT. XYZ saat ini sedang merencanakan pengembangan aplikasi *Betty POS*, yaitu sebuah *system Point of Sale* dengan fitur kompleks seperti *inventory management*, *membership*, dan *supply chain*. *Betty* adalah aplikasi *Point of Sale* dan manajemen inventaris yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan berbagai jenis bisnis, mulai dari usaha kecil hingga besar. *Betty* memungkinkan pemilik bisnis mengelola bisnis mereka dengan lebih efisien, mudah digunakan, dan dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan setiap bisnis. Pada dunia bisnis, penggunaan teknologi informasi berkembang sangat pesat. Salah satu contohnya adalah penerapan sistem *Point of Sale* dalam aktivitas jual beli. *Point of Sale* adalah sistem yang memungkinkan diadakannya proses transaksi penjualan seperti penjualan di toko, hotel, restoran, supermarket dan toko-toko retail. POS juga diartikan sebagai pelayanan transaksi dalam toko retail yang di dalamnya termasuk penggunaan mesin kasir (Wahyudi, 2018). POS akan menjadi sangat penting di dunia bisnis karena POS diibaratkan berupa terminal uang dimana tempat menerima pembayaran tersebut merupakan indikator bagi pebisnis untuk mengukur tingkat pendapatan mereka (AXOPOS, 2012). Sebelum mengerjakan proyek pengembangan aplikasi *Betty POS*, tim yang terdiri dari tiga orang ini sebelumnya telah

menangani proyek serupa di bidang aplikasi IT. Pada proyek sebelumnya, keterlambatan terjadi akibat keterbatasan tenaga kerja. Proses perekrutan dan pelatihan membutuhkan waktu dan biaya besar, sementara penyesuaian jumlah tenaga kerja sesuai volume pekerjaan tidak mudah dilakukan. Hal ini berdampak pada keterlambatan proses UI/UX dan memengaruhi kinerja tim marketing, serta menyebabkan peluncuran aplikasi tidak sesuai jadwal. Selain itu, pada pengembangan berbasis versi (*version-based development*) yang dikembangkan saat itu juga sering menyebabkan keterlambatan dalam tiap tahap pengembangan, sehingga peluncuran aplikasi tidak sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan. Berdasarkan pengalaman tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menyusun perencanaan proyek pengembangan aplikasi Betty POS dengan lebih terstruktur agar keterlambatan serupa tidak terulang.

Dalam industri perancangan perangkat lunak, efektivitas manajemen proyek sangat menentukan keberhasilan peluncuran aplikasi. Manajemen adalah sebuah proses perencanaan, proses organisasi, proses koordinasi, dan proses control terhadap sumber daya untuk mencapai tujuan yang efektif dan efisien (Griffin, 2016). Proyek dapat diartikan sebagai rangkaian beberapa kegiatan dalam jangka waktu yang terbatas dengan mengalokasikan sumber daya yang ada dengan tujuan menghasilkan produk yang mutunya telah digariskan dengan jelas (Soeharto, 1999). Salah satu aspek penting dalam manajemen proyek adalah perencanaan, yang mencakup keseluruhan proses pemikiran dan penentuan secara matang dari hal-hal yang akan dikerjakan di masa mendatang untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan. Namun, perlu adanya gabungan pengetahuan, keahlian, dan seni yang bertujuan untuk memulai, merencanakan, dan menyelesaikan target proyek dalam keterbatasan yang ada (*constraints*). Agar pelaksanaan proyek dapat berhasil melalui sistem koordinasi yang terarah (Tarman, 2020). Keberhasilan suatu perusahaan sangat bergantung pada kemampuan manajemen dalam membuat rencana yang efektif dan realistis. Setiap rencana harus dapat dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang telah ditargetkan, di mana pelaksanaan proyek harus dapat menekan seluruh aspek biaya dan waktu tanpa mengurangi kualitas hasil akhir.

Setiap proyek memerlukan perencanaan dan perhitungan yang matang untuk mengelola waktu, aktivitas, sumber daya, dan biaya. Salah satu masalah yang harus diperhatikan oleh perusahaan adalah seberapa cepat proyek dapat diselesaikan karena terlambat dapat mengakibatkan sanksi atau dampak *negative* terhadap operasional perusahaan. Dengan sumber daya yang terbatas, strategi perencanaan yang lebih efektif sangat penting untuk memenuhi target waktu. Selain itu, percepatan beberapa bagian proyek harus dipertimbangkan jika

diperlukan agar tidak terjadi keterlambatan. Tenaga kerja adalah salah satu sumber daya yang sangat penting, namun ketersediaannya sering kali terbatas. Proses untuk merekrut, menyeleksi, dan melatih tenaga kerja membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama. Setelah bergabung dalam proyek, tidak mudah untuk memberhentikan sementara dan kemudian memanggil kembali tenaga kerja sesuai dengan perubahan volume pekerjaan. Di sisi lain, mempertahankan tenaga kerja dalam kondisi siaga tanpa pekerjaan juga dianggap tidak efisien karena tetap memerlukan biaya. Oleh karena itu, sebisa mungkin perusahaan harus menghindari terjadinya perubahan kebutuhan tenaga kerja yang drastis atau tidak stabil.

Seperti yang telah dijelaskan dalam berbagai studi manajemen proyek, teknik *Critical Path Method* (CPM) dapat digunakan untuk menjadwalkan proyek secara teoritis. Namun, jika keterbatasan sumber daya tidak dipertimbangkan, proyek tidak dapat selesai sesuai jadwal. Tenaga kerja dengan keterampilan khusus adalah salah satu sumber daya yang tanpa dipertimbangi, jadwal yang dibuat mungkin tidak dapat diterapkan dalam dunia nyata. Buku *Integrated Production Control Systems: Management, Analysis, and Design* oleh David D. Bedworth dan James E. Brooks menjelaskan metode Algoritma Brooks, yang digunakan dalam penelitian ini untuk menyelesaikan masalah yang ada pada PT.XYZ. Metode ini dipilih karena mampu memecahkan masalah penjadwalan proyek dengan sumber daya terbatas (*resource-constrained project scheduling*) yang sangat relevan dengan kondisi tim pengembang Betty POS di PT.XYZ. Algoritma Brooks membantu meratakan beban kerja dan menghindari fluktuasi sumber daya, yang bisa menjadi penyebab utama keterlambatan. Dengan begitu, peluncuran versi aplikasi bisa tetap sesuai jadwal. Dengan menerapkan metode ini, diharapkan penjadwalan proyek dapat dioptimalkan dalam hal perencanaan dan pengembangan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam menyusun jadwal proyek pengembangan perangkat lunak, keterbatasan sumber daya merupakan faktor utama yang harus dipertimbangkan. Beberapa aktivitas pada proyek ini dapat dilakukan secara bersamaan, berikut merupakan rumusan masalah untuk optimalisasi penjadwalan proyek Betty POS:

1. Bagaimana penerapan metode Algoritma Brooks dapat membantu menyusun penjadwalan proyek pengembangan aplikasi Betty POS dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya?
2. Bagaimana identifikasi jalur kritis dan kegiatan non-kritis dapat dimanfaatkan untuk menentukan peluang crashing tanpa mengganggu ketergantungan aktivitas proyek?

3. Bagaimana efektivitas *crashing* dalam mempercepat penyelesaian proyek dan mengoptimalkan biaya tenaga kerja?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menerapkan metode Algoritma Brooks untuk menyusun penjadwalan proyek pengembangan aplikasi Betty POS yang efisien dalam kondisi sumber daya terbatas.
2. Mengidentifikasi jalur kritis dan kegiatan non-kritis serta memanfaatkannya dalam menentukan peluang *crashing* tanpa mengganggu ketergantungan aktivitas proyek.
3. Mengetahui efektivitas penerapan teknik *crashing* dalam mempercepat penyelesaian proyek sekaligus mengoptimalkan biaya tenaga kerja.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Bagi Peneliti

Berikut merupakan manfaat penelitian bagi peneliti:

Peneliti dapat mengembangkan pemahaman dan menerapkan ilmu teknik industri yang diperoleh selama perkuliahan terutama dalam mengatasi tantangan perencanaan dan pengelolaan proyek, khususnya terkait pejadwalan dengan sumber daya terbatas dengan menentukan prioritas.

1.4.2 Bagi Perusahaan

Berikut merupakan manfaat penelitian bagi PT.XYZ dalam mengerjakan proyek Betty POS adalah:

1. Membantu PT.XYZ menyelesaikan pembuatan aplikasi Betty POS dengan kendala keterbatasan sumber daya agar mencapai waktu penyelesaian yang telah direncanakan. Hal ini akan membantu meningkatkan reputasi perusahaan dan kepuasan pelanggan dalam penggunaan aplikasi.
2. Tim dapat mengalokasikan waktu dan memungkinkan setiap anggota untuk fokus pada pekerjaan yang lebih penting dan memastikan tingkat produktivitas yang tetap tinggi dan hasil penelitian ini diharapkan menjadi salah satu informasi yang dapat dipertimbangkan oleh PT.XYZ saat membuat keputusan.

1.5 Batasan Penelitian

Berdasarkan ketentuan yang terdapat pada perusahaan tempat penelitian, berikut merupakan batasan dari penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya membahas penjadwalan proyek pengembangan aplikasi *Betty POS* di PT. XYZ.
2. Fokus utama adalah terkait waktu dan tenaga kerja dari data yang diberikan perusahaan.
3. Analisis hanya mencakup tahap pengembangan hingga pengujian aplikasi, tidak sampai ke tahap implementasi pasar.
4. Data penelitian berasal dari sumber internal PT. XYZ.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Berikut ini adalah hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini, yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian ini dan mencegah plagiasi.

2.1.1 Implementasi Metode Algoritma Brooks dalam Penjadwalan Kerja Pada Proyek dengan Sumber Daya Terbatas

Penelitian ini adalah karya Rahmat Kurniawan pada tahun 2006 yang membahas penerapan Algoritma Brooks untuk penjadwalan proyek yang menghadapi keterbatasan sumber daya. Studi ini mengambil kasus pada CV. Pabiola Sampit di Kalimantan Tengah. Penelitian ini menerapkan metode Algoritma Brooks, sebuah metode yang dirancang untuk mengoptimalkan penjadwalan proyek dengan sumber daya terbatas. Algoritma ini membantu dalam mengalokasikan sumber daya secara efisien sehingga proyek dapat diselesaikan tepat waktu meskipun terdapat keterbatasan.

Dalam penelitian ini, karena tidak memungkinkan melakukan penambahan jumlah tenaga kerja maka penyelesaian proyek pembangunan perumahan dapat terselesaikan dengan tepat waktu dengan metode Algoritma Brooks dan melakukan crash program. Kegiatan yang menjadi jalur kritis harus ditentukan sebelum pemendekkan (crash program). Dengan melakukan perhitungan mundur dari aktivitas yang mempengaruhi umur proyek maka akan menentukan jalur kritis pada penjadwalan.

Hasil dari penelitian ini adalah proyek yang dikerjakan dapat selesai sesuai dengan waktu yang ditetapkan, tetapi beberapa kegiatan harus diselesaikan dengan lembur. Dengan adanya keterbatasan sumber daya, proyek didapatkan umur selama 64 hari. Untuk mencapai target selama 58 hari dilakukan pemendekkan selama 6 hari yang menghasilkan total biaya tambahan sebesar Rp 566.000,00. Dengan selesainya proyek tersebut tepat waktu, perusahaan terhindar dari sanksi sebesar Rp 250.000,00 / rumah/ hari.

2.1.2 Optimasi *Resource Constrained Project Scheduling Problem* menggunakan Metode *Genetic Algorithm* Dan *Symbiotic Organisms Search*

Penelitian ini ditulis oleh Evan Filbert Sikomena, I Gede Agus Widyadana, dan Doddy Prayogo, yang dipublikasikan pada April 2021 di jurnal Dimensi Utama Teknik Sipil yang membahas

masalah *Resource Constrained Project Scheduling Problem* (RCPSP), yaitu tantangan penjadwalan proyek ketika sumber daya terbatas, serta pentingnya alokasi sumber daya yang efisien untuk mencapai waktu penyelesaian yang optimal. Dalam penelitian ini, penulis menerapkan dua metode metaheuristic *Genetic Algorithm (GA)* dan *Symbiotic Organisms Search (SOS)* untuk membandingkan keduanya dalam menyelesaikan RCPSP. Studi kasus mencakup lima jenis proyek dengan karakteristik berbeda. Kedua algoritma dijalankan dengan parameter yang identik: populasi sebanyak 50, iterasi sebanyak 500, dan perangkat keras (laptop) yang sama digunakan untuk menjalankan kedua algoritma.

Berdasarkan hasil optimasi, SOS terbukti memberikan waktu penyelesaian yang lebih optimal dibandingkan GA. Jika sumber daya dikurangi sebesar 30%, SOS menghasilkan solusi yang lebih baik dari kondisi nyata pada empat dari lima proyek, sementara GA hanya berhasil pada dua dari lima proyek. Secara kuantitatif, SOS menghasilkan pengurangan rata-rata waktu sebesar 30,35 %, sedangkan GA menghasilkan pengurangan sebesar 25,39 %. Penelitian ini menyatakan bahwa SOS memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan GA dalam menyelesaikan problema RCPSP, khususnya pada kondisi keterbatasan resource yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa SOS lebih efisien dalam menemukan solusi penjadwalan proyek yang optimal di bawah kendala sumber daya terbatas.

2.1.3 Optimalisasi Sumber Daya Tenaga Kerja Proyek Pembangunan Hotel Amaris Manado dengan Metode *Resource Leveling*

Penelitian ini ditulis oleh Stefani Switly Peginusa, Cyntha Tendean, dan Arnetha S. Raintung, yang dipublikasikan pada 29 Maret 2025 dalam Jurnal Serambi *Engineering*. Penelitian ini menggunakan metode *Resource Leveling* dengan bantuan Microsoft Project 2021 untuk mengoptimalkan alokasi tenaga kerja khususnya dari struktur rantai dasar hingga atap dalam proyek pembangunan Hotel Amaris di Manado.

Hasil analisis menunjukkan bahwa meski durasi total proyek tetap tidak berubah, yaitu 303 hari, penggunaan tenaga kerja dioptimalkan dengan menentukan jumlah efektif untuk setiap peran, yakni 63 pekerja, 34 tukang, 3 mandor, dan 3 kepala mandor, sehingga distribusi alokasi menjadi lebih efisien. Kesimpulannya, penerapan metode *Resource Leveling* dalam proyek tersebut berhasil mengoptimalkan distribusi tenaga kerja tanpa menambah durasi pelaksanaan, sehingga memperlihatkan bahwa metode ini efektif dalam mengatur sumber daya

manusia secara lebih proporsional dan terstruktur dalam proyek konstruksi skala menengah seperti pembangunan hotel.

2.1.4 Analisis Kebutuhan Tenaga Kerja Dengan Menggunakan Metode *Resource Levelling*

Penelitian ini adalah karya Angelina A. K. Legho, Rifanna S. S. I. Kawet, dan Yessi C. S. Pandeiroth dari Universitas Sam Ratulangi, yang diterbitkan pada tahun 2024 di TEKNO. Penelitian ini menggunakan metode *Resource Levelling* yang diimplementasikan melalui fitur *Levelling* di perangkat lunak Microsoft Project untuk menganalisis kebutuhan tenaga kerja dalam proyek pembangunan RSUD Sam Ratulangi Tondano.

Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan metode tersebut secara otomatis menghasilkan nilai kebutuhan tenaga kerja yang melebihi jumlah aktual—dengan estimasi yang mengindikasikan "77,44 pekerja" dan "7,74 mandor"—sekaligus menyebabkan penambahan durasi proyek dari 209 hari kalender menjadi sekitar 310,23 hari, atau bertambah sekitar 122 hari dari rencana semula. Untuk mengatasi hal ini, peneliti melakukan penyesuaian manual melalui pendekatan trial and error terhadap durasi pekerjaan, sehingga tercapai kondisi yang lebih realistis: kebutuhan tenaga kerja menjadi 75 pekerja dan 6 mandor, dengan durasi proyek berhasil dipangkas menjadi 205 hari kerja. Kesimpulannya, meskipun penerapan *resource levelling* awal kurang optimal karena menghasilkan alokasi berlebih dan memperpanjang waktu, jika dikombinasikan dengan penyesuaian manual, metode ini dapat mengurangi *overallocated* tenaga kerja dan mengoptimalkan durasi pekerjaan, sehingga menjadi alat yang efektif dalam manajemen tenaga kerja proyek.

2.1.5 Analisis Kebutuhan Tenaga Kerja Dengan Menggunakan Metode *Resource Levelling*

Penelitian ini adalah karya Ananda Radithya Yahya dengan bimbingan Vendie Abma, dan diterbitkan pada 8 Februari 2022 sebagai salah satu bagian dari tugas akhir di Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini menggunakan metode *Resource Levelling* yang diimplementasikan melalui fitur penjadwalan otomatis (*auto schedule*) dan manual (*manual schedule*) pada perangkat lunak *Microsoft Project* 2016 untuk menganalisis kebutuhan tenaga kerja dalam proyek pembangunan Gereja Katolik Santa Maria Penolong Abadi di Samarinda, Kalimantan Timur.

Hasilnya menunjukkan bahwa dengan *auto schedule*, durasi proyek membengkak dari 210 hari menjadi 240 hari, sekaligus terjadi pengurangan alokasi sumber daya menjadi 45

pekerja, 21 tukang, 4 kepala tukang, dan 4 mandor, dibandingkan kapasitas awal. Sementara itu, dengan manual *schedule*, durasi tetap 210 hari dan terjadi sedikit perubahan alokasi: 52 pekerja, 25 tukang, 4 kepala tukang, dan 4 mandor. Kesimpulannya, metode *Resource Levelling* perlu diimbangi dengan pendekatan manual agar tidak memperpanjang durasi, sekaligus mempertahankan efisiensi jumlah tenaga kerja menunjukkan efektivitas kombinasi *automatic* dan manual scheduling dalam manajemen sumber daya manusia proyek konstruksi.

2.1.6 Evaluasi Pengendalian Sumber Daya Manusia pada Pekerjaan Struktur dengan Menggunakan Metode *Resource Leveling* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Konstruksi Revitalisasi Pasar Tematik Wisata Ubud di Kabupaten Gianyar)

Penelitian ini adalah karya dari Putu Sastrawan Pramana Putra, dibimbing oleh Dwipa R.S., I G.A.G. Surya Negara, dan I Nyoman Anom Purwa, dan diterbitkan pada tahun 2023 sebagai tugas akhir di Politeknik Negeri Bali. Penelitian ini menggunakan metode *Resource Leveling*, diaplikasikan dengan bantuan aplikasi Microsoft Project, untuk mengendalikan distribusi tenaga kerja dalam proyek revitalisasi struktur Pasar Tematik Wisata Ubud.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dari permodelan pengalokasian (disebut trial 1 hingga trial 4), durasi proyek bervariasi dari 113 hari, 111 hari, 109 hari, hingga kembali ke 107 hari, semua masih berada di bawah batas rencana maksimum yaitu 119 hari. Namun, ditemukan adanya kekurangan jumlah pekerja dan tukang besi pada beberapa model, sehingga pada permodelan ke-4 peneliti menambah jumlah tenaga kerja pekerja dari 60 menjadi 90 dan tukang besi dari 45 menjadi 75 untuk menghasilkan histogram kebutuhan tenaga kerja yang lebih ideal. Kesimpulannya, penerapan metode *Resource Leveling* melalui pendekatan trial- and-error dapat mengoptimalkan distribusi tenaga kerja tanpa melebihi durasi maksimal proyek, dan penyesuaian jumlah tenaga kerja sangat krusial untuk mencapai histogram yang ideal dan kendali sumber daya manusia yang lebih efektif.

2.1.7 Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Pendekatan *Algoritma Harmony Search* Di Pt. Adi Satria Abadi (Asa)

Penelitian ini adalah karya Inaatul Chusna Ichda Purwanto, Yohanes Anton Nugroho, dan Suseno, diterbitkan pada tahun 2020 di Jurnal Disprotek. Penelitian ini menerapkan algoritma metaheuristik *Harmony Search* untuk mengoptimalkan penjadwalan produksi di PT Adi Satria Abadi (ASA), perusahaan pengolah kulit domba dan kambing untuk sarung tangan golf, dengan tujuan mengatasi keterlambatan pengiriman akibat proses penjadwalan yang tidak terstruktur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma Harmony Search mampu memperbaiki makespan, yaitu durasi penyelesaian produksi rata-rata dari 0,9 bulan menjadi 0,8 bulan menghemat sekitar 0,1 bulan, dengan penghematan waktu dalam tiga bulan berturut-turut masing-masing sebesar 0,6 bulan, 0,6 bulan, dan 0,1 bulan. Kesimpulannya, penggunaan Harmony Search terbukti lebih efisien dibanding metode penjadwalan perusahaan saat itu, berhasil mempersingkat durasi produksi sekaligus membantu perusahaan memenuhi tenggat pengiriman dengan lebih baik.

2.1.8 *Algoritma Harmony Search* untuk Menyelesaikan Masalah Penjadwalan Konstruksi Rehabilitasi Puskesmas Besuki

Penelitian ini adalah karya Lutfan Anas Zahir, S.Si., M.Pd., diterbitkan pada tahun 2021 di Jurnal Daktilitas Volume 1 Nomor 1 (Juni 2021). Penelitian tersebut mengaplikasikan algoritma metaheuristik Harmony Search, yang terinspirasi dari pencarian harmoni dalam musik, sebagai metode optimasi untuk menyelesaikan masalah penjadwalan konstruksi dalam proyek rehabilitasi Puskesmas Besuki, dengan tujuan utama meminimalkan durasi proyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil jumlah harmony memory dan semakin besar nilai mutation serta jumlah iterasi (max iteration), maka solusi yang ditemukan semakin mendekati optimal, dan nilai durasi minimum yang berhasil dicapai adalah 5 minggu.

Kesimpulannya, *Hybrid Algoritma Harmony Search* dapat diterapkan untuk penyelesaian Penjadwalan Proyek. Adapun proses *Hybrid Algoritma Harmony Search* menyelesaikan Penjadwalan Proyek adalah sebagai berikut: pertama setting parameter dan inialisasi data, selanjutnya membangkitkan. Matriks harmony sebanyak HMS, menghitung fungsi tujuan dari masing-masing permutasi pada HMS, menyimpan solusi yang didapatkan pada harmony memory (HM), membangkitkan vektor solusi baru (VSB), hitung fungsi tujuan dari VSB, cek apakah VSB lebih baik dari solusi yang tersimpan pada HM, update bila lebih baik, cek siklus, jika masih belum terpenuhi, maka kembali ke pembangkitan vektor solusi. Sistem penjadwalan proyek menggunakan algoritma harmony ini telah berhasil dibangun dan diimplementasikan untuk mencari solusi jadwal yang optimal yaitu memenuhi batasan/persyaratan (constraints) dalam penjadwalan proyek, meliputi beberapa kegiatan tidak bisa dimulai sebelum kegiatan yang lain selesai, mengoptimalkan efisiensi pemakaian waktu pelaksanaan setiap kegiatan, dan tidak boleh melebihi durasi proyek yang telah ditetapkan.

2.1.9 Metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dalam Upaya Optimalisasi Penjadwalan

Penelitian ini ditulis oleh Fikrian Fadillah dan Vendie Abma, dari Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan diterbitkan pada tahun 2024. Penelitian mereka mengadopsi metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) sebagai pendekatan untuk mengatasi kelemahan penjadwalan konvensional khususnya kelebihan waktu cadangan pada tiap kegiatan dan multitasking yang memperlambat, dengan mengusulkan pengurangan waktu aman sebesar 30% pada setiap aktivitas dan menggantikannya dengan buffer tersentralisasi.

Hasil analisisnya menunjukkan bahwa dengan menerapkan CCPM, durasi awal proyek sebesar 130 hari dapat dioptimalkan menjadi 112 hari kerja, selama seluruh buffer digunakan secara efektif, sekaligus mendemonstrasikan distribusi sumber daya yang lebih seimbang. Kesimpulannya, didapatkan hasil berupa metode CCPM mampu mengoptimalkan durasi perencanaan proyek pembangunan gedung menjadi sebanyak 18 hari dari durasi awal 130 hari menjadi 112 hari kerja jika menggunakan seluruh waktu buffer yang tersedia. Hasil tersebut lebih cepat dari estimasi rencana yang selesai dalam waktu 130 hari kerja.

2.1.10 Analisis Pengendalian Biaya dan Waktu Proyek *Storage Tank* 1000 MT dan *Building* WWTP dengan Metode CCPM (*Critical Chain Project Management*)

Penelitian ini adalah karya Muhammad Khaidir, Aidil Abrar, Juni Saputra, dan Nuryasin Abdillah, diterbitkan pada Juli 2023 di *SLUMP TeS: Jurnal Teknik Sipil* Volume 2 Nomor 1. Penelitian tersebut mengaplikasikan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) untuk melakukan penjadwalan ulang, eliminasi multitasking, *student's syndrome*, *Parkinson's Law*, dan penggunaan *buffer* terpusat pada proyek pembangunan storage tank 1000 MT dan pondasi *Building* WWTP untuk mengurangi pemborosan (waste) dan meningkatkan efisiensi manajemen konstruksi. Hasilnya menunjukkan bahwa durasi proyek yang awalnya membutuhkan 231 hari berhasil dipersingkat menjadi 144 hari, sehingga terjadi percepatan sebesar 87 hari atau sekitar 37% lebih cepat dibanding jadwal awal.

Kesimpulannya, penerapan metode CCPM terbukti sangat efektif dalam mempercepat penyelesaian proyek secara signifikan dengan tetap menjaga kontrol kualitas pelaksanaan dan menghindari pemborosan waktu akibat perilaku buruk manajerial dalam pelaksanaan proyek. Dengan menggunakan CCPM dihasilkan penyelesaian proyek pembangunan *storage tank* 1000

MT dan WWTP dalam waktu 144 hari maka dapat disimpulkan perbedaan waktu pengerjaan pembangunan storage tank 1000 MT dan WWTP adalah selama 87 hari atau 37 % lebih cepat dibandingkan dengan durasi perencanaan proyek.

2.1.11 Optimasi Penjadwalan Proyek Kantor PT.X dengan Konsep *Finance-Based Scheduling* dan Metode *Metaheuristik*

Penelitian ini adalah karya yang disusun oleh Ambrosius Matthew Junius Reynaldo, bersama Doddy Prayogo, Richard Christian Thendean, dan Immanuel Michraga Freando, dan dipublikasikan pada 2024 di Jurnal Teknik Sipil (Universitas Kristen Petra). Penelitian mengungkap konsep *Finance-Based Scheduling*, yaitu integrasi antara penjadwalan proyek dan pendanaan khususnya pinjaman bank dengan tujuan untuk mengoptimalkan struktur pembayaran dan meminimalkan beban bunga. Untuk menyelesaikan optimasi tersebut, digunakan metode *metaheuristik Symbiotic Organisms Search (SOS)*, yang dirancang untuk menghasilkan skenario penjadwalan alternatif berupa *shift value* (pergeseran waktu mulai aktivitas), dalam rangka menekan beban bunga dan memastikan kepatuhan terhadap batas kredit bank.

Hasilnya menunjukkan bahwa pada tiga skenario pembayaran yang diuji, aplikasi SOS berhasil menurunkan beban bunga pinjaman dan mengurangi jumlah pinjaman maksimum yang diperlukan kontraktor, sehingga tetap berada dalam batas kredit yang disetujui bank. Skenario terbaik ditemukan pada pilihan skenario 1 dan 3, yang secara signifikan menurunkan beban bunga dan kebutuhan pinjaman terbesar. Skenario terbaik yang dipilih kontraktor untuk melaksanakan proyek memiliki dua alternatif yaitu skenario 1 dan skenario 3. Skenario 1 memiliki tingkat penurunan beban bunga pinjaman terbesar, sementara skenario 3 memiliki tingkat penurunan pinjaman dana terbesar. Apabila skenario 1 yang dipilih maka kontraktor perlu melakukan negosiasi dengan pihak *owner* agar memberikan down payment sebesar 10%, sebaliknya pemilihan skenario 3 menyebabkan kontraktor perlu bernegosiasi dengan pihak bank untuk menyediakan plafon anggaran yang sangat besar.

2.1.12 Optimisasi Rute Pengiriman Produk Usaha Mikro Kecil dan Menengah Menggunakan Metode *Metaheuristik Particle Swarm Optimization*

Penelitian ini merupakan karya Nur Annisa Venny Meitasari dan Antono Adhi, yang diterbitkan pada 2025 di Jurnal Serambi *Engineering*. Penelitian tersebut menerapkan metode *metaheuristik Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk mengoptimalkan rute pengiriman

produk pada skala Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM), dengan tujuan meminimalkan jarak tempuh dan waktu distribusi demi efisiensi operasional. Studi ini menerapkan PSO untuk menyelesaikan Traveling Salesman Problem (TSP), fokus pada pengurangan jarak dan waktu pengiriman. Data yang didapat diproses menggunakan aplikasi Visual Basic 0.6. Hasil perhitungan PSO menunjukkan bahwa rute baru yang dihasilkan lebih efisien dibanding dengan rute awal. Dengan total jarak pada rute baru sebesar 100550 meter dan 115950 meter untuk rute awal, menghasilkan efisiensi sebesar 13%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode metaheuristik PSO efektif dalam mengoptimalkan rute pengiriman untuk UMKM Cripang Bu Fitri dengan rute baru 1-3-2-16-5-18-17-8-9-10-11-7-13-17-18-6-12-4-14-15-1 terbukti lebih efisien dibanding rute awal dengan peningkatan sebesar 13%. Hal ini menunjukkan pengurangan jarak tempuh yang signifikan, sehingga dapat menghemat waktu pengiriman dan biaya operasional. Penemuan ini menunjukkan bahwa algoritma PSO mampu secara signifikan menyederhanakan proses pendistribusian produk UMKM, membuatnya lebih cepat dan lebih hemat. Kesimpulannya, penerapan PSO dalam konteks UMKM terbukti memberikan solusi rute yang lebih efisien—baik dari sisi waktu maupun jarak—yang menjadi elemen krusial dalam peningkatan daya saing sektor ini. Penerapan PSO memberikan dampak positif bagi pemilik maupun salesman UMKM Cripang Bu Fitri, dengan menghemat biaya operasional dan waktu pengiriman selama proses distribusi berlangsung. Sehingga meningkatkan daya saing UMKM terkhususnya UMKM Cripang Bu Fitri terhadap pasar.

2.1.13 Optimasi *Trim Loss* pembesian Beton Bertulang Dengan Metode *Metaheuristik Particle Swarm Optimization* dan *Symbiotic Organisms Search*

Penelitian ini adalah karya dari Renaldy Gozal dan Doddy Prayogo, dan diterbitkan pada 30 Oktober 2021 dalam Dimensi Utama Teknik Sipil, Volume 8 Nomor 2. Penelitian tersebut mengaplikasikan metode *metaheuristik Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Symbiotic Organisms Search* (SOS) untuk meminimalkan *trim loss* dalam pemotongan tulangan baja (*bar bending schedule*) pada proyek nyata, dengan tujuan mengurangi limbah serta mengoptimalkan efisiensi dalam pemotongan material. Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah optimasi dengan menghasilkan cutting pattern yang efisien dan menghasilkan trim loss minimum. Data yang digunakan berasal dari proyek nyata di kantor. Dalam prosesnya, metode *Particle Swarm Optimization* dan *Symbiotic Organisms Search* dibandingkan pada berbagai

metode cutting pattern dan kondisi yang berbeda. Performa kedua metode dinilai berdasarkan hasil minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, serta grafik konvergensi setiap iterasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Symbiotic Organisms Search dengan kondisi undersupply berhasil menemukan solusi terbaik.

Dapat diambil kesimpulan bahwa metode metaheuristic berhasil menghasilkan trim loss minimum dari berbagai cutting pattern yang ada. Dari dua macam cutting pattern generator yang digunakan, trim loss terkecil dihasilkan oleh Intensive Search Algorithm. Kondisi undersupply menghasilkan trim loss paling kecil dibandingkan dengan kondisi oversupply, yaitu sebesar 9,10 meter. Di antara kedua metode yang digunakan, yaitu PSO dan SOS, kinerja terbaik ditunjukkan oleh SOS karena mampu menghasilkan trim loss paling minimum dengan jumlah iterasi atau waktu yang lebih cepat dibandingkan PSO. Penghematan yang dioptimasi pada penelitian ini mencapai 9,74 persen dari keseluruhan baja tulangan beton.

2.1.14 Optimasi *Open Location Routing Problem* Menggunakan Metode *Metaheuristik Simulated Annealing, Large Neighborhood Search, dan Adaptive Large Neighborhood Search*

Penelitian ini karya Audi Ziyad Afkar Muhammad, Mochamad Egidio Pramudya Kafi, Narsico Rafael Hasibuan, Noor Athiea Rahmawatie, dan Achmad Pratama Rifai. Penelitian ini membahas penyelesaian masalah *Open-Location Routing Problem* (OLRP), yang merupakan pengembangan dari *Capacitated-Location Routing Problem* (CLRP). OLRP menjadi semakin relevan seiring meningkatnya penggunaan layanan logistik dari pihak ketiga. Perbedaan utamanya dengan CLRP adalah pada OLRP, kendaraan tidak kembali ke pusat distribusi setelah menyelesaikan pelayanan kepada pelanggan. Tujuan utama pengembangan OLRP adalah untuk meminimalkan total biaya, yang mencakup biaya operasional fasilitas, biaya tetap kendaraan, serta biaya perjalanan.

Dalam studi ini, dilakukan pengembangan dan perbandingan tiga pendekatan metaheuristic, yaitu *Simulated Annealing* (SA), *Large Neighborhood Search* (LNS), dan *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS), untuk menyelesaikan permasalahan OLRP. Model yang digunakan melibatkan 21 pelanggan dan 5 depot potensial. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketiga metode mampu menyelesaikan OLRP dengan variasi waktu komputasi dan total biaya. Dari ketiganya, *Simulated Annealing* memberikan hasil terbaik dengan total biaya minimum sebesar \$321,0406 dan waktu komputasi hanya 54 detik. Pada

metode *greedy repair*, pemilihan titik berikutnya hanya didasarkan pada jarak terpendek dari titik terakhir yang dikunjungi. Dengan kata lain, algoritma ini hanya berupaya meminimalkan jarak pada tahap perbaikan, tanpa mempertimbangkan faktor lain yang dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan solusi. Meskipun pada kasus ini biaya transportasi bernilai nol, strategi perbaikan yang semata-mata fokus pada jarak terpendek justru mengabaikan peluang untuk memanfaatkan kondisi tersebut, sehingga solusi akhir yang dihasilkan tidak optimal secara keseluruhan.

2.1.15 Analisis Biaya Dan Waktu Pada Pembangunan Rumah Sakit Tingkat III Brawijaya Surabaya Menggunakan *Metodecritical Chain Project Management(Ccpm)*

Penelitian ini karya Ahmad Mufahri dan Wateno Oetomo diterbitkan pada juli 2023. Untuk mencapai tujuan proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Tingkat III Brawijaya Surabaya, khususnya dalam memenuhi target standar biaya (keuangan), waktu (timetable), dan kualitas (mutu), metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dapat dijadikan alternatif perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi. Metodologi ini menekankan penghindaran multitasking pada karyawan karena multitasking berpotensi memperpanjang waktu pengerjaan, melibatkan aktivitas yang tidak selalu berhubungan, serta menurunkan fokus pekerja. Dalam CCPM, dikenal konsep buffer, yaitu penambahan waktu cadangan pada jadwal untuk melindungi rantai kritis demi keberhasilan proyek.

Penentuan ukuran project buffer dan feeding buffer dapat dilakukan dengan dua metode yang relatif sederhana, yaitu *Cut and Paste Method* (C&PM) dan *Root Square Error Method* (RSEM). Berdasarkan analisis penerapan CCPM pada proyek ini, diperoleh *feeding buffer* selama 109 hari dan *project buffer* selama 130 hari, sehingga total durasi penyelesaian proyek adalah 164 hari. Berdasarkan analisis, penerapan CCPM pada Proyek Pembangunan Gedung RS Tingkat III Brawijaya Surabaya menghasilkan durasi penyelesaian 164 hari dari rencana awal 180 hari, sehingga terjadi percepatan waktu sebesar 16 hari.

Dari sisi biaya, penerapan metode ini memberikan penghematan biaya tenaga kerja sebesar Rp 3.099.752.228,00 (tiga miliar sembilan puluh sembilan juta tujuh ratus lima puluh dua ribu dua ratus dua puluh delapan rupiah). Tanpa konsumsi buffer, total biaya proyek menjadi Rp 53.999.460.772,00 (lima puluh tiga miliar sembilan ratus sembilan puluh sembilan juta empat ratus enam puluh ribu tujuh ratus tujuh puluh dua rupiah), lebih rendah dari rencana

awal sebesar Rp 57.099.213.000,00 (lima puluh tujuh miliar sembilan puluh sembilan juta dua ratus tiga belas ribu rupiah).

Tabel menunjukkan posisi penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu yng sudah dijabarkan diatas.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No.	Penulis	Objek Penelitian	Algoritma Brooks	Algoritma Genetika	Resource Levelling	CCPM (critical chain project management)	Algoritma Harmony	Algoritma Metaheuristik
2.1.1	(Kurniawan, 2006)	Pembangunan rumah	✓					
2.1.2	(Sikomena et al., 2021)	Masalah penjadwalan proyek dengan keterbatasan sumber daya		✓				
2.1.3	(Peginusa & Cyntha Tendean, 2025)	Hotel Amaris Manado			✓			
2.1.4	(Legho et al., 2024)	TEKNO			✓			
2.1.5	(Radithya Yahya & Abma, 2022)	Proyek pembangunan Gereja Katolik Santa Maria Penolong Abadi di Samarinda, Kalimantan Timur			✓			

No.	Penulis	Objek Penelitian	Algoritma Brooks	Algoritma Genetika	Resource Levelling	CCPM (critical chain project management)	Algoritma Harmony	Algoritma Metaheuristik
2.1.6	(Putra, 2023)	Proyek Pembangunan Konstruksi Revitalisasi Pasar Tematik Wisata Ubud di Kabupaten Gianyar			✓			
2.1.7	(Purwanto et al., 2020)	Pt. Adi Satria Abadi (Asa)					✓	
2.1.8	(Lutfan Anas Zahir, 2021)	Penjadwalan Konstruksi Rehabilitasi Puskesmas Besuki					✓	
2.1.9	(Fadillah & Abma, 2024)	Kelemahan penjadwalan konvensional yang terkait dengan kelebihan waktu cadangan pada tiap kegiatan dan multitasking yang memperlambat penyelesaian proyek				✓		

No.	Penulis	Objek Penelitian	Algoritma Brooks	Algoritma Genetika	Resource Levelling	CCPM (critical chain project management)	Algoritma Harmony	Algoritma Metaheuristik
2.1.10	(Khaidir et al., 2023)	Pembangunan storage tank 1000 MT dan pondasi Building WWTP				✓		
2.1.11	(Reynaldo et al., 2024)	Struktur pembayaran dan meminimalkan beban bunga						✓
2.1.12	(Annisa et al., 2025)	Rute Pengiriman Produk Usaha Mikro Kecil						✓
2.1.13	(Gozal & Prayogo, 2021)	Meminimalkan <i>trim loss</i> dalam pemotongan tulangan baja						✓
2.1.14	(Ziyad et al., 2025)	<i>Open-Location Routing Problem</i> (OLRP), yang merupakan pengembangan dari <i>Capacitated-Location Routing Problem</i> (CLRP).						✓

No.	Penulis	Objek Penelitian	Algoritma Brooks	Algoritma Genetika	Resource Levelling	CCPM (critical chain project management)	Algoritma Harmony	Algoritma Metaheuristik
2.1.15	(Mufahri & Oetomo, 2023)	Pembangunan Rumah Sakit Tingkat III Brawijaya Surabaya				✓		

2.2 Landasan Teori

Berikut ini adalah landasan teori yang mencakup istilah, teori, atau formula yang terkait dengan topik penelitian. Landasan teori ini disusun dengan bersumber pada buku dan jurnal terkemuka.

2.2.1 Manajemen Proyek

Menurut Soeharto 1999 dalam Dimyati dan Nurjaman (2014), manajemen merupakan proses merencanakan, mengorganisasikan, memimpin, dan mengendalikan kegiatan anggota organisasi serta sumber daya lainnya sehingga dapat mencapai sasaran organisasi telah ditentukan sebelumnya (Dimyati, 2014). Menurut PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), sebuah proyek adalah suatu usaha sementara yang dilakukan untuk menciptakan produk atau layanan khusus. Seperti kebanyakan bisnis organisasi, tujuan utama sebuah proyek adalah untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Karakteristik proyek membantu membedakan proyek dari berbagai usaha lainnya yang dilakukan organisasi.

Manajemen Proyek adalah penerapan ilmu pengetahuan, keahlian dan keterampilan, cara teknis yang terbaik dan dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kinerja biaya, mutu dan waktu, serta keselamatan kerja (HUSEN, 2009). Tujuan dalam manajemen proyek adalah memastikan bahwa proses manajemen dilaksanakan secara paling efektif dan efisien, sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan, guna memperoleh hasil yang maksimal. Tiga elemen penting yang menjadi batasan utama dalam mencapai tujuan proyek adalah biaya, waktu, dan kualitas. Ketiganya disebut sebagai *triple constraint*, dan harus dikelola secara seimbang agar proyek dapat berhasil.

1. Biaya (Anggaran)

Proyek tidak boleh melebihi dana yang ditetapkan. Oleh karena itu, perencanaan anggaran yang detail dan jadwal yang jelas diperlukan. Dalam proses ini, kolaborasi dan kepercayaan yang baik antar pelaksana sangat penting untuk mengurangi pemborosan

2. Waktu (Jadwal)

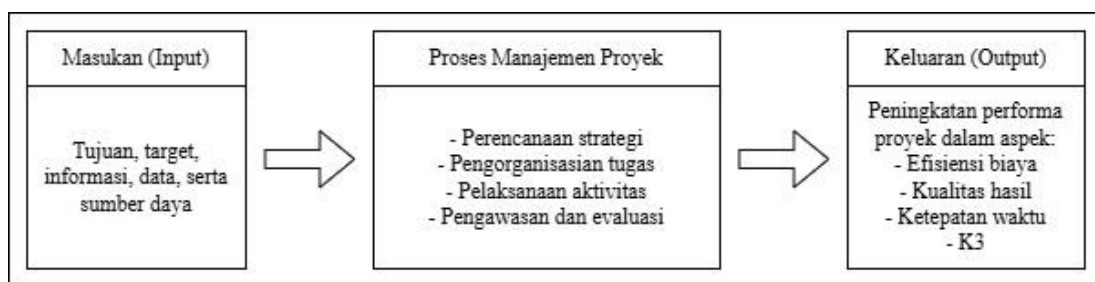
Penyelesaian proyek harus selesai tepat waktu dan tidak mengganggu jadwal penyerahan kepada pemilik. Karena itu, identifikasi jalur kritis (*critical path*) sangat penting untuk mempercepat proses pengerjaan dan memastikan proyek selesai tepat waktu.

3. Kualitas (Mutu)

Hasil proyek harus memenuhi standar dan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Misalnya, bangunan harus dibangun dengan daya tahan dan nilai ekonomi yang memadai sehingga dapat digunakan secara efektif dalam jangka waktu tertentu. Oleh karena itu, kontrol mutu harus menjadi elemen penting yang tidak boleh diabaikan selama setiap tahap proyek.

Tiga kriteria ini menekankan fungsi utama manajemen proyek, yaitu menyeimbangkan waktu, biaya, dan kinerja sementara tetap memuaskan pelanggan (Larson, 2008). Pekerjaannya biasanya melibatkan:

1. Tuntutan persaingan: ruang lingkup, waktu, biaya, risiko, dan kualitas.
2. Pemangku kepentingan yang berbeda dari kebutuhan dan harapan.
3. Identifikasi kebutuhan



Gambar 2. 1 Proses Manajemen Proyek

Gambar 2.1 menunjukkan urutan proses manajemen proyek, yang dimulai dengan kegiatan perencanaan hingga pengendalian. Proses ini bergantung pada input seperti tujuan dan sasaran proyek, informasi dan data yang digunakan, serta penggunaan sumber daya yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan. Manajemen proyek yang tidak dikelola dengan baik akan menghasilkan hasil yang buruk. Selain kehilangan materi, waktu, dan tenaga, mereka juga akan kehilangan kredibilitas, kepercayaan, dan hubungan sosial. Segala macam kegiatan dalam proses manajemen proyek direncanakan dengan teliti dan akurat agar mendapatkan hasil proyek yang optimal.

2.2.2 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah rencana pengurutan kerja untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dengan sasaran khusus dengan saat penyelesaian yang jelas. Pengelolaan proyek-proyek berskala besar yang berhasil memerlukan perencanaan, penjadwalan, dan pengkoordinasian

yang hati-hati dari berbagai aktivitas yang saling berkaitan. Untuk itu kemudian dikembangkan prosedur-prosedur formal yang didasarkan atas penggunaan jaringan kerja (*organize*) dan teknik-teknik *organize*. Analisa jaringan kerja merupakan suatu perpaduan pemikiran yang logis, digambarkan dengan suatu jaringan yang berisi lintasan-lintasan kegiatan dan memungkinkan pengolahan secara analitis (Sutrisno, 2017). Penjadwalan proyek ini sangat penting agar setiap tugas dapat diselesaikan dengan cepat, detail, dan efisien. Manfaat penjadwalan proyek meliputi:

1. Menunjukkan bagaimana tiap kegiatan berhubungan satu sama lain dan dengan proyek secara keseluruhan.
2. Mengidentifikasi hubungan mana yang harus diprioritaskan.
3. Menunjukkan perkiraan biaya dan waktu yang realistis untuk tiap kegiatan.
4. Membantu penggunaan tenaga kerja, uang dan sumber daya lainnya dengan cara hal-hal kritis pada proyek.

Salah satu elemen hasil perencanaan adalah jadwal proyek, yang dapat memberikan informasi tentang jadwal rencana dan kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya, termasuk biaya, tenaga kerja, peralatan, dan material, serta rencana durasi proyek dan perkiraan waktu penyelesaian. Selama proses penjadwalan, penyusunan kegiatan dan hubungannya satu sama lain dibuat dengan lebih teliti dan rinci. Hal ini dilakukan dengan tujuan membantu proses evaluasi proyek. Penjadwalan adalah penentuan jumlah waktu yang tersedia untuk menyelesaikan setiap tugas yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek hingga mencapai hasil yang optimal dengan mempertimbangkan batas-batas yang ada (Husen, 2009).

2.2.3 Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)

RCPSP telah diteliti sejak tahun 60-an dan dianggap sebagai masalah *NP-hard*, yang berarti pendekatan yang kompleks diperlukan untuk menyelesaikannya. RCPSP adalah bagian dari manajemen jadwal proyek yang melibatkan dua kendala utama: keterbatasan sumber daya dan hubungan ketergantungan antar aktivitas. Tujuan utama dari RCPSP adalah meminimalkan durasi proyek dengan mempertimbangkan kedua kendala tersebut (Golab, 2023). RCPSP adalah permasalahan penjadwalan proyek yang harus memenuhi dua kendala utama: *precedence constraints* (ketergantungan antar aktivitas) dan *resource constraints* (keterbatasan sumber daya). Dengan kata lain, setiap aktivitas proyek harus dijadwalkan dengan mempertimbangkan urutan pelaksanaan dan ketersediaan sumber daya yang terbatas (Putra,

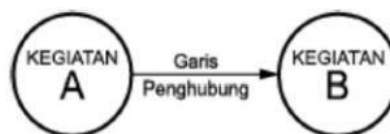
2013). *Precedence constraints* adalah keadaan dimana aktivitas terdahulu sudah dijadwalkan sebelum aktivitas setelahnya dijadwalkan. Sedangkan *resource constraints* merupakan permasalahan untuk mengatur sumber daya di mana jumlah sumber daya yang diperlukan tidak boleh melebihi jumlah sumber daya yang tersedia.

Buku *Integrated Production Control Systems: Management, Analysis, and Design* oleh David D. Bedworth dan James E. Brooks menjelaskan bahwa mengembangkan jadwal tanpa mempertimbangkan sumber daya terbatas atau langka akan menghasilkan hasil yang tidak dapat diimplementasikan. Banyak teknik penjadwalan tidak mempertimbangkan kemungkinan sumber daya yang terbatas. Misalnya, sebuah jadwal terlihat bisa dicapai secara teori, namun kenyataannya belum tentu demikian. Bahkan jika jumlah sumber daya mencukupi untuk menjalankan jadwal tersebut, cara penjadwalan penggunaan sumber daya itu sendiri bisa berdampak besar terhadap biaya pelaksanaan proyek.

2.2.4 Activity Network Diagram

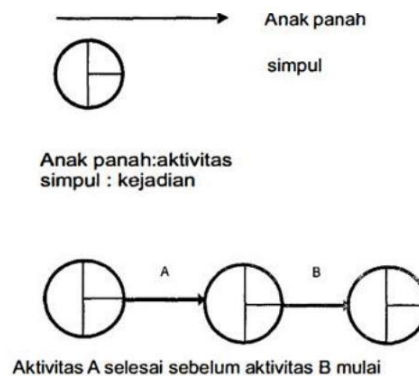
Activity Network Diagram adalah representasi grafis yang menunjukkan urutan dan ketergantungan antar aktivitas yang terlibat dalam sebuah proyek. Diagram ini membantu memvisualisasikan hubungan antar tugas, memperjelas jalur kritis, dan memudahkan merencanakan, mengelola, dan mengendalikan proyek secara lebih efektif. Menurut (Heizer, 2014), *Activity Network Diagram* digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang harus diselesaikan, hubungan antar aktivitas, serta waktu yang diperlukan untuk menyelesaikannya, sehingga manajer proyek dapat mengetahui aktivitas mana yang tidak boleh mengalami keterlambatan agar proyek selesai tepat waktu. Menurut buku *Operations Management* edisi ke-11, yang ditulis oleh Jay Heizer dan Barry Render, ada dua jenis diagram jaringan aktivitas:

1. Activity-on-Arrow (AOA): Diagram jaringan di mana panah mewakili aktivitas.



Gambar 2. 2 Simbol pada Activity-on-Arrow (AOA)

2. Activity-on-Arrow (AOA): Diagram jaringan di mana panah mewakili aktivitas.



Gambar 2. 3 Simbol dalam AOA

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan jaringan kerja adalah:

1. Macam-macam aktivitas yang ada.
2. Ketergantungan antar aktivitas, mana yang lebih dahulu diselesaikan mana yang menyusul.
3. Urutan logis dari masing-masing aktivitas waktu penyelesaian tiap aktivitas.

Proses menyusun jaringan kerja sering dilakukan berulang-ulang sebelum sampai pada jadwal atau perencanaan yang dianggap realistis. Pada proses ini dilakukan pendekatan sistematis dan pemikiran yang analitis, maka pelaksana dan pimpinan proyek akan mendapatkan gambaran dan pemikiran yang lebih jelas dan mendalam. Jaringan kerja merupakan sarana komunikasi yang efektif bagi semua pihak yang terlibat dalam suatu proyek.

2.2.5 ACTIM (*Activity Time*)

Dalam metode Algoritma Brooks, kriteria penjadwalan yang dimana aktivitas diurutkan untuk dijadwalkan disebut ACTIM. (Lucy C. Morse, 1996) Prioritas diberikan kepada aktivitas yang memiliki nilai ACTIM tertinggi. Nilai ACTIM dari suatu aktivitas dihitung sebagai waktu maksimum yang dikendalikan oleh aktivitas tersebut melalui jaringan proyek pada salah satu jalur. Algoritma Brooks mengurutkan pekerjaan berdasarkan nilai ACTIM, di mana nilai $ACTIM = (critical\ path\ time) - (activity\ latest\ start\ time)$. ACTIM adalah sebuah heuristik yang umum digunakan dalam perangkat lunak alokasi sumber daya komersial. Heuristik ini tergolong sederhana dalam penerapannya, namun hasil yang diberikannya tidak selalu konsisten, terutama ketika digunakan pada jaringan proyek yang besar dan melibatkan banyak sumber daya (*multi-resource networks*) (Whitehouse, 1983).

2.2.6 *Crashing*

Crashing adalah suatu proses yang disengaja, sistematis, dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis (Ervianto, Manajemen Proyek Konstruksi, 2002). Mempercepat waktu penyelesaian proyek merupakan upaya untuk menyelesaikan proyek lebih cepat dibandingkan dengan durasi normal yang telah direncanakan. Upaya percepatan ini dilakukan dengan mengurangi durasi beberapa aktivitas tertentu melalui penerapan *crash program*. Proses *crashing* adalah cara melakukan perkiraan dari *variabel cost* dalam menentukan pengurangan durasi yang paling maksimal dan paling ekonomis dari suatu kegiatan yang masih mungkin untuk direduksi (Ervianto, Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi, 2004). Kegiatan dalam suatu proyek dapat dipercepat dengan berbagai cara (Ervianto I. W., 2004) yaitu:

- a) Mengadakan shift pekerjaan.
- b) Memperpanjang waktu kerja
- c) Menggunakan alat bantu yang lebih produktif
- d) Menambah jumlah pekerja
- e) Menggunakan material yang dapat lebih cepat penggunaannya
- f) Menggunakan metode konstruksi yang lebih cepat

Metode ini dilakukan dengan memperbaiki penjadwalan menggunakan perencanaan jaringan (*network planning*) yang difokuskan pada jalur kritis. Dampak dari penerapan *crashing* adalah meningkatnya biaya langsung (*direct cost*). Penambahan sumber daya dalam proses *crashing* menyebabkan kenaikan pada biaya langsung, sementara karena waktu pelaksanaan proyek menjadi lebih singkat, biaya tidak langsung (*indirect cost*) justru mengalami penurunan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Subjek penelitian

Subjek penelitian ini adalah tim pengembang *Betty POS* di PT. XYZ yang terdiri dari tiga orang dan bertanggung jawab untuk membangun aplikasi *Point of Sale* (POS) yang memiliki fitur cukup kompleks seperti manajemen inventaris, membership, dan rantai pasok.

3.2 Objek penelitian

Objek penelitian ini adalah manajemen proyek pengembangan aplikasi *Betty POS*, terutama penjadwalan dan pembagian sumber daya. Objek penelitian ini membahas metode perencanaan dan penjadwalan Algoritma Brooks dan *Activity Time* untuk menyelesaikan proyek tepat waktu dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh langsung dari sumber pertama, yaitu PT. XYZ, khususnya dari tim pengembang aplikasi *Betty POS* dan juga studi literatur. Dalam penelitian ini ada beberapa teknik yang dilakukan sebagai alur proses dari pengumpulan data, diantaranya adalah:

a. Overview

Overview dilakukan saat melakukan penelitian di PT. XYZ, terutama pada tim yang mengerjakan proyek *Betty POS*, di mana pemimpin proyek mengenalkan perusahaan secara keseluruhan dan menjelaskan terkait berbagai proyek yang dijalankan oleh perusahaan tersebut. Dengan adanya *overview* ini, peneliti dapat memperoleh pemahaman yang lebih luas tentang berbagai proyek yang dijalankan oleh perusahaan ini. Hal ini memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis yang tidak hanya membantu menemukan penyebab keterlambatan atau ketidakefisienan, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi seberapa efektif strategi manajemen proyek yang diterapkan pada setiap proyek, termasuk proyek *Betty POS*. Dengan begitu, peneliti dapat memberikan rekomendasi yang lebih tepat sasaran dalam rangka peningkatan performa manajemen proyek di lingkungan PT. XYZ secara keseluruhan.

b. Wawancara

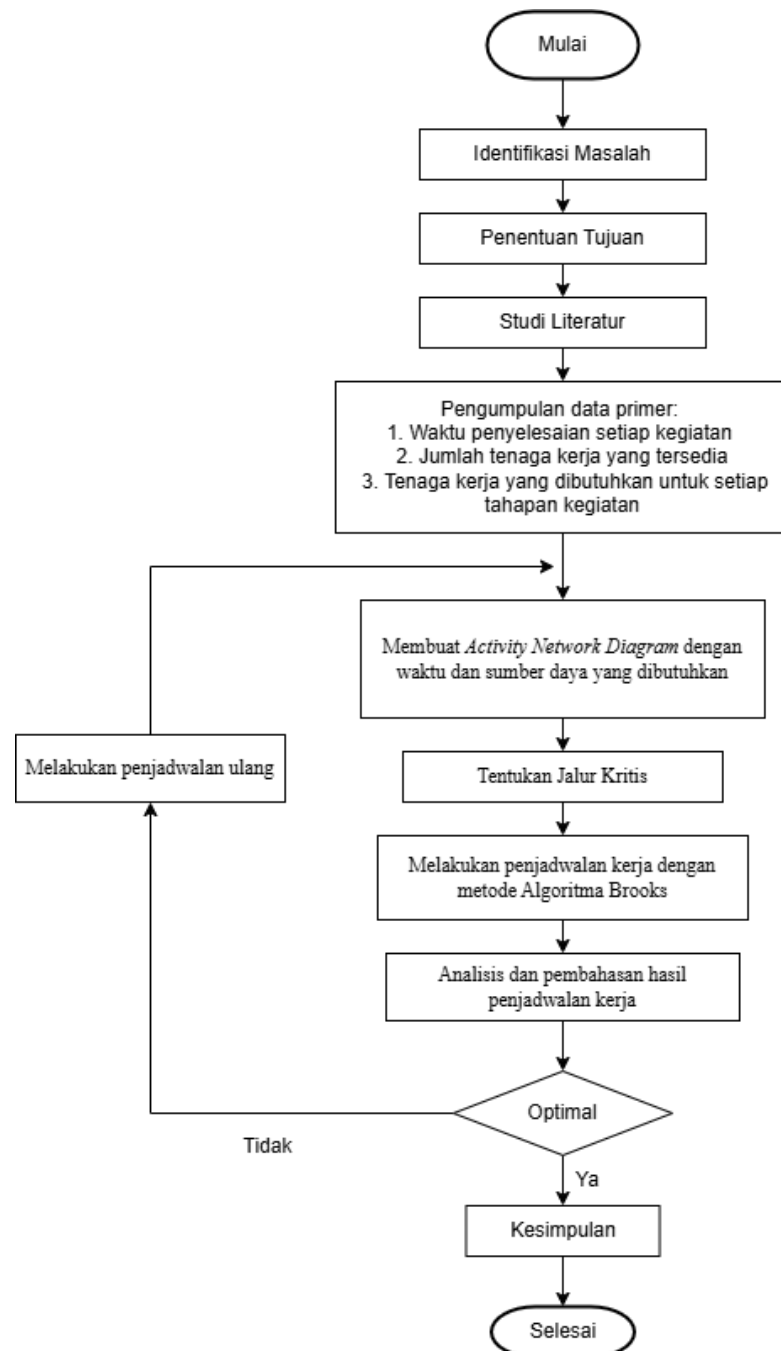
Melakukan wawancara dengan anggota tim pengembang aplikasi *Betty POS* untuk mengetahui proses pengembangan aplikasi, pembagian tugas, masalah yang dihadapi, seperti keterlambatan proyek dan beban kerja yang berlebihan, serta strategi manajemen proyek yang telah diterapkan sejauh ini. Metode manajemen proyek *Algoritma Brooks* bergantung pada data ini untuk memahami kondisi lapangan yang sebenarnya. Metode ini juga digunakan untuk mengoptimalkan jadwal proyek dan mengatasi masalah keterbatasan sumber daya sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis yang lebih akurat tentang seberapa efektif manajemen proyek PT. XYZ untuk mengembangkan aplikasi *Betty POS*.

c. Studi Literatur

Studi literatur juga dilakukan untuk memperkuat pemahaman terhadap konsep manajemen proyek. Informasi ini dikumpulkan dari beberapa referensi yang relevan. Peneliti dapat menemukan cara atau metode analisis terbaik dengan melihat literatur. Dari studi literatur ini, dapat digunakan untuk memberikan dasar untuk teori-teori yang relevan untuk digunakan dalam pelaksanaan penelitian, khususnya teori tentang teknik penjadwalan dan prinsip manajemen proyek dan studi literatur ini dapat digunakan sebagai panduan untuk penulisan ilmiah yang lebih sistematis serta membantu dalam menyampaikan gagasan secara lebih logis dan kritis selama proses analisis penelitian.

3.4 Diagram Alur Penelitian

Adapun alur penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

1. Mulai

Penelitian ini dimulai dengan menetapkan tujuan penelitian berdasarkan permasalahan nyata yang terjadi selama tim pengembang PT. XYZ mengembangkan aplikasi *Betty POS* dengan berdiskusi dengan ketua pelaksana proyek untuk memahami topik penelitian dan lingkupnya. Permasalahan yang dihadapi tim menjadi landasan untuk memulai proses penelitian, khususnya tentang efisiensi manajemen proyek dan penjadwalan kerja tim.

2. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, peneliti berdiskusi dengan ketua pelaksana proyek untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada tim pengembang aplikasi yang bertujuan untuk memahami dan dapat mengidentifikasi potensi permasalahan dan perencanaan proyek. Identifikasi ini penting untuk memahami sumber masalah yang terjadi dan menentukan prioritas permasalahan yang dihadapi untuk dianalisis lebih lanjut untuk memberikan solusi yang efektif.

3. Penentuan Tujuan

Setelah masalah diidentifikasi, selanjutnya adalah menetapkan tujuan penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan penjadwalan proyek pengembangan aplikasi *Betty POS* agar dapat diselesaikan tepat waktu meskipun terdapat keterbatasan sumber daya. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan toleransi keterlambatan pada aktivitas non-kritis, mengidentifikasi penyebab keterlambatan dalam pengembangan berbasis versi, serta mengevaluasi efektivitas manajemen proyek yang diterapkan di PT. XYZ guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas tim proyek.

4. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan berdasarkan berbagai literatur dan teori yang berkaitan dengan subjek manajemen proyek yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman tentang teknik penjadwalan *Algoritma Brooks*, serta membantu dalam menentukan pendekatan terbaik untuk menganalisis data. Sumber literatur yang dikaji termasuk buku *Integrated Production Control Systems* karya *Bedworth* dan *Brooks*, artikel, jurnal ilmiah, dan dokumen proyek sebelumnya. Hasilnya akan berfungsi sebagai kerangka teori untuk analisis.

5. Pengumpulan Data Primer

Setelah melakukan studi literatur, kemudian dilakukan pengumpulan data primer yang meliputi perkiraan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap tugas pengembangan *Betty POS*, jumlah tenaga kerja yang tersedia, dan jumlah tenaga kerja yang diperlukan untuk setiap tahap tugas.

6. Membuat Activity Network Diagram

Diagram mencantumkan waktu penyelesaian dan jumlah tenaga kerja yang diperlukan untuk setiap kegiatan, sehingga memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana proyek sedang berjalan.

7. Menentukan Jalur Kritis

Proses penentuan jalur kritis dilakukan untuk mengidentifikasi jalur yang paling berdampak pada durasi proyek secara keseluruhan. Jika salah satu aktivitas di jalur kritis ini tertunda, waktu proyek akan tertunda sehingga mempengaruhi jadwal proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, jalur ini harus diberi prioritas dalam perencanaan dan pengawasan.

8. Melakukan Penjadwalan Kerja dengan Metode Algoritma Brooks

Kemudian melakukan penjadwalan kerja dengan metode Algoritma Brooks menggunakan jalur kritis yang telah ditentukan. Tujuan metode ini adalah untuk mencegah ketimpangan kerja dan mengurangi kemungkinan keterlambatan.

9. Analisis dan Pembahasan Hasil Penjadwalan Kerja

Melakukan analisis untuk mengetahui apakah hasil jadwal yang baru, masuk akal dan efektif. Peneliti menilai beban kerja tim, risiko yang mungkin, dan dampak terhadap jadwal pengujian dan pemasaran. Penjadwalan ulang dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya jika jadwal belum optimal, seperti jika ada risiko keterlambatan atau ketidakseimbangan beban kerja.

10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan ini mencakup bagaimana metode CPM dan Algoritma Brooks berhasil mengatasi keterbatasan sumber daya, memperbaiki jadwal proyek, dan meningkatkan kemungkinan penyelesaian pengembangan Betty POS dengan kualitas yang diharapkan pada waktunya. Sementara Saran diberikan untuk perbaikan proyek selanjutnya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kegiatan pekerjaan dan waktu dalam proyek pembuatan aplikasi *Betty POS* di PT. XYZ yang kemudian data tersebut digunakan dalam diagram jaringan kerja, Dalam proses pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dengan ketua pelaksana proyek IT. Pedoman proses penjadwalan menggunakan metode Algoritma Brooks yang dijelaskan pada buku *Integrated Production Control Systems: Management, Analysis, and Design* oleh David D. Bedworth dan James E. Brooks dan menentukan *Activity Time* (ACTIM) untuk menyelesaikan proyek tepat waktu dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang terbatas dengan output yang diharapkan proyek dapat selesai tepat waktu dan menghindari terjadinya keterlambatan pengujian *user interface* dan *user experience* (UI/UX) pada departemen marketing komunikasi.

4.1.1 Timeline Kegiatan dan Perencanaan

Berikut merupakan tabel *timeline* kegiatan dan perencanaan proyek pengembangan aplikasi *Betty POS* yang akan dilaksanakan bulan juli 2025 – Juli 2026 yang meliputi durasi kerja dan urutan kegiatan.

Tabel 4. 1 Keterkaitan antar aktivitas pekerjaan

Kegiatan	Sub Kegiatan	Durasi	Tenaga Kerja
1. Planning	1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS	1 juli - 31 juli	P1,P2, dan P3
	2.1 User Research	1 agustus - 7 agustus	P1,P2, dan P3
2. Design	2.2 Survey	8 agustus - 24 agustus	P1,P2, dan P3
	2.3 Sketch	25 agustus - 8 september	P3
	2.4 Low Fidelity Wireframe	9 september - 21 september	P3

Kegiatan	Sub Kegiatan	Durasi	Tenaga Kerja
	2.5 High Fidelity Wireframe	23 september - 7 oktober	P3
	2.6 Prototyping	8 Oktober - 30 Oktober	P3
3. Review	3.1 Review	31 Oktober - 30 November	P1,P2, dan P3
4. Develop	4.1 Slicing Auth Page (Mobile & Forntend)	1 Desember - 8 Desember	P1 dan P2
	4.2 Slicing Menu Page (Mobile & Forntend)	9 Desember - 9 Januari	P1 dan P2
	4.3 Design Database (Backend)	10 januari - 24 Januari	P1 dan P2
	4.4 Integration Backend, Fronted, Mobile	25 Januari - 24 februari	P1 dan P2
	4.5 Integration with iMin Documentation	25 februari - 18 maret	P1 dan P2
	4.6 Improving UI Application	19 maret - 3 april	P1,P2, dan P3
5. Review	5.1 Review	4 april - 4 mei	P1,P2, dan P3
6. Finishing	6.1 Briefing Persiapan Marketing Tools	5 mei - 12 mei	P1,P2, dan P3
	6.2 Pendekatan Calon User	13 mei - 20 mei	P1,P2, dan P3
	6.3 Build Focus Group Discussion Calon User	21 mei - 21 juni	P1,P2, dan P3
	6.4 Improving UI Application & Interaction	5 mei - 18 mei	P1,P2, dan P3
	6.5 Testing Bug	19 mei - 27 mei	P1,P2, dan P3

Kegiatan	Sub Kegiatan	Durasi	Tenaga Kerja
	6.6 Testing App to User	27 mei - 3 juli	P1,P2, dan P3

Keterangan:

P1: Pekerja 1 Programmer

P2: Pekerja 2 Programmer

P3: Pekerja 3 *UI/UX*

Proyek pembuatan aplikasi *Point of Sale* (POS) ini memerlukan waktu yang cukup panjang, yakni hingga satu tahun, disebabkan oleh proses riset yang intensif dan berkelanjutan. Salah satu alasan utamanya adalah karena aplikasi ini dikembangkan dengan pendekatan *user-oriented*, sehingga tidak cukup hanya sekali melakukan evaluasi. Tim pengembang secara berkala melakukan survei, observasi, dan pengujian langsung kepada pengguna untuk memastikan bahwa fitur dan alur aplikasi benar-benar sesuai dengan kebutuhan dan kenyamanan pengguna. Sekitar setengah dari keseluruhan waktu dalam proyek ini difokuskan untuk kegiatan *research*, *survey*, dan *review*. Hal ini penting mengingat setiap aplikasi POS memiliki alur dan kebutuhan yang berbeda, serta banyaknya kompetitor dengan skema fitur yang serupa, yang menuntut tim untuk menciptakan pembeda yang relevan dan fungsional.

Riset yang dilakukan tidak hanya berfokus pada penambahan fitur, tetapi juga pada penyederhanaan proses agar lebih efisien dan mudah digunakan. Misalnya, pada proses *checkout* produk, jika sebelumnya membutuhkan empat langkah (klik) untuk menyelesaikan transaksi, hasil riset menunjukkan bahwa alur tersebut dapat dioptimalkan menjadi hanya tiga langkah tanpa mengurangi fungsionalitas. Perubahan kecil seperti ini sangat berpengaruh terhadap kemudahan penggunaan dan efisiensi waktu dalam transaksi, terutama bagi pengguna yang bekerja dalam lingkungan yang cepat dan dinamis. Karena itu, proses pengembangan membutuhkan waktu yang tidak singkat, demi menghasilkan aplikasi yang benar-benar efektif dan kompetitif di pasar.

4.1.2 Hubungan keterkaitan antar aktivitas pekerjaan dan lamanya waktu tiap aktivitas
Setiap elemen kerja memiliki estimasi waktu penyelesaian selama proses pengerjaannya. Selain durasi, setiap elemen juga memiliki keterkaitan dengan elemen lainnya, di mana

terdapat urutan pelaksanaan yang menunjukkan bahwa suatu kegiatan harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum kegiatan berikutnya dapat dimulai. Durasi dan urutan kegiatan diperoleh dari data *schedule* perusahaan.

Bagan Gantt (*Generalized Activity Normalization Time Table*) adalah sebuah bagan batang yang dikembangkan sebagai alat manajemen proyek yang diusulkan oleh Henry Gantt. Frederick W. Taylor menemukan keterbatasan metode tradisional bagan Gantt, di mana bagan tersebut tidak sepenuhnya menjelaskan metode penyusunan dan pelaksanaan pekerjaan (Darmody, 2007).

Rincian waktu pengerjaan setiap elemen kerja disajikan dalam tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4. 2 Keterkaitan antar aktivitas

Kegiatan	Predecessor	Sub Kegiatan	Durasi (hari)	Tenaga Kerja
1. Planning	-	1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS	31	P1,P2, dan P3
2. Design	1.1	2.1 User Research	7	P1,P2, dan P3
	2.1	2.2 Survey	16	P1,P2, dan P3
	2.2	2.3 Sketch	14	P3
	2.3	2.4 Low Fidelity Wireframe	12	P3
	2.4	2.5 High Fidelity Wireframe	14	P3
	2.5	2.6 Prototyping	22	P3
3. Review	2.6	3.1 Review	30	P1,P2, dan P3
4. Develop	3.1	4.1 Slicing Auth Page (Mobile & Forntend)	7	P1 dan P2
	4.1	4.2 Slicing Menu Page (Mobile & Forntend)	31	P1 dan P2
	4.2	4.3 Design Database (Backend)	14	P1 dan P2
	4.3	4.4 Integration Backend, Fronted, Mobile	30	P1 dan P2

Kegiatan	Predecessor	Sub Kegiatan	Durasi (hari)	Tenaga Kerja
	4.4	4.5 Integration with iMin Documentation		P1 dan P2 21
	4.5	4.6 Improving UI Application	15	P1,P2, dan P3
5. Review	4.6	5.1 Review	30	P1,P2, dan P3
6. Finishing	5.1	6.1 Briefing Persiapan Marketing Tools	7	P1,P2, dan P3
	6.1	6.2 Pendekatan Calon User	7	P1,P2, dan P3
	6.2	6.3 Build Focus Group Discussion Calon User	31	P1,P2, dan P3
	5.1	6.4 Improving UI Application & Interaction	14	P1,P2, dan P3
	6.4	6.5 Testing Bug	9	P1,P2, dan P3
	6.3, 6.5	6.6 Testing App to User	37	P1,P2, dan P3

Tenaga kerja yang dibutuhkan yaitu, ditunjukkan oleh kolom *predecessor* yang mengatur urutan dan ketergantungan antar sub kegiatan dalam proyek yang mana setiap aktivitas tidak dapat dimulai sebelum aktivitas pendahulunya selesai. Pola keterkaitan ini membentuk alur kerja linier maupun bercabang yang berpengaruh pada penyusunan jadwal proyek dan identifikasi jalur kritis.

Kegiatan dan Perencanaan	2025																			
	Juli				Agustus				September				Oktober				November			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS																				
2.1 User Research																				
2.2 Survey																				
2.3 Sketch																				
2.4 Low Fidelity Wireframe																				
2.5 High Fidelity Wireframe																				
2.6 Prototyping																				
3.1 Review																				
4.1 Slicing Auth Page (Mobile & Forntend)																				
4.2 Slicing Menu Page (Mobile & Forntend)																				
4.3 Design Database (Backend)																				
4.4 Integration Backend, Fronted, Mobile																				
4.5 Integration with iMin Documentation																				
4.6 Improving UI Application																				
5.1 Review																				
6.1 Briefing Persiapan Marketing Tools																				
6.2 Pendekatan Calon User																				
6.3 Build Focus Group Discussion Calon																				
6.4 Improving UI Application & Interaction																				
6.5 Testing Bug																				
6.6 Testing App to User																				

Gambar 4. 1 Gantt Chart ditahun 2025

Kegiatan dan Perencanaan	2026																											
	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS																												
2.1 User Research																												
2.2 Survey																												
2.3 Sketch																												
2.4 Low Fidelity Wireframe																												
2.5 High Fidelity Wireframe																												
2.6 Prototyping																												
3.1 Review																												
4.1 Slicing Auth Page (Mobile & Forntend)																												
4.2 Slicing Menu Page (Mobile & Forntend)																												
4.3 Design Database (Backend)																												
4.4 Integration Backend, Fronted, Mobile																												
4.5 Integration with iMin Documentation																												
4.6 Improving UI Application																												
5.1 Review																												
6.1 Briefing Persiapan Marketing Tools																												
6.2 Pendekatan Calon User																												
6.3 Build Focus Group Discusstion Calon																												
6.4 Improving UI Application & Interaction																												
6.5 Testing Bug																												
6.6 Testing App to User																												

Gambar 4. 2 Gantt Chart ditahun 2026

Setelah data terkumpul, tahap berikutnya adalah mengolah data menggunakan metode yang telah dipilih. Tujuannya agar data tersebut dapat diproses sehingga menghasilkan estimasi waktu dan jadwal pelaksanaan proyek.

4.1.3 Anggaran Gaji Tim Proyek

Dalam pelaksanaan proyek pengembangan aplikasi *point of sale* ini, dibutuhkan tenaga kerja yang terdiri dari tiga orang, yaitu P1, P2, dan P3. Masing-masing memiliki peran penting dalam proses desain, pengembangan, serta pengujian aplikasi. Untuk menjaga profesionalitas kerja dan memastikan keberlanjutan proyek dalam jangka waktu satu tahun, maka berikut ini merupakan anggaran gaji pada masing-masing pekerja:

Tabel 4. 3 Gaji Tenaga Kerja per Bulan

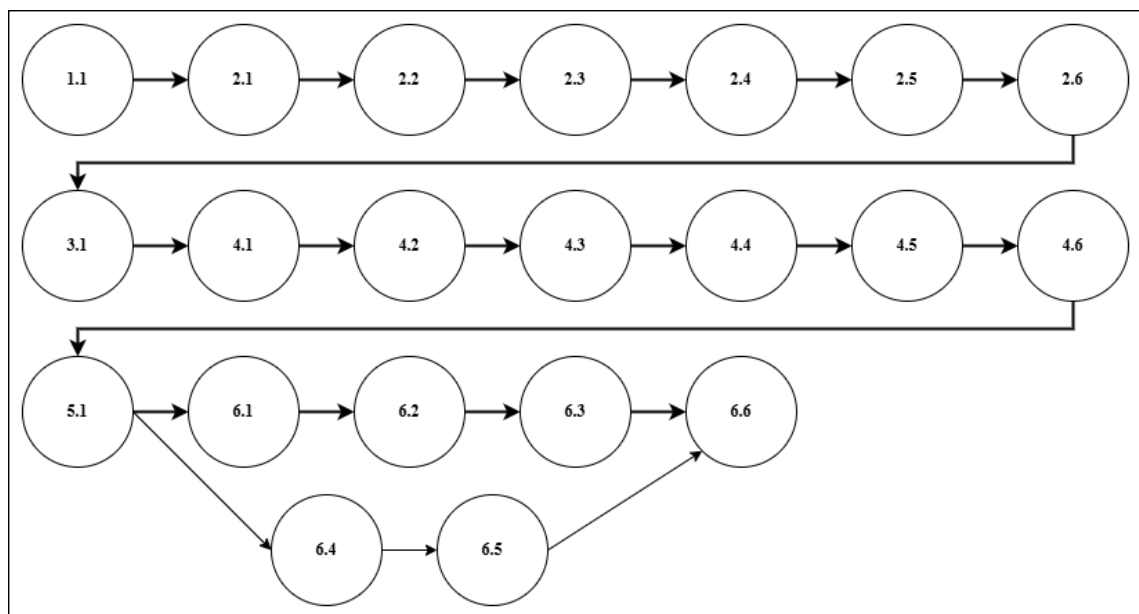
No	Tenaga Kerja	Gaji per Bulan
1	P1	Rp3.500.000
2	P2	Rp3.500.000
3	P3	Rp3.500.000

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 AON (Activition on Node)

Activity on Node (AON) merupakan salah satu bentuk diagram jaringan yang banyak digunakan dalam manajemen proyek. Diagram ini menyajikan aktivitas-aktivitas proyek dalam bentuk node atau simpul, yang menggambarkan urutan serta keterkaitan antar pekerjaan, baik yang harus dilakukan secara berurutan maupun bersamaan. AON digunakan sebagai alat bantu penting dalam proses penjadwalan, perencanaan, serta pengendalian proyek agar pelaksanaannya berjalan sesuai dengan target yang telah ditetapkan.

Berikut merupakan diagram AON alur kegiatan proyek *IT Beety POS*:



Gambar 4. 3 Activivy on Network diagram

Gambar 4. 4 Actitivity on Network diagram

4.2.2 Penentuan Kebutuhan sumber daya

Tabel 4. 4 Tabel Penentuan Kebutuhan Sumber Daya

No	Aktivitas	Waktu	P1	P2	P3	Predecessor
1	1.1	31	1	1	1	-
2	2.1	7	1	1	1	1.1
3	2.2	16	1	1	1	2.1
4	2.3	14	0	0	1	2.2
5	2.4	12	0	0	1	2.3
6	2.5	14	0	0	1	2.4
7	2.6	22	0	0	1	2.5
8	3.1	30	1	1	0	2.6
9	4.1	7	1	1	0	3.1
10	4.2	31	1	1	0	4.1
11	4.3	14	1	1	0	4.2
12	4.4	30	1	1	0	4.3
13	4.5	21	1	1	0	4.4
14	4.6	15	1	1	1	4.5
15	5.1	30	1	1	1	4.6
16	6.1	7	1	1	1	5.1
17	6.2	7	1	1	1	6.1
18	6.3	31	1	1	1	6.2
19	6.4	14	1	1	1	5.1
20	6.5	9	1	1	1	6.4
21	6.6	37	1	1	1	6.3, 6.5

Keterangan:

P1: Pekerja 1 Programmer

P2: Pekerja 2 Programmer

P3: Pekerja 3 *UI/UX*

4.2.3 *ACTIM (Activity Time)*

Berdasarkan buku Bedworth, D. D. (1982). *Industrial Systems: Planning, Analysis, and Control* (hal 352) menyatakan bahwa ketika masih menjadi mahasiswa di *Arizona State University*, William Gleeson mengemukakan bahwa optimalisasi penjadwalan dapat dicapai apabila penugasan aktivitas tidak hanya didasarkan pada kriteria *ACTIM* semata, melainkan juga mempertimbangkan faktor-faktor lain dalam jaringan aktivitas. Gleeson berpendapat bahwa baik waktu pelaksanaan maupun jumlah sumber daya yang dibutuhkan untuk suatu aktivitas seharusnya turut diperhitungkan. Ia menyarankan pendekatan alternatif, di mana durasi

aktivitas dikalikan dengan jumlah sumber daya yang dibutuhkan—dikenal sebagai metode TIMRES—yang berfungsi sebagai kriteria analog terhadap ACTIM.

- a. *ES (Early Start)* = Waktu mulai tercepat (setelah semua *predecessor* selesai)
- b. *ACTIM* = ES + Durasi

Berikut ini merupakan penentuan ES (*Early Start*) dan *Activity Time* yang dilakukan untuk mengetahui waktu paling awal suatu aktivitas dapat dimulai serta durasi pelaksanaannya pada penjadwalan proyek *IT Betty POS*:

Tabel 4. 5 Penentuan ES dan ACTIM

Kegiatan	Durasi	ES (Early Start)	ACTIM
1.1	31	0	376
2.1	7	31	345
2.2	16	38	338
2.3	14	54	322
2.4	12	68	308
2.5	14	80	296
2.6	22	94	282
3.1	30	116	260
4.1	7	146	230
4.2	31	153	223
4.3	14	184	192
4.4	30	198	178
4.5	21	228	148
4.6	15	249	127

Kegiatan	Durasi	ES (Early Start)	ACTIM
5.1	30	264	112
6.1	7	294	82
6.2	7	301	75
6.3	31	308	68
6.4	14	308	68
6.5	9	308	68
6.6	37	339	37

Sumber daya yang tersedia pada proyek IT Betty POS ini yaitu P1, P2, dan P3. Dengan menggunakan langkah-langkah Algoritma Brooks didapat penjadwalan sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Penjadwalan Kerja dengan Algoritma Brooks

Waktu	Kegiatan	Durasi	Start	Finish	P1	P2	P3	Predecessor
0	1.1	31	0	31	1	1	1	-
31	2.1	7	31	38	1	1	1	1.1
38	2.2	16	38	54	1	1	1	2.1
54	2.3	14	54	68	0	0	1	2.2
68	2.4	12	68	80	0	0	1	2.3
80	2.5	14	80	94	0	0	1	2.4
94	2.6	22	94	116	0	0	1	2.5
116	3.1	30	116	146	1	1	0	2.6
146	4.1	7	146	153	1	1	0	3.1
153	4.2	31	153	184	1	1	0	4.1
184	4.3	14	184	198	1	1	0	4.2
198	4.4	30	198	228	1	1	0	4.3
228	4.5	21	228	249	1	1	0	4.4
249	4.6	15	249	264	1	1	1	4.5

Waktu	Kegiatan	Durasi	Start	Finish	P1	P2	P3	Predecessor
264	5.1	30	264	294	1	1	1	4.6
294	6.1	7	294	301	1	1	1	5.1
301	6.2	7	301	308	1	1	1	6.1
308	6.3	31	308	339	1	1	1	6.2
339	6.4	14	339	353	1	1	1	5.1
353	6.5	9	353	362	1	1	1	6.4
362	6.6	37	362	399	1	1	1	6.3, 6.5
399	-	-	-	-	1	1	1	Selesai

Dari hasil penjadwalan dengan metode Algoritma Brooks diperoleh umur proyek selama 399 hari kerja, sedangkan yang ditargetkan adalah selama 1 tahun atau 365 hari kerja. Artinya untuk mencapai target tersebut umur proyek harus diperpendek selama 1 bulan atau 34 hari.

4.2.4 Anggaran Gaji Tim Proyek

Perusahaan menerapkan sistem penggajian bulanan, sehingga perhitungan anggaran disesuaikan dengan ketentuan tersebut. Dengan durasi proyek selama 399 hari atau setara dengan 13,3 bulan, maka dilakukan pembulatan ke atas menjadi 14 bulan kerja. Berikut ini adalah rincian anggaran gaji yang dibutuhkan untuk ketiga pekerja selama periode tersebut:

Tabel 4. 7 Anggaran gaji tenaga kerja selama 14 bulan

No	Pekerja	Gaji per Bulan	Lama Kerja	Total Gaji
1	P1	Rp 3.500.000	14 bulan	Rp49.000.000
2	P2	Rp 3.500.000	14 bulan	Rp49.000.000
3	P3	Rp 3.500.000	14 bulan	Rp49.000.000
Total				Rp147.000.000

Berdasarkan durasi proyek yang direncanakan selama 399 hari, perhitungan anggaran gaji disesuaikan dengan sistem penggajian perusahaan yang menggunakan basis bulanan, bukan harian. Dengan asumsi satu bulan terdiri dari 30 hari, maka total durasi proyek setara dengan 13,3 bulan. Karena perusahaan memberikan gaji secara penuh per bulan, maka durasi tersebut dibulatkan ke atas menjadi **14 bulan kerja**. Oleh karena itu, total anggaran gaji yang diperlukan untuk tiga orang pekerja utama selama proyek berlangsung adalah sebesar **Rp147.000.000**.

4.2.5 *Crashing*

Dari data yang sudah diolah sebelumnya menggunakan algoritma Brooks selanjutnya akan dilakukan *Crashing* pada jalur kritis. Crasing dilakukan dengan pemendekan waktu kerja pada aktivitas-aktivitas jalur kritis dan proses pemendekan ini dianalisis dan ditentukan bersama dengan mentor yang bertanggung jawab terhadap proyek aplikasi Betty POS.

Karena keterbatasan sumber daya yang tersedia, proyek pembangunan perumahan Permata Indah diperkirakan akan berjalan lebih lama dari rencana proyek. Oleh karena itu, durasi proyek perlu dipersingkat dari 399 hari menjadi 365 hari. Berikut adalah langkah-langkah mempercepat umur proyek:

1. Menentukan kegiatan mana yang kritis dan bukan kritis berdasarkan hasil penjadwalan dengan metode algoritma brooks dengan dasar:
 - a. Umur perkiraan proyek: 399 hari
 - b. Umur rencana proyek: 365 hari

Tabel 4. 8 Jalur kritis dan non kritis dari hasil algoritma brooks

No	Kegiatan	Durasi	Start	Finish	Keterangan
1	1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS	31	0	31	Kritis
2	2.1 User Research	7	31	38	Kritis
3	2.2 Survey	16	38	54	Kritis
4	2.3 Sketch	14	54	68	Kritis
5	2.4 Low Fidelity Wireframe	12	68	80	Kritis
6	2.5 High Fidelity Wireframe	14	80	94	Kritis
7	2.6 Prototyping	22	94	116	Kritis
8	3.1 Review	30	116	146	Kritis
9	4.1 Slicing Auth Page (Mobile & Forntend)	7	146	153	Kritis
10	4.2 Slicing Menu Page (Mobile & Forntend)	31	153	184	Kritis
11	4.3 Design Database (Backend)	14	184	198	Kritis
12	4.4 Integration Backend, Fronted, Mobile	30	198	228	Kritis
13	4.5 Integration with iMin Documentation	21	228	249	Kritis
14	4.6 Improving UI Application	15	249	264	Kritis
15	5.1 Review	30	264	294	Kritis

No	Kegiatan	Durasi	Start	Finish	Keterangan
16	6.1 Briefing Persiapan Marketing Tools	7	294	301	Kritis
17	6.2 Pendekatan Calon User	7	301	308	Kritis
18	6.3 Build Focus Group Discussion Calon User	31	308	339	Kritis
19	6.4 Improving UI Application & Interaction	14	339	353	-
20	6.5 Testing Bug	9	353	362	-
21	6.6 Testing App to User	37	362	399	Kritis

Aktivitas non-kritis (seperti 6.4 dan 6.5) tidak perlu dipangkas karena tidak mempengaruhi total durasi proyek. Dan adaapun aktivitas pada jalur kritis yang akan dilakukan pemendekan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Usulan durasi yang dilakukan pemendekan

Aktivitas	Durasi Asli	Usulan Durasi	Pengurangan
1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS	31	27	4 hari
2.6 Prototyping	22	18	4 hari
3.1 Review	30	25	5 hari
4.2 Slicing Menu Page	31	27	4 hari
4.4 Integration Backend, Frontend, Mobile	30	25	5 hari
4.5 Integration with iMin Documentation	21	18	3 hari
5.1 Review	30	26	4 hari
6.3 Build Focus Group Discussion Calon User	31	28	3 hari
6.6 Testing App to User	37	34	3 hari
Total Pengurangan			35 hari

Pemendekan pada aktivitas diatas dilakukan karena tiap aktivitas memiliki alasan tertentu. Dan adapun pertimbangan pemendekan adalah sebagai berikut:

1. Aktivitas 1.1 (Pemahaman aplikasi Betty POS), mengurangi waktu diskusi silang karena setiap pekerja sudah memahami aplikasi Betty POS sesuai bidangnya masing- masing; desainer mampu merancang alur UI/UX dengan jelas, sedangkan developer backend dan frontend memahami aspek teknis secara mendalam. Dengan adanya pemahaman ini, koordinasi antarbagian menjadi lebih efisien sehingga durasi proyek dapat dipersingkat dari 31 hari menjadi 27 hari.

2. Aktivitas 2.6 (*Prototyping*), Pada tahap *prototyping*, desainer dapat fokus penuh merancang prototipe tanpa terbebani oleh pekerjaan teknis, karena dua anggota tim lainnya sudah menangani bagian berbeda. Hal ini membuat proses perancangan alur UI/UX lebih cepat selesai sekaligus mengurangi waktu tunggu, sehingga prototipe bisa segera masuk ke tahap *review*.
3. Aktivitas 3.1 (*Review*), Proses *review* dapat dilakukan secara paralel oleh tiga orang, masing-masing dari sisi desain, fungsi, dan sistem. Dengan pembagian peran ini, temuan evaluasi bisa segera dikonsolidasikan tanpa menunggu satu per satu, sehingga siklus umpan balik lebih singkat dan perbaikan bisa langsung diterapkan.
4. Aktivitas 4.2 (*Slicing Menu Page*), Pada tahap *slicing menu page*, front-end developer dapat fokus sepenuhnya pada implementasi tampilan, sementara desainer menyiapkan aset visual yang dibutuhkan secara cepat. Di saat yang sama, back-end developer sudah bisa memulai persiapan API secara paralel. Kolaborasi ini membuat pengerjaan antarmuka dan integrasi sistem berjalan lebih sinkron, sehingga menghemat durasi pengerjaan.
5. Aktivitas 4.4 (*Integration Backend*), ada tahap integrasi backend, tim dapat bekerja secara paralel: front-end, mobile, dan back-end developer masing-masing mengerjakan bagiannya, sementara desainer mendukung validasi UI bila ada ketidaksesuaian. Dengan pola kerja sejajar ini, integrasi menjadi lebih cepat dibandingkan bila dilakukan secara berurutan.
6. Aktivitas 4.5 (*Integration with iMin Documentation*), Proses integrasi dengan iMin dapat difokuskan oleh back-end developer, sementara anggota lain tidak perlu banyak terlibat. Dukungan dokumentasi API yang jelas membuat pekerjaan lebih terarah dan meminimalkan trial-and-error, sehingga integrasi dapat selesai dalam waktu lebih singkat.
7. Aktivitas 5.1 (*Review*), *Review* dilakukan paralel, Setiap anggota tim mengambil tanggung jawab sesuai bidangnya. Desainer meninjau UI/UX, developer *backend* memeriksa kestabilan fungsi, sedangkan developer *frontend* mengecek tampilan. Dengan cara ini, siklus *feedback* menjadi lebih cepat dan hasil evaluasi bisa langsung diproses tanpa menunggu antrian. Aktivitas 6.3 (*FGD Calon User*), 1 orang memimpin FGD, sementara dua lainnya tetap kerja di pengembangan. Ini menghemat waktu tanpa harus berhenti total.

8. Aktivitas 6.6 (*Testing App to User*), Pengujian dibagi sesuai bidang: satu orang menguji aspek *front-end*, satu orang menguji *back-end*, sementara desainer mendukung validasi antarmuka agar sesuai rancangan UI. Dengan pembagian ini, proses testing dapat dilakukan secara paralel, mempercepat identifikasi bug dan validasi hasil uji.

Berdasarkan pemendekan tersebut, untuk tetap menyelesaikan proyek tepat waktu diperlukan waktu tambahan. Waktu lembur dilakukan untuk setiap aktivitas yang dilakukan pemendekan dan berikut adalah rincian biaya tambahan waktu lembur:

Tabel 4. 10 Total waktu lembur

Aktivitas	Pengurangan durasi (hari)	Total jam lembur (tim)	Total Jam lembur per hari (tim)	Jam lembur per hari per orang
1.1	4	32 Jam	8 Jam	2,67 Jam
2.6	4	32 Jam	8 Jam	2,67 Jam
3.1	5	40 Jam	8 Jam	2,67 Jam
4.2	4	32 Jam	8 Jam	2,67 Jam
4.4	5	40 Jam	8 Jam	2,67 Jam
4.5	3	24 Jam	8 Jam	2,67 Jam
5.1	4	32 Jam	8 Jam	2,67 Jam
6.3	3	24 Jam	8 Jam	2,67 Jam
6.6	3	24 Jam	8 Jam	2,67 Jam
TOTAL	35 Hari	280 Jam		

Keterangan:

$$2,67 \text{ Jam} = 2 \text{ jam} + (0,67 \times 60) \text{ menit} = 2 \text{ jam } 40 \text{ menit}$$

Dari perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa 2,67 jam setara dengan 2 jam 40 menit dan 12 detik. Kemudian, nilai dapat dibulatkan menjadi 2 jam 40 menit untuk penyederhanaan. Jadi, jam lembur per hari per orang sekitar **2 jam 40 menit (2,67 jam)**.

Tabel 4. 11 Total waktu dan biaya lembur

Aktivitas	Pengurangan durasi (hari)	Total waktu	Jam lembur	Biaya per jam (Rp)	Total Biaya Lembur per	Total Biaya Lembur per

		lembur (satuan hari) (tim)	per hari per orang		hari per orang (Rp)	hari per tim (Rp)
1.1	4	12 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
2.6	4	12 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
3.1	5	15 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
4.2	4	12 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
4.4	5	15 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
4.5	3	9 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
5.1	4	12 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
6.3	3	9 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
6.6	3	9 hari	2,67			
			Jam	Rp17.500	Rp46.725	Rp140.175
TOTAL	35 hari		Jam			

Keterangan:

Jumlah biaya lembur per hari per orang: $2,67 \text{ jam/hari} \times \text{Rp}17.500 = \text{Rp}46.725$

Jumlah biaya lembur per hari per tim: $\text{Rp}46.725 \times 3 = \text{Rp}140.175$ per hari

Perhitungan biaya lembur dilakukan secara proporsional hingga satuan menit guna menjamin keadilan dalam kompensasi tenaga kerja. Hal ini dilakukan untuk mengakomodasi durasi kerja yang tidak selalu berlangsung dalam satuan waktu penuh (jam), sehingga seluruh kontribusi tenaga kerja tetap dihitung secara akurat dan adil. Pendekatan ini penting untuk

menghindari potensi pengurangan hak atas upah lembur akibat pembulatan waktu kerja yang tidak mencerminkan realisasi aktual di lapangan.

Tabel 4. 12 Total Biaya Lembur 364 hari

Aktivitas	Pengurangan durasi (jam)	Total waktu lembur (satuan hari) (tim)	Total Biaya Lembur per hari per tim (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
1.1	32 Jam	12 hari	Rp140.175	Rp1.682.100
2.6	32 Jam	12 hari	Rp140.175	Rp1.682.100
3.1	40 Jam	15 hari	Rp140.175	Rp2.102.625
4.2	32 Jam	12 hari	Rp140.175	Rp1.682.100
4.4	40 Jam	15 hari	Rp140.175	Rp2.102.625
4.5	24 Jam	9 hari	Rp140.175	Rp1.261.575
5.1	32 Jam	12 hari	Rp140.175	Rp1.682.100
6.3	24 Jam	9 hari	Rp140.175	Rp1.261.575
6.6	24 Jam	9 hari	Rp140.175	Rp1.261.575
TOTAL	280 Jam	105 hari		Rp14.718.375

4.2.6 *Cost Slope*

Cost Slope adalah perbandingan antara selisih biaya atas kondisi crash dan kondisi normal dengan selisih durasi atas kondisi normal dan kondisi crash.

$$\frac{\text{Crash cost} - \text{Normal cost}}{\text{Normal duration} - \text{Crash duration}}$$

- Biaya Crashing (total biaya lembur) = Rp14.718.375
- Biaya Normal = Rp0 (tidak ada tambahan biaya tanpa percepatan)
- Durasi normal proyek = 399 hari
- Durasi setelah percepatan (crashing) = 364 hari
- Pengurangan durasi = 399 - 364 = 35 hari

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Rp}14.718.375}{35 \text{ hari}} = \text{Rp}372.465 \text{ per hari}$$

Biaya tambahan rata-rata yang dikeluarkan untuk mempercepat proyek selama satu hari adalah sebesar **Rp372.465** Nilai ini menggambarkan efisiensi biaya percepatan proyek yang didasarkan pada strategi optimalisasi waktu melalui penambahan jam lembur secara proporsional.

4.2.7 Dampak *Crashing*

Berdasarkan alternatif pemendekan waktu diatas dengan algoritma Brooks, diperoleh kegiatan yang diperpendek sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Penentuan ES dan ACTIM

Kegiatan	Durasi	ES	ACTIM
1.1	27	0	341
2.1	7	27	314
2.2	16	34	307
2.3	14	50	291
2.4	12	64	277
2.5	14	76	265
2.6	18	90	251
3.1	25	108	233
4.1	7	133	208
4.2	27	140	201
4.3	14	167	174
4.4	25	181	160
4.5	18	206	135
4.6	15	224	117
5.1	26	239	102
6.1	7	265	76
6.2	7	272	69
6.3	28	279	62
6.4	14	279	62
6.5	9	279	62

6.6 34 307 34

Setelah dilakukan pemendekkan umur proyek dilakukan kembali penjadwalan dengan metode algoritma brooks seperti yang dilakukan pada kondisi normal sehingga diperoleh penjadwalan sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Hasil penjadwalan ulang kerja dengan Algoritma Brooks

Waktu	Kegiatan	Durasi	Start	Finish	P1	P2	P3	Predecessor
0	1.1	27	0	27	1	1	1	-
27	2.1	7	27	34	1	1	1	1.1
34	2.2	16	34	50	1	1	1	2.1
50	2.3	14	50	64	0	0	1	2.2
64	2.4	12	64	76	0	0	1	2.3
76	2.5	14	76	90	0	0	1	2.4
90	2.6	18	90	108	0	0	1	2.5
108	3.1	25	108	133	1	1	0	2.6
133	4.1	7	133	140	1	1	0	3.1
140	4.2	27	140	167	1	1	0	4.1
167	4.3	14	167	181	1	1	0	4.2
181	4.4	25	181	206	1	1	0	4.3
206	4.5	18	206	224	1	1	0	4.4
224	4.6	15	224	239	1	1	1	4.5
239	5.1	26	239	265	1	1	1	4.6
265	6.1	7	265	272	1	1	1	5.1
272	6.2	7	272	279	1	1	1	6.1
279	6.3	28	279	307	1	1	1	6.2
307	6.4	14	307	321	1	1	1	5.1
321	6.5	9	321	330	1	1	1	6.4
330	6.6	34	330	364	1	1	1	6.3, 6.5
364	-	-	-	-	1	1	1	Selesai

Berdasarkan penjadwalan ulang diatas diperoleh umur proyek selama 364 hari atau 1 tahun dengan kegiatan yang menjadi jalur kritis adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Jalur kritis dan non kritis penjadwalan ulang kerja dengan Algoritma Brooks

No	Kegiatan	Durasi	Start	Finish	Keterangan
1	1.1 Pemahaman aplikasi Betty POS	27	0	27	Kritis
2	2.1 User Research	7	27	34	Kritis
3	2.2 Survey	16	34	50	Kritis
4	2.3 Sketch	14	50	64	Kritis
5	2.4 Low Fidelity Wireframe	12	64	76	Kritis
6	2.5 High Fidelity Wireframe	14	76	90	Kritis
7	2.6 Prototyping	18	90	108	Kritis
8	3.1 Review	25	108	133	Kritis
9	4.1 Slicing Auth Page (Mobile & Forntend)	7	133	140	Kritis
10	4.2 Slicing Menu Page (Mobile & Forntend)	27	140	167	Kritis
11	4.3 Design Database (Backend)	14	167	181	Kritis
12	4.4 Integration Backend, Fronted, Mobile	25	181	206	Kritis
13	4.5 Integration with iMin Documentation	18	206	224	Kritis
14	4.6 Improving UI Application	15	224	239	Kritis
15	5.1 Review	26	239	265	Kritis
16	6.1 Briefing Persiapan Marketing Tools	7	265	272	Kritis
17	6.2 Pendekatan Calon User	7	272	279	Kritis
18	6.3 Build Focus Group Discussion Calon User	28	279	307	Kritis
19	6.4 Improving UI Application & Interaction	14	307	321	-
20	6.5 Testing Bug	9	321	330	-
21	6.6 Testing App to User	34	330	364	Kritis

4.2.8 Anggaran gaji tim proyek setelah *Crashing*

Dalam pelaksanaan proyek pengembangan aplikasi *point of sale* ini, dibutuhkan tenaga kerja yang terdiri dari tiga orang, yaitu P1, P2, dan P3. Masing-masing memiliki peran penting dalam proses desain, pengembangan, serta pengujian aplikasi. Untuk menjaga profesionalitas

kerja dan memastikan keberlanjutan proyek dalam jangka waktu satu tahun, maka perlu disusun rencana anggaran gaji yang proporsional.

Tabel 4. 16 Keseluruhan anggaran gaji tim

No	Pekerja	Gaji per Bulan	Lama Kerja	Total Gaji
1	P1	Rp 3.500.000	12 bulan	Rp42.000.000
2	P2	Rp 3.500.000	12 bulan	Rp42.000.000
3	P3	Rp 3.500.000	12 bulan	Rp42.000.000
Biaya lembur selama 35 hari untuk 3 orang				Rp14.718.375
Total				Rp140.718.375

Tabel di atas menunjukkan rincian total biaya tenaga kerja selama pelaksanaan proyek. Setiap pekerja menerima gaji sebesar Rp3.500.000 per bulan selama 12 bulan, sehingga total gaji untuk tiga pekerja adalah Rp126.000.000. Selain itu, terdapat biaya lembur sebesar Rp14.718.375 yang dihitung berdasarkan durasi lembur rata-rata 2,67 jam per hari selama total 105 hari lembur kerja, untuk tiga pekerja, dengan tarif lembur sebesar Rp17.500 per jam. Dengan demikian, total keseluruhan biaya tenaga kerja proyek ini adalah sebesar **Rp140.718.375**. Anggaran ini disusun sebagai bagian dari estimasi biaya tenaga kerja dalam keseluruhan rencana proyek, dan menjadi acuan dalam alokasi dana serta evaluasi efisiensi pelaksanaan pengembangan aplikasi selama periode proyek berlangsung.

Pendekatan ini dipilih karena jika proyek dikerjakan dalam 14 bulan (atau 399 hari), biaya yang harus dikeluarkan jauh lebih besar, yaitu mencapai sekitar Rp147.000.000. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya durasi pembayaran gaji bulanan kepada tenaga kerja. Melalui strategi percepatan proyek, total biaya tenaga kerja dapat ditekan menjadi **Rp140.718.375**. Dengan demikian, strategi percepatan proyek melalui lembur terbukti lebih efisien dibandingkan memperpanjang durasi proyek, karena mampu mengurangi total biaya hingga **Rp6.218.625**.

4.2.9 Analisis Kelayakan Finansial dan Estimasi Balik Modal

Analisis kelayakan finansial dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan dan waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya pengembangan (balik modal). Perhitungan ini didasarkan pada asumsi harga paket aplikasi, jumlah pengguna, biaya server, serta biaya pengembangan

Tabel 4. 17 Analisis Kelayakan Finansial dan Estimasi Balik Modal

Parameter	Nilai
Harga paket per user	Rp49.900
Jumlah user awal	100
Biaya server per bulan	Rp200.000
Biaya pengembangan	Rp140.718.375

- **Pendapatan per bulan**

$$\text{Rp}49.900 \times 100 = \text{Rp}4.990.000$$

- **Pendapatan per tahun**

$$\text{Rp}4.990.000 \times 12 = \text{Rp}59.880.000$$

- **Biaya server per tahun**

$$\text{Rp}200.000 \times 12 = \text{Rp}2.400.000$$

- **Arus kas bersih per bulan**

$$\text{Pendapatan} - \text{Biaya server} = \text{Rp}4.990.000 - \text{Rp}200.000 = \text{Rp}4.790.000$$

- **Estimasi waktu balik modal**

$$\begin{aligned} \text{Balik Modal (bulan)} &= \frac{\text{Total Biaya Pengembangan}}{\text{Arus Kas Bersih Perbulan}} = \frac{\text{Rp}140.718.375}{\text{Rp} 4.790.000} \\ &= 29,38 \text{ bulan} (\pm 2,45 \text{ tahun}) \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, pendapatan bersih yang diperoleh dari 100 pengguna dengan harga Rp49.900 per bulan adalah sebesar Rp4.790.000 per bulan atau Rp57.480.000 per tahun setelah dikurangi biaya server. Artinya, untuk menutup seluruh biaya pengembangan dengan pendapatan bersih dari model berlangganan ini diperlukan waktu sekitar 2 tahun 5 bulan apabila jumlah pengguna tetap 100 user. Periode balik modal selama lebih dari dua tahun ini dapat dikatakan cukup lama, tetapi hal tersebut tidak berarti proyek ini tidak menguntungkan.

Aplikasi POS merupakan aset digital jangka panjang yang dapat digunakan oleh banyak klien tanpa memerlukan biaya pengembangan ulang yang signifikan. Dengan kata lain, setiap penambahan pengguna baru akan langsung meningkatkan pendapatan tanpa menambah beban

biaya yang besar. Selain itu, proyek ini bukanlah satu-satunya sumber pendapatan perusahaan. Setelah pengembangan aplikasi selesai, tim dapat mengerjakan proyek baru atau mengembangkan fitur tambahan pada aplikasi POS, yang akan menambah nilai bisnis. Selain itu, apabila jumlah pengguna meningkat di atas 100, misalnya menjadi 200 user, waktu balik modal dapat turun secara drastis menjadi sekitar 1,2 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa strategi pemasaran dan perluasan pasar berperan penting dalam mempercepat pengembalian investasi. Dengan mempertimbangkan potensi ini, meskipun waktu balik modal awal cukup panjang, proyek pengembangan aplikasi POS tetap layak dilakukan karena memiliki prospek pendapatan jangka panjang dan peluang pertumbuhan yang besar.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Activity on Network Diagram

Diagram AON yang disusun berdasarkan data hubungan antar aktivitas (predecessor) menggambarkan keterkaitan antar elemen kerja dalam bentuk jaringan. Pada Gambar 4.3, seluruh aktivitas proyek diawali dari kegiatan 1.1, kemudian bercabang menjadi dua jalur kerja setelah melewati aktivitas 5.1. Jalur pertama terdiri dari rangkaian aktivitas: 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 3.1, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.6. Sementara itu, jalur kedua melalui aktivitas yang sama hingga 5.1, lalu berlanjut ke 6.4, 6.5, 6.6. Setelah diagram jaringan ini dibuat sebagai visualisasi awal proyek, langkah selanjutnya adalah menentukan durasi pasti dari setiap aktivitas. Informasi durasi ini akan menjadi dasar dalam perhitungan probabilitas waktu dan penentuan jalur kritis proyek.

5.2 Identifikasi Jalur Kritis

Analisis terhadap jalur kritis dilakukan untuk menilai apakah metode yang digunakan memberikan pengaruh terhadap hasil data yang diolah. Jalur kritis terbentuk dari rangkaian aktivitas yang saling bergantung satu sama lain, sebagaimana ditunjukkan pada diagram AON pada Gambar 4.4. Identifikasi jalur kritis sangat penting agar manajer proyek dapat memahami keseluruhan alur pelaksanaan proyek dan mengambil keputusan yang paling tepat demi kelancaran proyek ke depan. Hal ini disebabkan karena jalur kritis merupakan urutan aktivitas yang paling menentukan keberhasilan proyek secara keseluruhan, sehingga fokus pengelolaan proyek dapat diarahkan secara optimal pada jalur tersebut.

Aktivitas-aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis memiliki kesamaan karakteristik, yaitu tidak memiliki kelonggaran waktu (Slack). Slack adalah jumlah waktu yang masih memungkinkan untuk menunda suatu aktivitas tanpa mempengaruhi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Jika nilai Slack dari suatu aktivitas adalah nol, maka aktivitas tersebut termasuk dalam jalur kritis. Dalam penelitian ini, jalur kritis terdiri atas urutan aktivitas sebagai berikut: 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 3.1, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.6.

5.3 Analisis Perhitungan Metode Algoritma Brooks

Dalam proses perhitungan menggunakan Algoritma Brooks, diperlukan serangkaian tahapan sistematis untuk memastikan hasil penjadwalan yang optimal. Tahapan awal yang dilakukan adalah identifikasi seluruh aktivitas proyek beserta hubungan ketergantungan antar aktivitas tersebut. Hubungan ini dianalisis untuk menyusun urutan pekerjaan secara logis, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram jaringan (AON/Network Diagram). Selain itu, dilakukan pula penentuan ACTIM (*Activity Time*), yaitu estimasi durasi masing-masing aktivitas. Informasi tersebut disusun dalam bentuk tabel perhitungan penjadwalan, sehingga memungkinkan dilakukan analisis terhadap jalur pelaksanaan proyek secara menyeluruh. Berdasarkan hasil penjadwalan awal, diperoleh bahwa umur proyek atau total durasi pelaksanaan proyek adalah 399 hari. Namun, mengingat target penyelesaian yang ditetapkan adalah dalam waktu 365 hari, maka dibutuhkan pemendekan durasi proyek selama 35 hari kerja melalui pendekatan crash program.

Sebelum melakukan *crashing*, dilakukan identifikasi terhadap aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis. Jalur kritis merupakan rangkaian aktivitas yang secara langsung menentukan lama penyelesaian proyek. Oleh karena itu, pemendekan durasi proyek hanya dapat dilakukan dengan mengurangi waktu pada aktivitas-aktivitas di jalur kritis, tanpa mengganggu ketergantungan logis yang sudah ada. Dengan mengacu pada hasil analisis jalur kritis, dilakukan pemendekan durasi secara selektif dan proporsional terhadap aktivitas yang memenuhi kriteria *crashable*, yaitu aktivitas yang dapat dipercepat dengan tambahan biaya, tanpa menimbulkan ketidakseimbangan terhadap jadwal keseluruhan. Identifikasi ini menjadi langkah krusial agar crash yang dilakukan benar-benar efektif dalam mengurangi total durasi proyek tanpa menimbulkan risiko penundaan pada aktivitas lain. Hasil akhir menunjukkan bahwa durasi proyek berhasil dikurangi menjadi 364 hari, yang sebanding dengan 12 bulan kerja, setelah dilakukan crashing pada aktivitas jalur kritis.

5.4 Analisis Crashing

Crashing adalah metode dalam manajemen proyek yang bertujuan untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan memperpendek durasi aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis. Pendekatan ini dilakukan melalui penambahan sumber daya, seperti tenaga kerja, peralatan, atau bahan, pada aktivitas tertentu yang diprioritaskan. Dalam

penelitian ini tujuan utama metode *Crashing* digunakan untuk memendekkan waktu proyek melihat dari permasalahan yang terjadi pada perusahaan yaitu terjadinya keterlambatan pada proyek sebelumnya. Penerapan *Crashing* pada proyek pembuatan Aplikasi Betty POS ini dimulai dengan mengidentifikasi jalur kritis, yaitu rangkaian aktivitas dengan durasi penyelesaian terpanjang yang menentukan waktu penyelesaian proyek. Setelah jalur kritis diidentifikasi, rangkaian aktivitas di dalamnya dievaluasi bersama untuk menentukan aktivitas apakah yang dapat dipercepat tanpa menambah sumber daya dan penelitian ini *Crashing* dilakukan dengan cara memendekkan beberapa aktivitas. Dalam proses ini sangat penting untuk melihat waktu yang dipangkas dengan manfaat dan risiko yang akan diperoleh.

Crashing dilakukan dengan pemendekan waktu kerja pada kegiatan 1.1, 2.6, 3.1, 4.2, 4.4, 4.5, 5.1, 6.3 dan 6.6. Beberapa aktivitas mengalami pemangkasan waktu cukup signifikan, seperti aktivitas 3.1 Review dan 4.4 *Integration Backend, Frontend, Mobile* yang masing-masing dikurangi 5 hari, sementara aktivitas lainnya dipersingkat antara 3 hingga 4 hari. Secara keseluruhan, pemendekan waktu pada aktivitas-aktivitas tersebut menghasilkan total pengurangan durasi proyek sebesar 35 hari, yang jauh melebihi kebutuhan pemangkasan 6 hari kerja. Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi waktu melalui penjadwalan ulang tanpa penambahan sumber daya dapat menjadi strategi efektif dalam percepatan proyek.

Untuk mencapai target penyelesaian proyek dalam 365 hari (1 tahun), dilakukan pemendekan durasi proyek sebesar 35 hari dari estimasi awal 399 hari. Pemendekan ini dicapai melalui metode *crashing* pada aktivitas-aktivitas jalur kritis dengan cara menambahkan jam lembur, tanpa menambah jumlah tenaga kerja. Biaya tambahan yang timbul dari lembur tersebut sebesar Rp14.718.375 dihitung berdasarkan durasi lembur rata-rata 2,67 jam per hari atau 2 jam 40 menit per orang selama 105 hari total waktu lembur, untuk tiga orang pekerja, dengan tarif Rp17.500 per jam. Setelah *crashing* dan penjadwalan ulang, durasi proyek berhasil dipersingkat menjadi 364 hari, yang setara dengan 12 bulan kerja. Dengan percepatan ini, total anggaran tenaga kerja menjadi Rp140.718.375, yang terdiri dari gaji pokok sebesar Rp126.000.000 dan biaya lembur Rp14.718.375.

Pendekatan ini dipilih karena jika proyek dikerjakan dalam 14 bulan (atau 399 hari), biaya yang harus dikeluarkan jauh lebih besar, yaitu mencapai sekitar

Rp147.000.000. Untuk itu, optimalisasi melalui lembur dinilai lebih efisien secara finansial dan operasional. Dengan demikian, penerapan *crashing* tidak hanya mempercepat penyelesaian proyek, tetapi juga membantu menjaga efisiensi anggaran secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada biaya tambahan lembur, pengurangan durasi proyek secara keseluruhan dapat mengoptimalkan efisiensi finansial.

5.5 Analisis Dampak Crashing

Analisis dampak *crashing* dalam proyek pengembangan aplikasi Betty POS menunjukkan bahwa metode ini berhasil mengoptimalkan jadwal proyek dan memberikan keuntungan finansial, meskipun ada penyesuaian operasional yang harus dilakukan. Tujuan utama *crashing* adalah mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan memendekkan durasi aktivitas pada jalur kritis. Dalam kasus ini, proyek awalnya diperkirakan selesai dalam 399 hari, namun target penyelesaian adalah 365 hari (satu tahun). Oleh karena itu, diperlukan pemendekan durasi proyek selama 34 hari.

Penerapan *crashing* dilakukan dengan mengidentifikasi aktivitas-aktivitas pada jalur kritis, yaitu urutan aktivitas yang secara langsung menentukan lama penyelesaian proyek dan tidak memiliki kelonggaran waktu (*slack*). Aktivitas non-kritis tidak perlu dipersingkat karena tidak memengaruhi durasi proyek secara keseluruhan. Beberapa aktivitas pada jalur kritis yang dipersingkat antara lain: Pemahaman aplikasi Betty POS (aktivitas 1.1) dikurangi 4 hari, *Prototyping* (aktivitas 2.6) dikurangi 4 hari, Review (aktivitas 3.1) dikurangi 5 hari, *Slicing Menu Page* (aktivitas 4.2) dikurangi 4 hari, *Integration Backend, Frontend, Mobile* (aktivitas 4.4) dikurangi 5 hari, *Integration with iMin Documentation* (aktivitas 4.5) dikurangi 3 hari, Review (aktivitas 5.1) dikurangi 4 hari, *Build Focus Group Discussion Calon User* (aktivitas 6.3) dikurangi 3 hari, dan *Testing App to User* (aktivitas 6.6) dikurangi 3 hari. Secara keseluruhan, total pengurangan durasi dari aktivitas-aktivitas yang di-*crash* adalah 35 hari, melebihi target pemendekan yang dibutuhkan.

5.6 Analisis Perbandingan

Proyek pengembangan aplikasi Betty POS menunjukkan perubahan signifikan pada durasi dan biaya setelah dilakukan analisis *crashing*. Awalnya, tanpa *crashing*, penjadwalan menggunakan Algoritma Brooks menghasilkan estimasi durasi proyek selama 399 hari, yang jika dibulatkan dengan asumsi pembayaran gaji bulanan, setara

dengan 14 bulan kerja. Total anggaran gaji untuk tiga pekerja (P1, P2, P3), masing-masing dengan gaji bulanan sebesar Rp3.500.000.

Melalui analisis *crashing*, dilakukan percepatan terhadap aktivitas-aktivitas pada jalur kritis dengan menambahkan jam kerja lembur tanpa menambah jumlah tenaga kerja. Tujuannya adalah untuk mencapai target penyelesaian proyek dalam 365 hari (1 tahun). Hasilnya, proyek berhasil dipersingkat hingga 364 hari, yang dibulatkan menjadi 12 bulan kerja. Biaya lembur yang timbul akibat percepatan ini sebesar Rp14.718.375 untuk menggantikan 35 hari yang di *crashing* dengan total 280 jam, dihitung berdasarkan durasi lembur rata-rata 2,67 jam untuk 105 hari, untuk tiga pekerja, dengan tarif lembur sebesar Rp17.500 per jam. Dengan demikian, total anggaran gaji setelah dilakukan *crashing* menjadi Rp140.718.375, terdiri dari Rp126.000.000 untuk gaji pokok selama 12 bulan dan Rp14.718.375 untuk biaya lembur. Perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah *crashing* menunjukkan adanya penghematan sebesar Rp6.218.625 dari total anggaran awal, sekaligus mempercepat waktu penyelesaian proyek.

Pendekatan ini dipilih karena penambahan tenaga kerja baru berpotensi menimbulkan peningkatan biaya tetap secara signifikan, termasuk di antaranya beban gaji bulanan penuh dan kebutuhan waktu untuk pelatihan serta penyesuaian terhadap sistem kerja proyek yang sedang berjalan. Sebaliknya, optimalisasi beban kerja melalui penambahan jam lembur pada sumber daya yang telah tersedia dinilai lebih efisien secara ekonomis dan operasional. Dengan demikian, penerapan metode *crashing* memberikan solusi strategis dalam pengelolaan waktu proyek, terutama dalam kondisi keterbatasan sumber daya, tanpa menurunkan standar kualitas maupun mengganggu kesinambungan pelaksanaan proyek.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berisi Berdasarkan hasil penelitian dan analisis penjadwalan proyek pengembangan aplikasi Betty POS dengan metode Algoritma Brooks serta penerapan crashing, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi metode Algoritma Brooks dalam proyek pengembangan aplikasi Betty POS menunjukkan bahwa pendekatan ini sangat efektif untuk mengoptimalkan penjadwalan, khususnya dalam kondisi keterbatasan sumber daya manusia. Dengan jumlah tim yang terbatas, metode ini membantu menyusun urutan aktivitas berdasarkan kapasitas kerja harian tim secara adil dan proporsional. Setiap aktivitas dianalisis durasinya berdasarkan jumlah jam kerja yang tersedia dari tiga anggota tim, kemudian disusun dalam urutan yang mempertimbangkan ketergantungan antar aktivitas. Proses ini menghasilkan penjadwalan yang lebih realistis, merata, dan tidak membebani tim secara berlebihan di titik tertentu. Dengan demikian, implementasi metode ini menjawab kebutuhan untuk merancang jadwal proyek yang efisien dan terkendali, sekaligus membantu tim dalam mencapai target waktu penyelesaian proyek secara lebih tepat dan terstruktur, sesuai dengan kondisi nyata pengembangan perangkat lunak seperti Betty POS.
2. Identifikasi jalur kritis dan analisis aktivitas non-kritis melalui pendekatan *Activity on Node* (AON) memungkinkan peneliti untuk menentukan aktivitas mana saja yang berpengaruh langsung terhadap durasi proyek secara keseluruhan. Aktivitas yang memiliki *slack* tidak perlu dilakukan percepatan, sedangkan aktivitas yang berada di jalur kritis menjadi fokus utama dalam proses *crashing*. Dengan pendekatan ini, peluang untuk melakukan crashing dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa mengganggu ketergantungan logis antar aktivitas lainnya. Analisis ini tidak hanya membantu menghindari keterlambatan proyek, tetapi juga memberikan pemahaman mendalam terhadap struktur alur kerja proyek.
3. *Crashing* pada jalur kritis berhasil mempersingkat penyelesaian proyek dan mengoptimalkan biaya tenaga kerja. Durasi proyek awalnya diperkirakan

membutuhkan 399 hari (setara 14 bulan), namun setelah penerapan *crashing* pada aktivitas-aktivitas yang berada di jalur kritis, durasi proyek berhasil dipersingkat menjadi 364 hari (12 bulan kerja). Strategi *crashing* dilakukan dengan menambahkan jam kerja lembur yang menghasilkan biaya tambahan lembur sebesar Rp14.718.375. Bila dibandingkan dengan biaya proyek tanpa *crashing* sebesar Rp147.000.000, maka strategi ini menghasilkan penghematan sebesar Rp6.218.625. Hal ini menunjukkan bahwa strategi percepatan proyek melalui lembur lebih efisien secara finansial dan tidak berdampak negatif terhadap kualitas atau stabilitas pelaksanaan proyek.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis penjadwalan proyek pengembangan aplikasi Betty POS dengan metode Algoritma Brooks serta penerapan *crashing*, diperoleh beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk mendukung perhitungan penjadwalan secara lebih akurat dan efisien, penelitian lanjutan dapat menggunakan tools seperti *Microsoft Project*, *Primavera*, atau *software* berbasis Python/R yang dapat mengotomatisasi penerapan Algoritma Brooks. Hal ini juga membantu menurunkan tingkat kesalahan manual yang mungkin terjadi dalam proses perhitungan.
2. Penelitian ini belum secara mendalam membahas dampak penjadwalan terhadap keseimbangan beban kerja dan performa anggota tim. Penelitian berikutnya dapat mengintegrasikan aspek ergonomi kerja dan analisis produktivitas tenaga kerja agar penjadwalan tidak hanya optimal dari sisi waktu dan biaya, tetapi juga dari sisi keberlanjutan kerja tim.
3. Untuk pengembangan ilmu Teknik Industri secara lebih luas, disarankan agar metode Algoritma Brooks juga diterapkan pada sektor industri non-IT, seperti manufaktur, konstruksi, atau logistik. Hal ini akan memperkaya konteks aplikasi dan membuktikan fleksibilitas metode dalam berbagai jenis proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, A. I. (2018). Time Cost Trade Off Analisis untuk Pengoptimalkan waktu dan biaya proyek.
- Ahghari, K. (2020). Project Scheduling with Limited Resources.
- Ahmed Missaoui, C. O. (2023). Energy-Efficient Multi-Objective Hybrid Flowshop Scheduling Problem with Blocking Constraints.
- Asghar, A. A. (2023). Optimization of Project Scheduling Problem with Limited Resources and Uncertainty Using the Intelligent Water Drop.
- Aulia, S. S. (2021). Analisis Penjadwalan Proyek Gedung Menggunakan Metode CPM-PERT.
- AXOPOS. (2012). Point Of Sale.
- Benedikt Grosch, T. W. (2019). A Metaheuristic for Energy Adaptive Production Scheduling with Multiple Energy Carriers and Its Implementation in a Real Production System.
- Costa, T., Silva, F., & Ferreira, L. P. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 1104-1111.
- Darmody, P. (2007). *Henry L. Gantt and Frederick Taylor: The pioneers of scientific management*. AACE International Transactions.
- Dimiyati, H. &. (2014). Manajemen Proyek. Bandung: CV Pustaka sedia.
- Ervianto. (2002). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta, Salemba Empat: Edisi Pertama.
- Ervianto. (2004). *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruks*. Yogyakarta : Salemba Empat.
- Evan Filbert, I. G. (2021). Optimasi Resource Constrained Project Scheduling Problem Menggunakan Metode Genetic Algorithm dan Symbiotic Organisms Search.
- Fransiscus, H., Cynthia, P. J., & Isabella, S. A. (2014). Implementasi Metode Six Sigma DMAIC untuk Mengurangi Paint Bucket Cacat di PT X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 3(2), 53-63.
- Ghiffari Ibrahim, A. H. (2013, Juli). Analisis Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat di Stasiun Kerja Sablon (Studi Kasus: CV. Miracle). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1.
- Golab, A. (2023). *Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP) Using Artificial Intelligence*. Université de Bretagne Occidentale - Bres.
- Heizer, J. &. (2014). *Operations Management (11th ed.)*. Pearson Education Limited.

- HUSEN, A. (2009). *Manajemen Proyek : Perencanaan, Penjadwalan, dan Pengendalian Proyek*. Yogyakarta: Andi, 2009.
- Ibrahim, G., Harsono, A., & Bakar, A. (2013, Juli). Analisis Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat di Stasiun Kerja Sablon (Studi Kasus: CV. Miracle). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1.
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing*, 528-534.
- Irwansyah Digma Pratama, L. D. (2025). Measurement of Project Cost and Time Efficiency with Earned Value Approach in the Implementation of Baggage Handling System at Sultan Hasanuddin International Airport Makassar.
- Kurniawa, R. (2006). Implementasi Metode Algoritma Brooks dalam Penjadwalan Kerja Pada Proyek dengan Sumber Daya Terbatas.
- Kussuma, & Fendy, M. (2014). Analisis Kualitas Produk Pakan Ternak Dengan Metode Six Sigma Di PT. Charoen Pokphand Indonesia (Tbk). *JTM*, 54-62.
- Larson, C. F. (2008). *Project Management: The Managerial Process*. McGraw-Hill Irwin.
- Lianda, F. (2024). Optimasi Penjadwalan Shift Kerja Perawat pada Ruang Rawat Inap Menggunakan Program Linear di RSUD Panyabungan.
- Lucy C. Morse, J. O. (1996). *Using Combinations of Heuristics to Schedule Activities of Constrained Multiple Resource Projects*. Orlando, Florida: Project Management Journal.
- Maulidya Octaviani Bustamin, B. S. (2022). Penjadwalan Penyelesaian Proyek Revitalisasi Aula Muzdalifah Asrama Haji dengan Menggunakan Sumber Daya Terbatas.
- Mohammad Khodabandeh, S. H. (2023). Designing a Robust Multi-Objective Model for Project Scheduling with Limited Resources and Time-Cost Balance.
- Noviandi. (2021). Optimalisasi Pelaksanaan Proyek dengan Metode Crashing Menggunakan Software Microsoft Project.
- O'brien, L. (2011). "beberapa definisi tentang data, informasi, dan sistem informasi menurut beberapa ahli" Binus University. 93.
- Putra, A. (2013). *Optimasi Resource Constrained Project Scheduling Problem Menggunakan Algoritma Harmony Search*. Dimensi Utama Teknik Sipil, Vol. 8 No. 1.
- Putri, & Fatma, C. (2010). Upaya Menurunkan Jumlah Cacat Produk Shuttlecock Dengan Metode Six Sigma. *Widya Teknika*, 18(2), 14-23.
- Putri, C. F. (2010). Upaya Menurunkan Jumlah Cacat Produk Shuttlecock Dengan Metode Six Sigma. *Widya Teknika*, 18(2), 14-23.

- Soeharto, i. (1999). Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional).
- Sucipto, Sulistyowati, D. P., & Anggarini, S. (2017). Pengendalian Kualitas Pengalengan Jamur dengan Metode Six Sigma di PT Y,Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 1-7.
- Sutrisno, S. (2017). *MEMBANGUN JEJARING KERJA SEBAGAI BAGIAN PENINGKATAN DIKLAT*. Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas.
- Tan, H. T. (2012). Metode DMAIC Sebagai Solusi Pengendalian Kualitas Produksi Sepatu Tambang:Studi Kasus PT Mangul Jaya-Bekasi. *ComTech*, 3, 509-523.
- Tarman, R. B. (2020). PENJADWALAN PROYEK MINI MARKET DENGAN MENGGUNAKAN METODE CPM (CRITICAL PATH METHOD) DAN PERT DI PT INDOMARCO PRISMATAMA.
- Tu, S. B. (2019). A Survey in the Resource-Constrained Project and Multi-Project Scheduling Problems.
- Vishal A. Thakor, M. A. (2021). Lightweight Cryptography Algorithms for Resource-Constrained IoT Devices: A Review, Comparison and Research Opportunities.
- Vitho, I., Ginting, E., & Anizar. (2013). Aplikasi Six Sigma Untuk Menganalisis Faktor-faktor Penyebab Kecacatan Produk Crumb Rubber Sir 20 Pada Pt. XYZ. *e-Jurnal Teknik Industri FT USU Vol 3, No. 4*, 23-28.
- Wahyudi, d. (2018). Aplikasi Penjualan Point of Sale (Pos) Menggunakan Barcode Pada Koperasi Bina Kasih Sejahtera Berbasis Desktop Dengan Metode First in First Out (Fifo).
- Whitehouse, G. E. (1983). *A comparison of computer search heuristics to analyze activity/networks with limited resources*. Project Management Quarterl.
- Wisnubroto, P., & Rukmana, A. (2015). Pengendalian Kualitas Produk dengan Pendekatan Six Sigma dan Analisis Kaizen serta New Seven Tools Sebagai Usaha Pengurangan Kecacatan Produk. *Jurnal Teknologi*, 65-74.
- Yuliana, Nasution, Y. N., & Wasono. (2017). Penggunaan Metode Kaizen Pada Tahap Improve Dalam Six Sigma (Studi Kasus: Perusahaan Air Minum Dalam Kemasan(AMDK) Merk RAMA Produksi PT Ranam Mahakam Indonesia). *Jurnal Eksponensial*