

ANALISIS PERKEMBANGAN METODE PERT DAN CPM SERTA PENERAPANNYA DI BERBAGAI BIDANG

Santa Falare Sitanggang¹, Alio Hutaperi Siboro², Ocha Hosea Sigalingging³, Nerli Khairani⁴

Universitas Negeri Medan^{1,2,3,4}

santafs.4223230021@mhs.unimed.ac.id¹, aliosiboro2312@gmail.com²,
ochahosea_@mhs.unimed.ac.id³, nerlinst@yahoo.co.id⁴

ABSTRAK

Manajemen proyek dalam lingkungan yang dinamis dan penuh ketidakpastian memerlukan alat perencanaan dan penjadwalan yang presisi. Metode klasik *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dan *Critical Path Method* (CPM) telah menjadi standar industri sejak lama, namun peningkatan kompleksitas proyek modern menuntut adaptasi metodologis yang signifikan agar tetap relevan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis evolusi metodologi PERT dan CPM, memetakan inovasi algoritma terbaru, serta mengkaji diversifikasi penerapannya di berbagai bidang industri modern. Penelitian ini menggunakan desain *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap artikel jurnal bereputasi dari database akademik global. Melalui prosedur pengumpulan data bertahap yang meliputi identifikasi, penyaringan (*screening*), dan inklusi, data dari literatur terpilih diekstraksi menggunakan instrumen terstruktur. Teknik analisis data menggabungkan analisis konten kualitatif untuk menelaah modifikasi metode dan sintesis tematik untuk memetakan tren aplikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PERT dan CPM telah bertransformasi dari alat analisis manual menjadi sistem hibrida yang terintegrasi dengan kecerdasan buatan dan logika fuzzy. Temuan utama meliputi pengembangan model *Hybrid Bayesian Network-PERT* dan *Hopfield Neural Networks* untuk optimasi jadwal dinamis, serta integrasi *Linear Diophantine Fuzzy Sets* (LDFS) dan simulasi Monte Carlo untuk menangani ambiguitas durasi aktivitas secara lebih akurat. Selain itu, penerapan metode ini telah meluas secara signifikan melampaui sektor konstruksi, mencakup bidang layanan kesehatan, pengembangan sistem informasi, hingga manajemen laboratorium high-throughput screening. Implikasi studi ini menegaskan bahwa penggabungan metode hibrida memberikan akurasi yang lebih tinggi dalam pengambilan keputusan manajerial. Direkomendasikan bagi para praktisi manajemen proyek untuk mengadopsi sistem penjadwalan berbasis cerdas (*intelligent scheduling*) guna memitigasi risiko keterlambatan dalam proyek berskala kompleks.

Kata Kunci: Manajemen Proyek, Penerapan, Perkembangan, PERT, CPM, *Systematic Literature Review*.

ABSTRACT

Project management in a dynamic and uncertain environment requires precise planning and scheduling tools. The classic Program Evaluation and Review Technique (PERT) and Critical Path Method (CPM) have long been industry standards, but the increasing complexity of modern projects demands significant methodological adaptations to remain relevant. This study aims to analyze the evolution of PERT and CPM methodologies, map the latest algorithmic innovations, and examine the diversification of their applications across various modern industrial fields. This study employed a Systematic Literature Review (SLR) design of reputable journal articles from global academic databases. Through a multistep data collection procedure involving identification, screening, and inclusion, data from selected literature were extracted using a structured instrument. Data analysis techniques combined qualitative content analysis to examine method modifications and thematic synthesis to map application trends. The results show that PERT and CPM have transformed from manual analysis tools into hybrid systems integrated with artificial intelligence and fuzzy logic. Key findings include the development of a hybrid Bayesian Network-PERT and Hopfield Neural Networks model for dynamic schedule optimization, as well as the integration of Linear Diophantine Fuzzy Sets (LDFS) and Monte Carlo simulations to more accurately handle activity duration ambiguity. Furthermore, the application of this method has expanded significantly beyond the construction sector, encompassing healthcare, information systems development, and high-throughput screening laboratory management. The implications of this study confirm that the integration of hybrid methods provides higher accuracy in managerial decision-making. Project management practitioners are recommended to adopt intelligent scheduling systems to mitigate the risk of delays in complex projects.

Keywords: Project Management, Implementation, Development, PERT, CPM, Systematic Literature Review.

A. PENDAHULUAN

Manajemen proyek merupakan aktivitas merencanakan, mengorganisasi, memimpin, dan mengendalikan sumber daya guna mencapai target atau sasaran yang telah ditetapkan (Silalahi et al., 2023). Untuk menjalankan sebuah proyek, diperlukan perencanaan, penjadwalan, dan pengelolaan yang cermat. Hal ini mencakup berbagai elemen penting seperti sumber daya, ketersediaan material, peralatan, serta mempertimbangkan kondisi lingkungan dan iklim, di samping faktor-faktor lain yang memengaruhi perkembangan proyek. Faktor ini tidak hanya mempengaruhi kemajuan proyek, tetapi juga menyebabkan pelaksanaan proyek tertunda dan waktu yang dijadwalkan melebihi yang telah ditentukan. Ketika suatu masalah terjadi pada suatu proyek, hal itu mempengaruhi pelaksanaan proyek tersebut.

Kegagalan dalam pelaksanaan proyek pada akhirnya berarti kegagalan mencapai tujuan yang diharapkan, yang berujung pada pemborosan waktu dan biaya.

Kegiatan perencanaan dan penjadwalan memerlukan metode yang disebut perencanaan jaringan. Perencanaan Jaringan Kerja (*Network Planning*) merupakan suatu analisis proses dengan menggambarkan suatu diagram kerja, yang dapat memperkirakan dan menentukan lintasan aktivitas yang memerlukan pengendalian yang tepat. Dua metode utama yang telah menjadi dasar dalam penjadwalan proyek, yaitu *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dan *Critical Path Method* (CPM), telah diperkenalkan sejak akhir tahun 1950-an. Kedua metode ini telah dipakai secara luas dalam berbagai bidang rekayasa dan perencanaan proyek, dan berfungsi sebagai metode utama untuk merancang perencanaan jaringan kerja (Aulia & Cipta, 2023). PERT dan CPM ini sama-sama dikembangkan oleh dua lembaga atau organisasi yang berbeda. Bahkan sejak pertama kali kedua metode ini telah berbeda dalam hal tujuan yang ingin dicapai.

Program Evaluation and Review Technique (PERT) merupakan sebuah model dalam ilmu manajemen (*Management Science*) yang dirancang untuk membantu perencanaan dan pengendalian proyek. PERT pertama kali diciptakan pada tahun 1958 oleh perusahaan konsultan BoozAllen and Hamilton untuk Proyek Sistem Senjata Polaris milik Angkatan Laut AS (US Navy). Efektivitas model PERT sebagai alat bantu perencanaan dan pengendalian operasional terbukti dalam proyek tersebut. Teknik PERT berhasil mengoordinasikan kegiatan yang melibatkan ratusan kontraktor utama dan ribuan orang, memungkinkan proyek tersebut selesai enam belas bulan lebih cepat dari perkiraan awal. Sementara itu, *Critical Path Method* (CPM) didefinisikan oleh Levin dan Kirkpatrick (1972) sebagai metode perencanaan dan pengawasan proyek. CPM adalah sistem yang paling banyak diterapkan di antara semua sistem yang menggunakan prinsip pembentukan jaringan kerja (Asba & Altarans, 2024).

Seiring berkembangnya lingkungan proyek yang semakin dinamis, kompleks, dan penuh ketidakpastian, metode PERT dan CPM turut mengalami perkembangan signifikan baik secara metodologis maupun aplikatif. Penelitian menunjukkan bahwa metode PERT dan CPM berkembang melalui integrasi pendekatan probabilistik seperti simulasi Monte Carlo untuk meningkatkan akurasi estimasi waktu proyek (Kurniawan & Mulyono, 2024). Selain itu, adaptasi PERT/CPM menggunakan logika *fuzzy* (*Fuzzy-PERT/Fuzzy-CPM*) telah banyak

dilaporkan untuk menangani ketidakpastian subjektif dalam estimasi durasi aktivitas, sehingga lebih cocok untuk proyek dengan informasi tak pasti (Kenar et al., 2023).

Penggunaan metode PERT dan CPM tidak lagi terbatas pada proyek konstruksi, tetapi telah diterapkan pada berbagai konteks seperti penjadwalan produksi di sektor manufaktur (Sebayang et al., 2023) dan pengelolaan fasilitas layanan kesehatan, misalnya pada pembangunan poliklinik dengan dukungan perangkat lunak *MS Project* (Ekawati et al., 2025). Penerapan lintas sektor ini menunjukkan bahwa fleksibilitas dan kemampuan analitis PERT dan CPM semakin relevan dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan dan pengendalian waktu pada beragam jenis proyek modern. Levner et al. (2024) bahkan menunjukkan bahwa metode turunan PERT/CPM dapat diadaptasi untuk penjadwalan proses laboratorium berkecepatan tinggi. perkembangan teknologi informasi turut mempercepat evolusi kedua metode tersebut.

Dengan meningkatnya kompleksitas proyek, kemunculan teknologi baru, dan variasi konteks implementasi, kajian literatur mengenai perkembangan metode PERT dan CPM menjadi penting untuk memahami bagaimana metode klasik ini bertransformasi. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan metodologi PERT dan CPM, mengelompokkan inovasi-inovasi yang muncul, serta mengkaji penerapannya di berbagai bidang berdasarkan studi literatur terbaru.

B. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian/Desain

Penelitian ini menggunakan desain studi kepustakaan yang dilakukan secara sistematis mengikuti kerangka *Systematic Literature Review* (SLR). Metode SLR adalah metode penelitian yang digunakan untuk menemukan, menilai, mengevaluasi dan menafsirkan semua penelitian yang relevan terkait suatu topik tertentu secara matematis (Akmal et al., 2025). Desain ini dipilih karena relevan dengan tujuan penelitian yaitu untuk mengidentifikasi, menganalisis dan memetakan perkembangan metodologis dari PERT dan CPM serta penerapan kedua metode tersebut diberbagai bidang.

Metode SLR digunakan untuk memastikan bahwa proses tinjauan literatur dilakukan secara transparan, komprehensif dan dapat direplikasi sehingga mengurangi bias dalam pemilihan dan analisis artikel.

Subjek/Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah keseluruhan literatur ilmiah (artikel jurnal bereputasi) yang telah dipublikasikan secara global, yang membahas topik metode PERT dan CPM. Untuk membatasi ruang lingkup, populasi difokuskan pada artikel yang terindeks didatabase akademik seperti *Scopus* atau *Google Scholar*. Sedangkan sampel dalam penelitian ini adalah kumpulan akhir artikel yang terpilih setelah melalui proses seleksi berdasarkan kriteria yang memenuhi. Sampel yang dipilih dianggap paling relevan untuk menjawab pertanyaan penelitian mengenai perkembangan dan penerapan PERT/CPM.

Instrumen

Instrumen dalam penelitian ini berupa lembar ekstraksi data yang digunakan untuk mencatat informasi penting dari setiap artikel, seperti tujuan penelitian, metode yang digunakan, temuan utama, serta relevansinya dengan topik PERT dan CPM. Instrumen ini membantu peneliti menyeleksi dan menganalisis artikel secara konsisten, terstruktur, dan sesuai standar kualitas ilmiah.

Teknik atau Prosedur Pengumpulan Data

Prosedur pengumpulan data (seleksi literatur) mengikuti 3 tahapan utama yang sistematis, yaitu :

1. Tahap identifikasi, yaitu dilakukan pencarian artikel pada database menggunakan kata kunci. Kata kunci utama yang digunakan adalah: "*Critical Path Method*", "*PERT*", "*Program Evaluation and Review Technique*", "*CPM development*", "*PERT evolution*", "*Fuzzy PERT*", "*Stochastic CPM*", dan "*PERT CPM application*".
2. Tahap Penyaringan (*Screening*), Artikel yang ditemukan dari *database* kemudian disaring. Proses ini meliputi penghapusan artikel duplikat, dilanjutkan dengan peninjauan judul dan abstrak untuk menyaring artikel yang jelas tidak relevan.
3. Tahap Analisis (*Included*), Artikel yang lolos semua tahapan dan memenuhi kriteria kelayakan menjadi sampel akhir penelitian yang siap untuk diekstraksi dan dianalisis.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah kombinasi dari analisis konten kualitatif (*qualitative content analysis*) dan sintesis tematik (*thematic synthesis*).

1. Analisis Perkembangan Metode, Data dari lembar ekstraksi yang terkait dengan "perkembangan/modifikasi" (misal: *Fuzzy Logic*, *Critical Chain*, *Resource-Constrained*) akan dianalisis secara kualitatif. Artikel-artikel akan dikelompokkan berdasarkan jenis modifikasi yang diusulkan. Selanjutnya, sintesis tematik dilakukan untuk mengidentifikasi tren, pola, dan evolusi dari metode PERT/CPM dari waktu ke waktu.
2. Analisis Penerapan di Berbagai Bidang, Data dari lembar ekstraksi yang terkait "bidang penerapan" akan dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Analisis ini bertujuan untuk memetakan frekuensi dan tren penerapan PERT/CPM di berbagai sektor industri.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Tabel 1. Analisis Fokus dan Kebaruan Penelitian Terkait Metode PERT dan CPM

Judul	Fokus Penelitian	Novelty
Penerapan Metode CPM dan PERT pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembuatan <i>Website</i> Akreditasi dan Mutu Fakultas Sains dan Teknologi UIN Imam Bonjol Padang (Lizar & Rosmawati., 2024)	Penerapan PERT CPM dalam bidang teknologi	Menerapkan metode CPM dan PERT melalui perangkat lunak untuk mengatasi masalah ketidakpastian penjadwalan proyek dan menghasilkan sistem informasi yang mampu memberikan perencanaan dan penjadwalan yang lebih akurat.
<i>PROBABILISTIC SCHEDULING BASED ON HYBRID BAYESIAN NETWORK-PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE</i> (Adi et al., 2023)	Integrasi PERT dengan <i>machine learning</i>	Mengatasi kelemahan metode PERT yang memiliki sifat statis, ketidakmampuan dalam menangani perubahan real-time serta ketergantungan pada data historis untuk menentukan durasi dengan mengembangkan model <i>Hybrid Bayesian Network-PERT</i> .
<i>PERT and CPM in Project Management with Practical Examples</i> (Bagshaw, 2021)	Penjelasan konsep PERT dan CPM serta penerapannya secara praktis untuk menentukan durasi proyek, aktivitas kritis, slack, dan keputusan crashing	Penyajian integratif konsep dasar PERT-CPM disertai contoh kerja rinci yang menunjukkan penerapan nyata penentuan <i>critical path</i> , <i>slack</i> , dan analisis crashing dalam satu kerangka yang mudah dipahami
<i>Critical path planning for discharging older adults using a functional perspective</i>	Memperkenalkan metode inovatif untuk menjadwalkan dan menganalisis proses perencanaan pemulangan dengan waktu penyelesaian aktivitas individu yang tidak pasti.	Pada penelitian ini ditunjukkan evolusi PERT dan CPM dari metode menjadi fitur integrasi dalam sebuah sistem informasi yang custom, yang mampu memberikan dukungan manajemen yang lebih komprehensif.

Neural Pathways to Program Success: Hopfield Networks for PERT Analysis (Ali & Ahamed, 2025)

Memformulasikan analisis PERT sebagai masalah minimisasi energi dalam arsitektur Hopfield Neural Network untuk menghasilkan jadwal proyek yang konsisten dan optimal.

Perumusan baru yang secara eksplisit memetakan PERT ke dalam fungsi energi Hopfield, lengkap dengan penanganan constraint, dinamika kontinu, dan validasi empiris pada jaringan proyek berskala besar hingga 1000 aktivitas

Fast Algorithm for High-Throughput Screening Scheduling Based on the PERT/CPM Project Management Technique (Levner et al., 2024)

Pengembangan algoritma cepat berbasis PERT/CPM untuk menghasilkan jadwal siklik optimal pada sistem *high-throughput screening* (HTS) agar waktu siklus menjadi minimum

Usulan versi baru algoritma PERT/CPM yang mampu menemukan himpunan jadwal optimal secara robust dengan kompleksitas *strongly polynomial*, yang sebelumnya tidak dapat dicapai metode lain.

Optimization Algorithms of PERT/CPM Network Diagrams in Linear Diophantine Fuzzy Environment (Parimala et al., 2023)

Memperkenalkan dan menerapkan model hibrida *Linear Diophantine Fuzzy Set* (LDFS) dengan PERT/CPM untuk memodelkan ketidakpastian waktu aktivitas jaringan proyek menjadi lebih sederhana dengan menghilangkan batasan pada kelas fungsi keanggotaan dan kelas fungsi non-keanggotaan dalam teori himpunan fuzzy yang ada.

Memiliki parameter referensi dan parameter kendali yang dapat memberikan fleksibilitas bagi pengambil keputusan dalam memilih kelas fungsi keanggotaan dan kelas fungsi non-keanggotaan pada saat memodelkan ketidakpastian waktu aktivitas jaringan proyek.

Fuzzy-Graphical Evaluation and Review Technique for Scheduling Construction Projects (Pregina & Kannan, 2024)

Memperkenalkan dan menerapkan integrasi *Graphical Evaluation and Review Technique* (GERT) dan *Fuzzy Logic* (FL) untuk menciptakan Fuzzy-based GERT (F-GERT) dalam penjadwalan proyek konstruksi.

Menggunakan operasi fuzzy untuk menangani ketidakpastian dalam durasi aktivitas proyek, termasuk ketidakpastian dalam urutan dan interpretasi aktivitas proyek dengan mempertimbangkan karakteristik acak (atau *stochastic*) dan ketidakpastian parameter jadwal secara bersamaan.

Monte Carlo Simulation for Enhancing the Schedule Completion Forecast of Jakarta Central Railway Station Construction Project (Ichsan et al., 2025)

Menerapkan simulasi *Monte Carlo* dengan metode PERT dengan dasar kebutuhan mendesak untuk melakukan peramalan jadwal komprehensif guna mengantisipasi penundaan proyek.

Mengidentifikasi risiko dalam proyek yang menyebabkan keterlambatan, mengevaluasi risiko tersebut menggunakan analisis risiko kuantitatif, dan meningkatkan perkiraan penyelesaian proyek berdasarkan risiko yang diprioritaskan dengan menggunakan PERT dan Simulasi *Monte Carlo*.

Minimizing Delay in Construction Project at PT Freeport Indonesia using Crashing CPM-PERT Approach and Monte Carlo Simulation (Kurniawan & Mulyono, 2024)

Memberikan pendekatan komprehensif CPM-PERT dan simulasi *Monte Carlo* untuk mempercepat jadwal proyek yang tertunda.

Memberikan teknik alternatif untuk mengatasi batasan metode penjadwalan klasik dalam meminimalkan penundaan dalam proyek konstruksi.

Pembahasan

Metode PERT dan CPM telah diterapkan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan dan pengendalian proyek konstruksi (Rembulan & Yuhao, 2023). Di sektor manufaktur, kedua metode dipakai untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya dan mengurangi waktu proses produksi (Prapdopo et al., 2024). Dalam layanan kesehatan, PERT/CPM digunakan untuk merencanakan alur pasien dan mempercepat proses keberangkatan/rujukan pasien (Salehi et al., 2023). Pada pengembangan perangkat lunak dan teknologi informasi, metode jaringan (PERT/CPM) membantu penjadwalan tugas, estimasi durasi, dan pengelolaan risiko proyek TI (Ren & Li, 2023). Selain itu, PERT juga diterapkan dalam evaluasi proses pengadaan dan perencanaan pengadaan untuk memprediksi penundaan dan menentukan jalur kritis (Nag et al., 2023)

Artikel *PERT and CPM in Project Management with Practical Examples* membahas secara komprehensif bagaimana teknik PERT dan CPM digunakan dalam manajemen proyek untuk mengoptimalkan waktu dan biaya dengan menganalisis hubungan *precedence* aktivitas, menentukan jalur kritis, menghitung slack, serta melakukan crashing pada aktivitas yang diperlukan. Penulis menjelaskan perbedaan mendasar antara PERT yang bersifat probabilistik dan CPM yang deterministik, kemudian menunjukkan implementasinya menggunakan contoh jaringan aktivitas baik dalam AOA maupun AON. Dengan worked examples yang lengkap, artikel ini menguraikan langkah-langkah perhitungan *early start*, *late start*, *early finish*, *late finish*, hingga evaluasi *slack* dan penentuan aktivitas kritis, termasuk analisis biaya-waktu untuk mempercepat penyelesaian proyek. Pembahasan menunjukkan bahwa PERT–CPM tetap relevan sebagai alat operasional riset untuk meningkatkan efektivitas penjadwalan proyek dan pengalokasian sumber daya (Bagshaw, 2021).

Artikel *Penerapan Metode CPM dan PERT pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembuatan Website Akreditasi dan Mutu Fakultas Sains dan Teknologi UIN Imam Bonjol Padang* membahas secara komprehensif implementasi kedua teknik ini ke dalam sebuah sistem informasi untuk mengelola perencanaan dan penjadwalan proyek. Penelitian ini bertujuan mengatasi ketidakpastian estimasi waktu pengembang dan memastikan penyelesaian proyek website akreditasi tepat waktu. Penulis merinci penerapan CPM untuk menentukan rangkaian aktivitas kritis proyek dan PERT untuk melakukan perhitungan durasi proyek secara probabilistik. Pembahasan menunjukkan bahwa sistem informasi yang dibangun ini berhasil

membuat perencanaan dan pengendalian proyek menjadi lebih terarah dan terpercaya. Lebih jauh lagi, penelitian ini menunjukkan perkembangan penerapan metode PERT dan CPM, di mana keduanya tidak lagi hanya sebagai alat analisis teoretis, melainkan telah terintegrasi menjadi fitur inti dalam sebuah Sistem Informasi Manajemen Proyek (SIMP) yang fungsional (Lizar & Rosmawati., 2024).

Artikel *Neural Pathways to Program Success: Hopfield Networks for PERT Analysis* menunjukkan bahwa pendekatan *Hopfield neural network* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan PERT dengan memformulasikan dependensi tugas dan durasi aktivitas sebagai masalah minimisasi energi dalam jaringan saraf rekuren. Dengan menyusun setiap tugas sebagai neuron dan mengodekan precedence sebagai bobot terhubung, penulis menunjukkan bahwa jaringan dapat berkonvergensi menuju jadwal proyek yang feasible sambil meminimalkan makespan. Model ini diuji menggunakan proyek sintesis hingga 1000 tugas dan menunjukkan kinerja yang kuat dalam menemukan jadwal mendekati optimal, dengan pelanggaran constraint yang sangat rendah. Pembahasan menekankan bahwa walaupun CPM dapat lebih cepat untuk grafik sederhana, Hopfield menawarkan fleksibilitas besar karena mampu menggabungkan berbagai batasan (*deadline, resource caps, soft constraints*) dalam satu kerangka energi. Penelitian ini menempatkan Hopfield sebagai pendekatan AI yang potensial untuk PERT modern, terutama untuk sistem berskala besar seperti workflow multi-agent dan aplikasi *microservice* berbasis AI (Ali & Ahamed, 2025).

Jurnal *Fast Algorithm for High-Throughput Screening Scheduling Based on the PERT/CPM Project Management Technique* membahas pengembangan algoritma PERT/CPM versi baru yang dirancang khusus untuk mengoptimalkan penjadwalan siklik pada sistem high-throughput screening (HTS), yaitu proses otomatis yang menangani ribuan sampel biokimia secara cepat. Penelitian ini menyoroti kelemahan pendekatan sebelumnya seperti mixed-integer programming dan Petri nets yang memiliki kompleksitas komputasi tinggi. Sebagai solusinya, penulis mengembangkan metode PERT/CPM parametrik yang bekerja bersama sub-algoritma "*prohibited intervals*" untuk mengeliminasi jadwal tak layak sehingga mampu menghasilkan jadwal optimal secara *robust* dalam waktu *strongly polynomial*. Inovasi ini membuat proses penjadwalan HTS lebih efisien, dapat digunakan untuk problem berskala besar, serta menghasilkan lebih dari satu solusi optimal sehingga memberikan fleksibilitas bagi pengambil keputusan (Levner et al., 2024).

Penelitian *PROBABILISTIC SCHEDULING BASED ON HYBRID BAYESIAN NETWORK–PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE*, berangkat dari masalah utama metode PERT yang kaku, di mana estimasi waktu proyek tidak bisa beradaptasi dengan kondisi lapangan dan sangat bergantung pada data historis. Untuk mengatasinya, penulis memperkenalkan sebuah model hibrida inovatif yang mengawinkan PERT dengan machine learning, spesifiknya *Bayesian Network* (BN). Dalam model ini, BN bertugas menganalisis berbagai faktor risiko sumber daya secara real-time, baik kualitatif maupun kuantitatif, seperti produktivitas pekerja, ketersediaan material, atau kondisi alat. Hasil analisis BN (berupa nilai probabilitas produktivitas) kemudian dijadikan dasar untuk memperbarui secara dinamis tiga estimasi waktu (optimis, pesimis, dan most likely) yang menjadi inti perhitungan PERT (Adi et al., 2023).

Artikel *Critical path planning for discharging older adults using a functional perspective* menginvestigasi tantangan besar dalam proses pemulangan pasien lansia dari rumah sakit, yang diakui sebagai proses yang sangat kompleks, multi-langkah, dan penuh ketidakpastian waktu penyelesaian aktivitas. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini memperkenalkan metode hibrida inovatif yang mengintegrasikan dua pendekatan berbeda: *Functional Resonance Analysis Method* (FRAM) dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Secara spesifik, metode sistemik FRAM (sebuah metode analisis sosio-teknikal) digunakan pada tahap pertama untuk mengidentifikasi dan memodelkan jaringan aktivitas (fungsi) yang komprehensif total 29 aktivitas yang terlibat dalam proses pemulangan pasien, termasuk memetakan interaksi non-linear dan kompleksitas sistem layanan kesehatan. Jaringan aktivitas yang mendetail hasil dari FRAM ini kemudian digunakan sebagai input dasar untuk teknik PERT. Setelah itu, PERT diterapkan untuk menganalisis durasi probabilistik (menggunakan estimasi optimis, most likely, dan pesimis), menghitung *slack*, dan pada akhirnya mengidentifikasi jalur kritis dari keseluruhan proses pemulangan tersebut (Salehi et al., 2023).

Pada penelitian *Optimization Algorithms of PERT/CPM Network Diagrams in Linear Diophantine Fuzzy Environment*, teknik PERT/CPM dioptimalkan dengan menggabungkan model Linear Diophantine Fuzzy Set (LDFS) untuk mengatasi ambiguitas dalam waktu aktivitas jaringan proyek secara lebih sederhana, dibanding dengan pendekatan lain seperti PERT konvensional, Fuzzy PERT dan lainnya. Pada banyak proyek besar yang memiliki banyak kontrak, mengendalikan kondisi proyek secara keseluruhan dan membuat keputusan

cepat dinilai sulit dalam situasi yang kompleks. Akibatnya, tanggapan lambat dari mitra dapat menyebabkan jadwal proyek tertunda. Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan integrasi berbagai strategi manajemen proyek menggunakan simetri informasi, interaksi, mitigasi risiko, pelacakan perubahan, dan pemeliharaan kualitas dalam konteks dinamis seperti waktu. Dengan kombinasi antara teknik PERT/CPM dan model LDFS, maka peneliti mengusulkan LDF-PERT dan LDF-CPM untuk menganalisis simetri dalam kontrol fuzzy guna mencari solusi yang optimal dan membantu pengambil keputusan membuat penilaian yang lebih baik dalam proyek (Parimala et al., 2023).

Adanya konsep himpunan fuzzy membuat model LDF-PERT memiliki keunggulan dalam mengatasi keterbatasan dalam teori himpunan yang ada dengan parameter referensi. Jika hanya menggunakan kelas fungsi keanggotaan dan kelas fungsi non-keanggotaan, maka keputusan yang diambil tidak cukup untuk menganalisis objek di himpunan semesta. Maka dari itu, LDF-PERT yang memiliki parameter referensi dan parameter kendali dapat memberikan fleksibilitas bagi pengambil keputusan dalam memilih kelas-kelas tersebut. Dengan parameter referensi, LDF-PERT menyediakan pendekatan yang tangguh untuk memodelkan ketidakpastian, yaitu dengan menghilangkan batasan pada fungsi keanggotaan dan kelas fungsi non-keanggotaan dalam teori himpunan fuzzy yang ada.

Dengan demikian, metode LDFS PERT/CPM dapat diterapkan untuk berbagai sumber data masukan. Akurasi metode ini lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan sebelumnya dan mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas serta memperbaiki kelemahan dalam data yang disediakan. LDFS unggul pada tantangan sistem pendukung keputusan yang melibatkan berbagai kriteria dan data masukan yang bervariasi bergantung pada skenario dan dapat mengusulkan beberapa alternatif secara besar-besaran.

Algoritma LDFS PERT/CPM memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi yang dapat memungkinkan administrator untuk melakukan analisis perbandingan pada berbagai tingkat, hingga menghasilkan solusi yang lebih optimal. Dengan minimnya sensitifitas terhadap variasi data masukan dan keluaran, metode LDFS PERT/CPM menjadi alat yang bermanfaat dalam mengevaluasi opsi atau pertimbangan di tengah tingkat ketidakpastian dan ambiguitas yang tinggi.

Penelitian *Fuzzy-Graphical Evaluation and Review Technique for Scheduling Construction Projects* membahas penjadwalan proyek konstruksi yang merupakan salah satu

proses yang paling rumit karena melibatkan penyelesaian berbagai tugas atau kegiatan dalam jangka waktu proyek yang telah ditentukan. Jadwal konstruksi harus mempertimbangkan baik sumber daya maupun batasan-batasan lokasi konstruksi. Selain itu, menentukan parameter yang mempengaruhi penjadwalan konstruksi, seperti jenis aktivitas konstruksi, durasi, hubungan ketergantungan, dan probabilitas terjadinya, merupakan hal yang sulit dan tidak pasti.

Teknik *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), *Critical Path Method* (CPM), *Precedence Diagramming Method* (PDM), dan sebagainya dinilai kurang mampu dalam menentukan parameter yang tidak pasti untuk menetapkan jadwal yang akurat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih kompeten untuk mengatasi ketidakpastian dan karakteristik stokastik dalam penjadwalan konstruksi. Ketidakpastian dan ambiguitas, bagaimanapun, umum terjadi di semua bidang di mana penilaian, evaluasi, dan pengambilan keputusan manusia sangat penting. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian *Fuzzy-Graphical Evaluation and Review Technique for Scheduling Construction Projects* oleh Pregina & Kannan (2024) mengusulkan integrasi *Graphical Evaluation and Review Technique* (GERT) dan Logika Fuzzy (FL) untuk menciptakan Fuzzy-based GERT (F-GERT) dalam penjadwalan proyek konstruksi. F-GERT menggunakan operasi fuzzy untuk menangani ketidakpastian dalam durasi aktivitas. GERT adalah metode penjadwalan inovatif untuk mengatasi berbagai situasi, seperti pengulangan atau looping aktivitas, dan sifat stokastik aktivitas. Sifat stokastik tersebut menjadikan GERT alat yang efektif untuk menghitung waktu penyelesaian proyek-proyek spesialis yang kompleks. GERT menggabungkan teori jaringan, teori probabilitas, simulasi, dan prinsip grafik aliran sinyal. Jaringan GERT secara efisien mengevaluasi jaringan stokastik dengan simpul logis, loop berulang, dan cabang terarah.

Jaringan GERT terdiri dari transmisi atau cabang, simpul atau titik, dan loop. Sebuah cabang atau busur yang menghubungkan dua simpul mewakili setiap tugas dan aliran data yang terkait dengannya dalam sebuah proyek. Setiap cabang memiliki probabilitas dipilih, dan waktu penyelesaian yang terkait dengan aktivitas yang dimaksud. Waktu yang diperlukan untuk menjalankan suatu tugas ditentukan oleh set parameter dan jenis distribusi. Simbol-simbol konseptual pada diagram GERT akan terdiri dari dua bagian, yaitu penerima, yang menentukan kondisi realisasi pada cabang yang menuju ke simbol, dan pemancar, yang menyatakan kriteria realisasi pada cabang-cabang yang keluar dari simbol.

Terdapat tiga jenis hubungan logis pada bagian input yaitu simpul *EXCLUSIVE-OR*, *INCLUSIVE-OR*, dan *AND*. Simpul *INCLUSIVE-OR* menunjukkan bahwa setiap cabang yang masuk ke simpul tersebut dapat menyebabkan realisasi simpul, dan durasi aktivitas terpendek dianggap sebagai waktu realisasi simpul. Simpul *EXCLUSIVE-OR* berarti simpul tersebut hanya direalisasi oleh satu cabang yang masuk ke simpul, sedangkan cabang-cabang lainnya tetap tidak aktif pada saat yang sama. Sebuah simpul *AND* direalisasikan hanya ketika semua cabang yang terhubung ke simpul tersebut direalisasikan, dan waktu maksimum yang diperlukan untuk menyelesaikan semua aktivitas yang terhubung ke simpul tersebut diambil sebagai waktu realisasi simpul.

Output metode GERT berupa simpul hubungan logis deterministik dan probabilistik. Simpul deterministik menunjukkan bahwa semua simpul yang berasal dari simpul tersebut direalisasikan secara instan pada saat simpul tersebut direalisasikan. Semua cabang yang berasal dari simpul memiliki probabilitas kejadian yang sama, yaitu probabilitas cabang yang berasal adalah satu. Pada simpul probabilistik, realisasi cabang yang berasal dari simpul bergantung pada probabilitas kejadian. Jumlah probabilitas kejadian tugas yang diimplikasikan oleh simpul adalah satu. Setidaknya satu cabang diambil pada realisasi simpul.

Meskipun GERT memiliki keunggulan dalam penjadwalan proyek konstruksi dengan situasi kompleks atau sifat acak aktivitas, terdapat kebutuhan untuk menganalisis aktivitas yang sangat tidak pasti dan ambigu. Ambiguitas dalam menentukan durasi waktu diselesaikan dengan mengintegrasikan Logika Fuzzy (FL) dalam GERT yang disebut '*Fuzzy based GERT*' (F-GERT). Sistem jaringan GERT *fuzzy-stochastic* yang diusulkan ini didasarkan pada teori himpunan fuzzy dan mempertimbangkan karakteristik kebetulan (atau stochastic) dan ketidakpastian (atau ketidakjelasan) parameter jadwal secara bersamaan. Jaringan hibrida ini merupakan alat yang kuat untuk menjadwalkan masalah kompleks dengan ketidakpastian yang signifikan dan penalaran yang tidak pasti. Penggunaan F-GERT dalam penjadwalan proyek relevan karena efektif dan akurat dalam menangani masalah proyek konstruksi, termasuk ketidakpastian dalam urutan dan interpretasi aktivitas, ambiguitas dalam jadwal proyek secara keseluruhan, pendapat ahli yang interpretatif, dan fakta bahwa pendekatan fuzzy menggunakan data lebih sedikit daripada teknik probabilitas. Selanjutnya, F-GERT secara esensial diperluas untuk digunakan dalam berbagai situasi, termasuk evaluasi keandalan, pertanian, penjadwalan proyek, dan sebagainya.

Penelitian *Monte Carlo Simulation for Enhancing the Schedule Completion Forecast of Jakarta Central Railway Station Construction Project* menerapkan simulasi Monte Carlo dengan metode PERT atas dasar kebutuhan mendesak untuk melakukan peramalan jadwal komprehensif guna mengantisipasi penundaan proyek. Penundaan pembangunan, khususnya pada proyek stasiun kereta api, telah berdampak negatif pada pemilik proyek, menyebabkan masalah operasional yang besar dan kerugian finansial. Selain itu, para penumpang merasa kecewa dan menyebabkan persepsi negatif serta keluhan yang menyebar di kalangan pengguna kereta api. Akibatnya pemilik proyek dapat mengalami risiko reputasi, sementara penyedia layanan mengalami kesulitan.

Masalah penundaan tersebut dapat diselesaikan dengan mengidentifikasi risiko dalam proyek yang menyebabkan keterlambatan. Risiko yang ditemukan selanjutnya dianalisis menggunakan analisis risiko kuantitatif, dan meningkatkan perkiraan penyelesaian proyek berdasarkan risiko yang diprioritaskan dengan menggunakan PERT dan Simulasi Monte Carlo. Metodologi PERT dan Simulasi Monte Carlo menilai probabilitas penyelesaian proyek dan mengidentifikasi jalur waktu kritis. Pendekatan analisis PERT digunakan untuk memperkirakan waktu tugas-tugas esensial melalui estimasi tiga titik, sedangkan simulasi Monte Carlo untuk mengevaluasi pengaruh risiko, memperkirakan variasi durasi aktivitas, dan memprediksi waktu penyelesaian proyek dengan presisi yang lebih tinggi (Ichsan et al., 2025).

Penelitian *Minimizing Delay in Construction Project at PT Freeport Indonesia using Crashing CPM-PERT Approach and Monte Carlo Simulation* berfokus pada proyek sistem optimilisasi listrik yang menjadi sumber utama seluruh rangkaian proyek dapat berjalan. Sistem optimilisasi listrik pabrik merupakan sistem pengelola pasokan listrik pada perusahaan tambang. Sistem ini akan menambah kapasitas pasokan listrik dan transformator di lokasi pabrik untuk mendukung peningkatan yang direncanakan dalam beban pengolahan dan tambang bawah tanah. Beberapa proyek konstruksi PT Freeport Indonesia menjadi tertunda disebabkan oleh proyek sistem optimilisasi listrik pabrik belum selesai. Selain itu, masalah penundaan juga terjadi pada proyek sistem tersebut, sehingga dengan banyaknya proyek yang tertunda, semua masalah tersebut diatasi dengan mengintegrasikan Metode Jalur Kritis-Evaluasi dan Penilaian Program (CPM-PERT) dan Simulasi Monte Carlo. Metodologi ini memberikan pendekatan komprehensif untuk mengidentifikasi aktivitas kritis,

mempertimbangkan perkiraan waktu yang berbeda, dan memprediksi probabilitas hasil yang berbeda dari jadwal yang diperbaiki.

Integrasi CPM-PERT dan simulasi Monte Carlo memberikan pendekatan komprehensif untuk mempercepat jadwal proyek yang tertunda. CPM memungkinkan identifikasi aktivitas kritis dalam jadwal proyek. PERT mengestimasi waktu aktivitas dan memperoleh estimasi probabilitas untuk waktu penyelesaian seluruh jaringan. Simulasi Monte Carlo kemudian menjalankan berbagai skenario dari jadwal proyek. Simulasi Monte Carlo adalah istilah yang digunakan untuk simulasi stokastik yang memasukkan variabilitas acak ke dalam model, baik diskrit, waktu nyata, atau kombinasi dari keduanya ke dalam uji coba berulang yang panjang dengan mengulang durasi berulang yang panjang. Nilai-nilai yang kebetulan untuk setiap distribusi probabilitas digunakan untuk memperkirakan waktu penyelesaian proyek dengan durasi yang berbeda antara beberapa frekuensi. Jumlah iterasi dalam simulasi Monte Carlo bergantung pada beberapa faktor, seperti kompleksitas model, jumlah variabel dan hubungan di antara mereka, ketersediaan waktu, dan konvergensi model. Semakin banyak iterasi yang dijalankan, semakin lama waktu yang dibutuhkan dan semakin akurat respons keluaran yang dihasilkan.

Integrasi Monte Carlo ke dalam CPM PERT menghasilkan hasil yang lebih akurat daripada hanya dengan teknik klasik saja. Metode Monte Carlo secara efektif mensimulasikan ketidakpastian dalam proyek konstruksi di area pertambangan. Metode ini telah secara empiris diverifikasi sebagai teknik perkiraan waktu yang andal, dan analisis sederhana dapat dilakukan dengan cepat. Perkiraan waktu yang lebih akurat dapat dicapai dengan melibatkan spesialis yang berpengetahuan dan berpengalaman yang memahami ketidakpastian proyek secara mendalam. Mengintegrasikan simulasi Monte Carlo ke dalam PERT menawarkan teknik alternatif untuk mengatasi batasan metode penjadwalan klasik dalam meminimalkan penundaan dalam proyek konstruksi (Kurniawan & Mulyono, 2024).

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode PERT dan CPM terus berkembang mengikuti kebutuhan proyek yang semakin kompleks dan penuh ketidakpastian. Berdasarkan hasil studi literatur, kedua metode ini tidak hanya digunakan dalam bentuk klasiknya, tetapi telah dimodifikasi melalui pendekatan seperti logika fuzzy, simulasi Monte Carlo, Bayesian Network, hingga integrasi dengan kecerdasan buatan seperti Hopfield Neural Network.

Perkembangan ini membuat PERT dan CPM lebih adaptif dalam memperkirakan durasi, mengidentifikasi jalur kritis, serta menangani risiko yang muncul dalam proses penjadwalan proyek. Selain analisis metodologis, penelitian ini juga menemukan bahwa penerapan PERT dan CPM semakin meluas, tidak lagi terbatas pada konstruksi, tetapi juga pada teknologi informasi, kesehatan, manufaktur, dan berbagai bidang lainnya yang membutuhkan perencanaan waktu dan pengendalian proyek. Penelitian ini berkontribusi dalam memetakan perkembangan terbaru PERT dan CPM serta memberikan gambaran komprehensif mengenai tren penerapannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, T. J. W., Rachmawati, F., & Rizky, S. Y. (2023). Probabilistic Scheduling Based On Hybrid Bayesian Network–Program Evaluation Review Technique. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 34(2), 108. <https://doi.org/10.12962/j20882033.v34i2.16693>
- Akmal, A. N., Maelasari, N., Ilmu, T., & Islam, P. (2025). *Pemahaman Deep Learning dalam Pendidikan : Analisis Literatur melalui Metode Systematic Literature Review (SLR)*. 8.
- Ali, A., & Ahamed, N. (2025). *Neural Pathways to Program Success: Hopfield Networks for PERT Analysis*.
- Asba, A. & Altarans, I. Optimalisasi Pelaksanaan Proyek Kontruksi dengan Menggunakan Metode PERT Dan CPM (Studi Kasus Peningkatan Jalan Toloa Kota Tidore Kepulauan). *Jurnal AKRAB JUARA*, 9(2), 1-12.
- Aulia, S., & Cipta, H. (2023). Network Planning Analysis Using CPM and PERT Methods on Optimization of Time and Cost. *Sinkron*, 8(1), 171–177. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.11961>
- Bagshaw, K. B. (2021). NEW PERT and CPM in Project Management with Practical Examples. *American Journal of Operations Research*, 11(04), 215–226. <https://doi.org/10.4236/ajor.2021.114013>
- Ekawati, R., Bashirudin, I., Muhyib, M., dkk. (2025). *Penerapan Metode CPM-PERT Berbasis MS Project dan Analisis Kausalitas pada Proyek Pembangunan Poliklinik ABC*. *Journal of Systems Engineering and Management*.

- Ichsan, M., Isvara, W., & Karim, S. (2025). Monte Carlo Simulation for Enhancing the Schedule Completion Forecast of Jakarta Central Railway Station Construction Project. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/app15137464>
- Kenar, E., İpek, M., Düğenci, M., & Korkmaz, Ö. A. (2023). Applying the Fuzzy PERT Method in Project Management: A Real-Life Case Study. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 9(2), 123–132. <https://doi.org/10.22399/ijcesen.1262975>
- Kurniawan, B. N., & Mulyono, N. B. (2024). Minimizing Delay in Construction Project at PT Freeport Indonesia using Crashing CPM-PERT Approach and Monte Carlo Simulation. *European Journal of Business and Management Research*, 9(5), 61–69. <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2024.9.5.2448>
- Levner, E., Kats, V., Yan, P., & Che, A. (2024). Fast Algorithm for High-Throughput Screening Scheduling Based on the PERT/CPM Project Management Technique. *Algorithms*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/a17030127>
- Lizar, Y., & Rosmita, U. (2024). Penerapan Metode CPM dan PERT pada Sistem. 7(1), 110–116. <https://doi.org/10.31764/justek.vXiY.ZZZ>
- Nag, P., Dutta, S., Saha, G., & Das, A. (2023). Relevance of Project Evaluation and Review Technique (PERT) for procurement of equipments in a Government Medical College and Hospital in North-East India. *Healthline* 14(1):74-78.
- Parimala, M., Prakash, K., Al-Quran, A., Riaz, M., & Jafari, S. (2023). Optimization Algorithms of PERT/CPM Network Diagrams in Linear Diophantine Fuzzy Environment. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 139(1), 1095–1118. <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.031193>
- Prapdopo, P., Ambalinggi, Y., Sriwahyuni, L., Norhidayanti, S., & Oktavia, F. (2024). Analysis Use of PERT/CPM: Optimizing Manufacturing Production Process Resources for Building Construction Projects on Kunjang River Region, East Kalimantan. *Journal of Business Management and Economic Development*, 2(03), 1283–1291. <https://doi.org/10.59653/jbmed.v2i03.942>
- Pregina, K., & Kannan, M. R. (2024). Fuzzy-Graphical Evaluation and Review Technique for Scheduling Construction Projects. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(7), 2573–2587. <https://doi.org/10.1007/s12205-024-0904-z>

- Rembulan, G. D., & Yuhao, S. (2023). Penerapan Metode CPM dan PERT Pada Proyek Konstruksi Gereja Kemah Tabernake PIK 2 Jakarta Utara. *JOURNAL OF INDUSTRIAL AND MANUFACTURE ENGINEERING*, 7(2), 147–160. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i2.9648>
- Ren, Y., & Li, J. (2023). Research on Software Project Schedule Planning Technology Based on the Integration of PERT and CPM. *Procedia Computer Science*, 228, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.11.029>
- Salehi, V., Veitch, B., & Smith, D. (2023). Critical path planning for discharging older adults using a functional perspective. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 33(4), 312–326. <https://doi.org/10.1002/hfm.20985>
- Sebayang, S. M., Sondakh, E., Sekolah, F., Diii, V. /, & Bisnis, A. (2023). MANUFACTURING CENTER. *Jurnal Logistik Bisnis*, 13(2). <https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/logistikHalaman|8>
- Silalahi, Y. I., Masthura, L., & Fahriana, N. (2023). Analisis Faktor - Faktor Penentu Keberhasilan Proyek Konstruksi Berdasarkan Mutu, Biaya dan Waktu. *Jurnal Komposit*, 7(2), 233–240. <https://doi.org/10.32832/komposit.v7i2.14240>.