

STRATEGI PEKERJAAN DETAIL ENGINEERING UNTUK MENINGKATKAN KINERJA PADA PROYEK EPC DI PT. XYZ

Anindika Bagus Pradana¹; Zulkifli²; Agustinus Miranda³

Magister Manajemen Sekolah Pascasarjana, Universitas Pancasila Jakarta¹
Program Studi Magister Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis,
Universitas Pancasila^{2,3}

Email : 5121220019@univpancasila.ac.id¹; zulkifli@univpancasila.ac.id²;
agustinus.miranda@univpancasila.ac.id³

ABSTRAK

Pekerjaan rekayasa (*engineering*) memainkan peran strategis dalam menentukan efektivitas biaya dan waktu pada proyek *Engineering, Procurement, and Construction* (EPC). Dalam pelaksanaan tugas-tugas rekayasa, muncul berbagai persoalan. Masalah seperti revisi yang berulang, dokumen yang tidak terintegrasi, dan pembengkakan biaya (*cost overruns*) menekankan perlunya strategi manajemen yang lebih terstruktur dan berbasis data. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kapabilitas subkontraktor, pemanfaatan teknologi, dan penerapan Sistem Manajemen Mutu (SMM/QMS) terhadap kualitas pekerjaan rekayasa rinci (*detailed engineering*), serta dampaknya terhadap kinerja proyek EPC. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran (*mixed-methods*), yang menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner yang disebarluaskan kepada 50 responden yang dipilih secara *purposive*, serta pendekatan kualitatif melalui wawancara mendalam dan Diskusi Kelompok Terfokus (*Focus Group Discussion/FGD*) dengan para pemangku kepentingan proyek di PT XYZ. Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan metode *Partial Least Squares–Structural Equation Modeling* (PLS-SEM) dengan perangkat lunak SmartPLS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga variabel independen—kapabilitas subkontraktor, teknologi & aplikasi, dan SMM—berpengaruh signifikan terhadap kualitas pekerjaan rekayasa rinci. Selanjutnya, kualitas pekerjaan rekayasa rinci terbukti menjadi variabel mediasi yang kuat dalam meningkatkan kinerja proyek EPC, terutama dalam hal efisiensi biaya dan ketepatan waktu. Studi ini juga menghasilkan rumusan strategi yang terintegrasi dan aplikatif berdasarkan hasil FGD dan analisis TOWS untuk mengoptimalkan pekerjaan rekayasa rinci serta meningkatkan profitabilitas proyek secara sistematis. Temuan ini memberikan kontribusi praktis bagi manajemen proyek EPC dalam membangun sistem rekayasa yang adaptif, berkualitas tinggi, dan bernilai tambah.

Kata Kunci : Rekayasa (*Engineering*); Proyek EPC; Subkontraktor; Teknologi; Sistem Manajemen Mutu (SMM/QMS)

ABSTRACT

Engineering work plays a strategic role in determining cost and time effectiveness in Engineering, Procurement, and Construction (EPC) projects. In the implementation of engineering tasks, many issues arise. Problems such as repeated revisions, unintegrated documents, and cost overruns highlight the need for a more structured and data-driven management strategy. This study aims to analyze the influence of subcontractor capability, technology utilization, and the implementation of a Quality Management System (QMS) on the quality of detailed engineering work, as well as its impact on EPC project performance. This research employs a mixed-methods approach, combining both qualitative and quantitative methods. Data collection was conducted through a questionnaire distributed to 50 purposively selected respondents, along with qualitative approaches via in-depth interviews and Focus Group Discussions (FGDs) with project stakeholders at PT XYZ. Quantitative analysis was carried out using the Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) method with SmartPLS software. The results show that all three independent variables subcontractor

capability, technology & application, and QMS significantly affect the quality of detailed engineering work. Furthermore, the quality of detailed engineering work proves to be a strong mediating variable in improving EPC project performance, particularly in terms of cost efficiency and timeliness. This study also produces an integrated and applicable strategic formulation based on the results of FGD and TOWS analysis to optimize detailed engineering work and systematically boost project profitability. These findings offer practical contributions to EPC project management in building adaptive, high-quality, and value-added engineering systems.

Keywords : Engineering; EPC Project; Subcontractor; Technology; Quality Management System; QMS (SMM/QMS)

PENDAHULUAN

Industri konstruksi di Indonesia, khususnya sektor Engineering, Procurement, and Construction (EPC), memegang peranan strategis dalam pembangunan infrastruktur dan fasilitas industri (Sholeh & Fauziah, 2023). Proyek EPC melibatkan pengadaan, konstruksi, serta instalasi skala besar yang membutuhkan perencanaan detail, pengelolaan yang ketat, dan pelaksanaan yang terstruktur (Parikesit et al., 2025). Pada tahapan ini, pekerjaan detail Engineering menjadi aspek yang sangat vital karena berfungsi sebagai dasar pelaksanaan procurement dan konstruksi (Umaroh, 2023).

Namun, dalam praktiknya, banyak proyek EPC menghadapi kendala berupa keterlambatan, pembengkakan biaya, serta penurunan kualitas. Hal ini umumnya disebabkan oleh lemahnya pengelolaan pekerjaan detail Engineering, termasuk keterlambatan revisi gambar kerja dari subkontraktor, keterbatasan teknologi, dan implementasi sistem manajemen mutu (QMS) yang belum optimal (Masgode et al., 2024). Kapabilitas subkontraktor sering kali menjadi faktor krusial; keterbatasan sumber daya manusia maupun teknologi dapat menghambat kelancaran proyek (Nugroho & Fadhilah, 2023).

Perkembangan teknologi, seperti Building Information Modeling (BIM) dan perangkat lunak desain 3D, terbukti mampu meningkatkan akurasi perencanaan, mempercepat proses desain, serta mengurangi revisi dan kesalahan konstruksi (Siregar, 2024; Sholeh, 2024). Namun demikian, adopsi teknologi ini masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan infrastruktur, biaya investasi tinggi, dan kurangnya pelatihan teknis (Satija, 2021; Nainggolan et al., 2023).

Selain faktor teknologi, penerapan Quality Management System (QMS) juga berpengaruh besar dalam menjamin mutu pekerjaan detail Engineering. QMS yang efektif mampu mengurangi kesalahan, meningkatkan efisiensi, dan memastikan kepatuhan terhadap spesifikasi teknis (Khatatbeh, 2023; Alwi et al., 2025). Akan tetapi, implementasi QMS di banyak perusahaan EPC di Indonesia masih belum konsisten sehingga menimbulkan ketidaksesuaian antara hasil pekerjaan dan standar mutu (Rehman et al., 2023).

Kinerja proyek EPC umumnya diukur dari ketepatan waktu dan kesesuaian anggaran (Negara et al., 2024; Baihaqi & Utomo, 2024). Keterlambatan maupun pembengkakan biaya

sering kali berakar dari masalah pada tahap detail Engineering, baik akibat kesalahan desain maupun revisi yang terlambat (Sholeh, 2025). Oleh karena itu, koordinasi antara manajemen proyek, subkontraktor, dan tim teknik menjadi kunci untuk mencapai kinerja yang optimal (Mahajan & Baride, 2023).

Penelitian terdahulu menegaskan bahwa pekerjaan detail Engineering yang terencana dengan baik dapat meminimalisir kesalahan teknis, mengurangi biaya tambahan, serta memperbaiki cash flow proyek (Elete et al., 2024; Victory & Indrastuti, 2025). Sebaliknya, kelemahan pada aspek ini dapat menimbulkan keterlambatan dan pembengkakan biaya, seperti kasus internal PT. XYZ pada 2023 yang mencatat keterlambatan procurement 4 minggu akibat revisi dokumen Engineering, serta peningkatan biaya material hingga 12%.

Dengan demikian, diperlukan strategi pengelolaan pekerjaan detail Engineering yang mampu mengintegrasikan kapabilitas subkontraktor, pemanfaatan teknologi tepat guna, dan penerapan QMS yang konsisten. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan ketiga variabel tersebut terhadap kualitas pekerjaan detail Engineering dan kinerja proyek EPC secara keseluruhan. Hasil kajian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan strategi pengelolaan proyek EPC di masa depan agar lebih efisien, efektif, dan terukur.

METODE PENELITIAN

Metode adalah suatu cara kerja yang dapat digunakan untuk memperoleh sesuatu. Sedangkan metode penelitian dapat diartikan sebagai tata cara kerja di dalam proses penelitian, baik dalam pencarian data ataupun pengungkapan fenomena yang ada (Zulkarnaen, W., et al., 2020).

Pendekatan dan Rancangan

Penelitian ini mengadopsi mixed methods untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif atas strategi pekerjaan detail Engineering dalam proyek EPC di PT XYZ. Merujuk kerangka metodologis Creswell, kombinasi kuantitatif–kualitatif dipilih karena persoalan yang dikaji tidak hanya menuntut pengukuran numerik (kinerja waktu, biaya, mutu), tetapi juga pemaknaan konteks dan dinamika pelaksanaan di lapangan (Creswell). Komponen kuantitatif diarahkan untuk menguji keterkaitan antarvariabel utama (perencanaan Engineering, efektivitas tim, kualitas dokumen teknis) dan dampaknya pada kinerja proyek. Komponen kualitatif melengkapi melalui wawancara semi-terstruktur dan FGD guna menggali strategi, tantangan, serta praktik terbaik yang dijalankan para pelaku proyek. Triangulasi hasil dilakukan untuk menguji konsistensi dan memperkaya interpretasi temuan lintas pendekatan.

Gambar 1 menampilkan diagram SEM yang merangkum alur kausal penelitian, di mana variabel bebas kapabilitas subkontraktor Engineering (X1), teknologi & aplikasi (X2), dan

Quality Management System/QMS (X3) mempengaruhi pekerjaan detail Engineering sebagai variabel intervening (Z), yang selanjutnya memengaruhi kinerja proyek EPC (Y).

Lokasi dan Konteks Penelitian

Riset dilaksanakan di PT XYZ, perusahaan EPC nasional, mencakup kantor pusat (unit Engineering dan Project Management Office/PMO) serta beberapa proyek EPC yang sedang/atau telah berjalan sebagai objek studi. Data dikumpulkan melalui kuesioner, wawancara, dan studi dokumentasi (baseline schedule, SOP Engineering, laporan audit internal) untuk merumuskan rekomendasi strategis berbasis bukti.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian meliputi 105 tenaga profesional PT XYZ yang terlibat pada pekerjaan detail Engineering (perencana, pelaksana, dan pengendali) (Slamet & Aglis, 2020:11–12). Sampel kuantitatif ditetapkan dengan purposive sampling (Suriani & Jailani, 2023) menggunakan kriteria: pengalaman minimal ≥ 2 tahun di proyek EPC dan keterlibatan langsung dalam proses Engineering/procurement/construction. Dengan rumus Slovin, diperoleh estimasi kebutuhan sampel $n \approx 51,22$; untuk menjamin kekuatan uji, jumlah dibulatkan $n = 52$ responden. Sampel kualitatif dipilih purposif lintas peran hingga mencapai saturasi informasi.

Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui kuesioner skala Likert 1–5 yang mengukur efektivitas perencanaan detail Engineering, akurasi desain, efisiensi koordinasi, dan kinerja proyek (waktu–biaya–mutu). Data kualitatif dihimpun lewat wawancara semi-terstruktur pada informan kunci serta FGD untuk menangkap pemaknaan kolektif dan meminimalkan salah tafsir (Bungin, 2005:131). Data sekunder meliputi baseline, matriks tanggung jawab desain, hasil audit internal, dan standar pelaksanaan Engineering perusahaan.

Narasumber dan Komposisi FGD

Narasumber dipilih berdasarkan posisi strategisnya dalam siklus detail Engineering: Project Manager, Lead Engineering (sipil, mekanikal, elektrikal, instrumentasi), Document Controller, Scheduler/Project Planner, QA/QC, dan Procurement. Untuk memperkaya perspektif, FGD juga mengikutsertakan perwakilan subkontraktor Engineering dan seorang narasumber eksternal (mis. konsultan strategi). Komposisi ini memungkinkan pemetaan keterkaitan antar-disiplin yang menjadi inti temuan kualitatif.

Model Konseptual dan Hipotesis

Model konseptual menempatkan pekerjaan detail Engineering (Z) sebagai mediator antara X1, X2, X3 dan kinerja proyek (Y). Sesuai kebutuhan komparasi model, jalur langsung $X \rightarrow Y$ turut diuji untuk menilai apakah efek utama berjalan melalui mediasi atau tetap signifikan secara langsung. Hipotesis yang diuji mencakup pengaruh langsung ($X \rightarrow Z$; $Z \rightarrow Y$; $X \rightarrow Y$) dan

tidak langsung ($X \rightarrow Z \rightarrow Y$). Berdasar indikasi awal kualitatif, pengaruh langsung X_1 (kapabilitas subkontraktor) dan X_2 (teknologi & aplikasi) terhadap Y diperkirakan lemah/tidak signifikan, namun pengaruh tidak langsung via Z diperkirakan signifikan. Sementara itu, QMS (X_3) dievaluasi baik pada jalur langsung maupun tidak langsung untuk menilai kontribusinya pada mutu implementasi detail Engineering.

Prosedur Analisis (PLS-SEM)

Analisis kuantitatif menggunakan PLS-SEM melalui SmartPLS (versi terbaru), sesuai untuk sampel moderat serta data yang tidak menuntut asumsi distribusi ketat (Ghozali, 2011; Yamin, 2011). Estimasi dilakukan secara iteratif untuk memperoleh weight estimate, path estimate, serta means & location parameters. Evaluasi outer model mencakup convergent validity (loading ideal $\geq 0,70$; AVE $\geq 0,50$) dan discriminant validity (kriteria Fornell-Larcker), serta reliabilitas (Composite Reliability dan Cronbach's Alpha $\geq 0,70$) (Sujaweni, 2014). Evaluasi inner model meliputi R^2 untuk konstruk endogen (Z dan Y), Q^2 (> 0 menandakan relevansi prediktif), dan f^2 untuk kekuatan efek lokal. Signifikansi koefisien jalur diuji dengan bootstrapping (resampling Geisser-Stone) dan $p \leq 0,05$ sebagai batas signifikansi.

Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Validitas isi ditetapkan melalui penilaian pakar EPC guna memastikan relevansi indikator dengan konstruk penelitian. Validitas konstruk diuji lewat loading faktor dan AVE, serta discriminant validity. Reliabilitas instrumen dinilai dari Cronbach's Alpha dan Composite Reliability ($\geq 0,70$ menandakan konsistensi internal memadai) (Sujaweni, 2014). Hasil pengujian ini menjadi prasyarat untuk melanjutkan interpretasi koefisien struktural.

Integrasi Hasil dan Perencanaan Strategi

Temuan kuantitatif-kualitatif diintegrasikan untuk menyusun strategi perbaikan. Tahap input menggunakan Matriks IFE dan EFE guna menilai kekuatan/kelemahan internal serta peluang/ancaman eksternal (David, 2011:176). Tahap pencocokan memanfaatkan TOWS untuk merumuskan alternatif SO-ST-WO-WT yang selaras dengan hasil PLS dan wawasan FGD. Tahap keputusan menerapkan QSPM untuk menilai daya tarik relatif tiap strategi melalui Attractiveness Score (AS) dan Total Attractiveness Score (TAS), lalu menentukan prioritas eksekusi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian instrumen penelitian dilakukan melalui model pengukuran (outer model) untuk menilai hubungan antara variabel laten dan indikatornya, dengan fokus pada validitas konvergen dan reliabilitas. Sebanyak 55 responden mengisi kuesioner yang kemudian dianalisis menggunakan SmartPLS dengan pendekatan Partial Least Squares (PLS). Uji validitas didasarkan pada nilai outer loading masing-masing indikator terhadap variabel laten. Model

penelitian terdiri atas enam variabel, yaitu Kapabilitas Subkontraktor Engineering (X1), Teknologi dan Aplikasi (X2), Quality Management System (QMS) (X3), Pekerjaan Detail Engineering (Z), serta Kinerja Proyek EPC (Y). Secara keseluruhan terdapat 23 dimensi dengan 46 indikator: X1 mencakup 16 indikator, X2 sebanyak 9 indikator, X3 terdiri dari 12 indikator, Z diukur dengan 8 indikator, dan Y memiliki 10 indikator.

Pengujian Structural Equation Modeling (SEM) dengan pendekatan Partial Least Squares (PLS) dilakukan melalui evaluasi outer model dan inner model. Uji validitas konvergen menekankan bahwa indikator dalam satu konstruk harus saling berkorelasi tinggi. Validitas ini dinilai melalui nilai loading factor dan Average Variance Extracted (AVE). Indikator dianggap valid jika memiliki loading factor $>0,70$, meski nilai $0,40-0,70$ masih dapat diterima apabila meningkatkan AVE. Selain itu, nilai AVE harus $>0,50$ agar konstruk dinilai valid. Berdasarkan hasil analisis dengan SmartPLS 3.0, seluruh indikator penelitian memenuhi kriteria validitas konvergen.

Berdasarkan hasil uji outer loading terhadap variabel Kapabilitas Sub Kontraktor *Engineering*, setelah dilakukan pengujian validitas, diperoleh bahwa seluruh indikator pada variabel tersebut memiliki nilai *loading factor* lebih dari $0,70$. Dengan demikian, seluruh indikator tersebut dinyatakan valid dan layak digunakan untuk merepresentasikan konstruk Kapabilitas Sub Kontraktor *Engineering* dalam model penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji outer loading terhadap variabel Teknologi & Aplikasi, setelah dilakukan pengujian validitas, diperoleh bahwa delapan indikator pada variabel tersebut memiliki nilai *loading factor* lebih dari $0,70$. Sedangkan untuk indikator X2.1 memiliki nilai *loading factor* kurang dari $0,70$. Maka dari itu, akan dilakukan uji validitas kembali dengan menghapus indikator tersebut.

Setelah dilakukan uji validitas kembali, terlihat bahwa seluruh indikator telah memenuhi nilai minimum $0,70$. Dengan demikian, seluruh indikator tersebut dinyatakan valid dan layak digunakan untuk merepresentasikan konstruk Teknologi dan Aplikasi dalam model penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji outer loading terhadap variabel *Quality Management System*, setelah dilakukan pengujian validitas, diperoleh bahwa seluruh indikator pada variabel tersebut memiliki nilai loading factor lebih dari $0,70$. Dengan demikian, seluruh indikator tersebut dinyatakan valid dan layak digunakan untuk merepresentasikan konstruk *Quality Management System* dalam model penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji outer loading terhadap variabel Kapabilitas Sub Kontraktor *Engineering*, setelah dilakukan pengujian validitas, diperoleh bahwa seluruh indikator pada variabel tersebut memiliki nilai loading factor lebih dari $0,70$. Dengan demikian, seluruh

indikator tersebut dinyatakan valid dan layak digunakan untuk merepresentasikan konstruk Kapabilitas Sub Kontraktor *Engineering* dalam model penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji *outer loading* terhadap variabel Kinerja Proyek EPC, setelah dilakukan pengujian validitas, diperoleh bahwa delapan indikator pada variabel tersebut memiliki nilai *loading factor* lebih dari 0,70. Sedangkan untuk indikator Y1.3 dan Y1.4 memiliki nilai *loading factor* kurang dari 0,70. Maka dari itu, akan dilakukan uji validitas kembali dengan menghapus indikator tersebut.

Setelah dilakukan uji validitas kembali, terlihat bahwa seluruh indikator telah memenuhi nilai minimum 0,70. Dengan demikian, seluruh indikator tersebut dinyatakan valid dan layak digunakan untuk merepresentasikan konstruk Kinerja Proyek EPC dalam model penelitian ini.

Uji Reliabilitas (*Composite Reliability*)

Selain menguji validitas, evaluasi terhadap model pengukuran (*outer model*) juga mencakup pengujian reliabilitas konstruk, yang bertujuan untuk memastikan bahwa instrumen yang digunakan benar-benar stabil, andal, dan tepat dalam merepresentasikan konstruk yang dimaksud. Dalam pendekatan *Partial Least Squares* (PLS), reliabilitas konstruk yang diukur melalui indikator reflektif dinilai menggunakan *composite reliability*. Suatu konstruk dapat dianggap memiliki reliabilitas yang memadai apabila nilai *composite reliability* maupun Cronbach's alpha melebihi ambang batas minimum 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa indikator yang digunakan memiliki konsistensi internal yang baik dalam menggambarkan konstruksinya. Hasil analisis reliabilitas yang diperoleh melalui aplikasi SmartPLS 3.0 disajikan pada tabel berikut.

Berdasarkan Tabel 8, nilai *composite reliability* seluruh konstruk berada di atas batas minimum (0,5), sehingga dapat disimpulkan bahwa semua indikator bersifat reliabel, konsisten, dan akurat dalam mengukur konstruk penelitian. Selanjutnya, pengujian model struktural (*inner model*) dilakukan untuk menilai kekuatan dan arah hubungan antar konstruk laten. Evaluasi *inner model* meliputi nilai R^2 sebagai indikator kekuatan prediktif, serta nilai Q^2 untuk menilai kemampuan prediksi model. Uji hipotesis kemudian dilakukan melalui analisis *path coefficient*, yang hasilnya dipaparkan pada bagian berikutnya.

Berdasarkan hasil persamaan struktural yang diperoleh, terlihat bahwa hubungan antar variabel memiliki kekuatan yang bervariasi. Kapabilitas Subkontraktor *Engineering* berpengaruh positif namun lemah terhadap Pekerjaan Detail *Engineering* (0,145), sedangkan pengaruh Teknologi dan Aplikasi juga positif tetapi sangat lemah (0,083). Sebaliknya, *Quality Management System* (QMS) menunjukkan pengaruh yang sangat kuat dan signifikan terhadap Pekerjaan Detail *Engineering* dengan koefisien sebesar 0,691.

Pada hubungan langsung dengan Kinerja Proyek EPC, Kapabilitas Subkontraktor Engineering (-0,002) dan Teknologi dan Aplikasi (-0,072) justru menunjukkan pengaruh lemah dengan arah negatif, yang menandakan bahwa peningkatan pada kedua faktor tersebut tidak serta merta meningkatkan kinerja proyek secara langsung. Sementara itu, Quality Management System memberikan pengaruh positif dengan kekuatan moderat (0,300).

Faktor yang paling dominan dalam memengaruhi Kinerja Proyek EPC adalah Pekerjaan Detail Engineering, dengan koefisien jalur sebesar 0,728. Nilai ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan positif, yang berarti semakin baik kualitas pekerjaan detail engineering, semakin signifikan peningkatan kinerja proyek EPC secara keseluruhan.

Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) merupakan nilai yang menggambarkan sejauh mana variabel laten eksogen mampu menjelaskan variabel laten endogen dalam suatu model. Melalui analisis yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS 3.0, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

Hasil uji R Square menunjukkan bahwa variabel Pekerjaan Detail Engineering memiliki nilai sebesar 0,877 atau 87,7%. Nilai ini berada di atas ambang batas 0,75 sehingga termasuk kategori sangat kuat. Artinya, Kapabilitas Subkontraktor Engineering, Teknologi dan Aplikasi, serta Quality Management System secara simultan mampu menjelaskan 87,7% variasi pada Pekerjaan Detail Engineering, sementara 12,3% sisanya dipengaruhi faktor lain di luar model. Untuk variabel Kinerja Proyek EPC, nilai R Square sebesar 0,705 atau 70,5% yang dikategorikan kuat, meskipun tidak setinggi konstruk sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa keempat variabel Kapabilitas Subkontraktor Engineering, Teknologi dan Aplikasi, Quality Management System, dan Pekerjaan Detail Engineering secara bersama-sama menjelaskan 70,5% variasi Kinerja Proyek EPC, sedangkan 29,5% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak diteliti dalam model.

Predictive-Relevance (Q^2)

Hasil pengukuran predictive relevance (Q^2) menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediktif yang sangat baik. Perhitungan menghasilkan nilai Q^2 sebesar 0,9637, yang berarti 96,37% keragaman data pada konstruk endogen, yaitu Pekerjaan Detail Engineering dan Kinerja Proyek EPC, dapat dijelaskan oleh model. Sementara itu, hanya 3,63% dipengaruhi oleh variabel lain di luar model. Karena nilai Q^2 lebih besar dari nol, maka model ini terbukti memiliki relevansi prediktif yang sangat kuat dan layak digunakan untuk analisis struktural.

Pengujian Hipotesis Statistik

Pengujian terhadap hipotesis dalam penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada nilai-nilai yang dihasilkan dari analisis *Structural Equation Modeling* (SEM), dengan mengacu pada

batasan nilai yang telah ditetapkan untuk menguji signifikansi hubungan antar variabel. Adapun hasil pengujian model secara menyeluruh beserta pengujian hipotesis disajikan sebagai berikut:

Perangkat lunak SmartPLS 3.0 menggunakan teknik resampling bootstrap sebagai satu-satunya metode dalam pengujian signifikansi. Batas signifikansi yang dijadikan acuan adalah nilai t sebesar 1,96 pada taraf signifikansi 5% (Ghozali & Latan, 2016:80). Oleh karena itu, suatu konstruk dikatakan memiliki pengaruh yang signifikan apabila nilai t -hitung lebih besar dari 1,96. Ringkasan hasil pengujian hipotesis disajikan pada bagian berikut.

Hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa tidak semua variabel memberikan pengaruh signifikan terhadap Pekerjaan Detail Engineering maupun Kinerja Proyek EPC. Variabel Kapabilitas Subkontraktor Engineering dan Teknologi dan Aplikasi terbukti tidak berpengaruh signifikan baik terhadap Pekerjaan Detail Engineering maupun langsung pada Kinerja Proyek EPC (H1, H2, H4, dan H5 ditolak). Sebaliknya, Quality Management System (QMS) berpengaruh positif dan signifikan, baik terhadap Pekerjaan Detail Engineering (H3 diterima) maupun Kinerja Proyek EPC (H6 diterima).

Selain itu, variabel Pekerjaan Detail Engineering terbukti memiliki pengaruh yang paling kuat dan signifikan terhadap Kinerja Proyek EPC (H7 diterima). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kualitas kinerja proyek EPC terutama ditentukan oleh penerapan sistem manajemen mutu yang baik serta kualitas pekerjaan detail engineering yang optimal, sementara kapabilitas subkontraktor dan pemanfaatan teknologi belum menunjukkan kontribusi signifikan dalam model penelitian ini.

Hubungan Pengaruh Langsung dan Tidak Langsung

Berikut disajikan ringkasan mengenai pengaruh langsung maupun tidak langsung dari variabel Kapabilitas Sub Kontraktor *Engineering*, Teknologi dan Aplikasi, serta *Quality Management System* terhadap Pekerjaan *Detail Engineering* dan Kinerja Proyek EPC.

Hasil analisis pengaruh langsung dan tidak langsung menunjukkan variasi kontribusi antar variabel. Kapabilitas Subkontraktor Engineering berpengaruh langsung sebesar 14,4% terhadap Pekerjaan Detail Engineering, dan secara tidak langsung memberikan pengaruh 10,5% terhadap Kinerja Proyek EPC. Dengan demikian, total pengaruhnya terhadap kinerja proyek mencapai 10%. Teknologi dan Aplikasi hanya berkontribusi 8,2% secara langsung terhadap Pekerjaan Detail Engineering, namun pengaruh totalnya terhadap Kinerja Proyek EPC justru negatif sebesar -0,9% karena adanya pengaruh langsung yang berlawanan arah.

Sementara itu, Quality Management System (QMS) menunjukkan pengaruh yang paling dominan. QMS berkontribusi langsung 69,2% terhadap Pekerjaan Detail Engineering, serta memberikan pengaruh langsung 33,3% dan tidak langsung 35,1% terhadap Kinerja Proyek EPC. Total pengaruh QMS terhadap Kinerja Proyek EPC mencapai 68,4%. Terakhir, Pekerjaan Detail

Engineering sendiri terbukti berpengaruh langsung sebesar 69,6% terhadap Kinerja Proyek EPC, tanpa adanya pengaruh tidak langsung. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa QMS dan Pekerjaan Detail Engineering adalah faktor utama yang menentukan kinerja proyek EPC, sementara kapabilitas subkontraktor dan teknologi memiliki kontribusi yang jauh lebih kecil.

Pembahasan

Kerangka Umum dan Posisi Variabel

Pembahasan ini merujuk pada model konseptual berbasis SEM yang menempatkan Pekerjaan Detail Engineering (DE/Z) sebagai mediator antara tiga variabel eksogen Kapabilitas Subkontraktor Engineering (X1), Teknologi & Aplikasi (X2), dan Quality Management System/QMS (X3) serta Kinerja Proyek EPC (Y). Secara visual, alur kausal ini disajikan pada Gambar 1 (diagram jalur SEM). Hasil kuantitatif selanjutnya ditafsirkan dengan menimbang bukti kualitatif dari FGD, sehingga tercapai triangulasi antara efek langsung dan mekanisme tidak langsung yang berjalan melalui DE.

Kapabilitas Subkontraktor terhadap Pekerjaan Detail Engineering (H1)

Secara statistik, kapabilitas subkontraktor tidak berpengaruh signifikan terhadap DE (koefisien 0,145; $t = 1,530 < 1,96$). Meskipun demikian, FGD menegaskan bahwa subkontraktor berpengalaman tetap krusial bagi kelancaran desain dan pencegahan konflik eksekusi. Kesenjangan ini mengindikasikan bahwa pengaruh X1 terhadap Z tidak muncul sebagai efek langsung, melainkan dimediasi oleh koordinasi lintas fungsi, integrasi sistem, dan kepatuhan prosedur yang belum optimal. Literatur memperkuat temuan ini: keterlibatan dini subkontraktor dapat meningkatkan efisiensi desain dan mencegah konflik di pelaksanaan (Debelo & Weldegebriel, 2022). Dengan demikian, besaran dampak X1 pada Z lebih realistis dipahami melalui saluran proses ketimbang jalur langsung yang diestimasi model.

Teknologi & Aplikasi terhadap Pekerjaan Detail Engineering (H2)

Hasil uji menunjukkan tidak signifikan (koefisien 0,083; $t = 0,687 < 1,96$), meski teknologi seperti BIM, platform kolaborasi digital, dan desain berbasis cloud telah digunakan. FGD memandang BIM paling berpengaruh (clash detection, visualisasi, integrasi data), namun dampak terukurnya pada kualitas DE belum kuat. Hal ini selaras dengan pandangan bahwa teknologi bukan determinan tunggal; keberhasilannya sangat bergantung pada kesiapan SDM, pelatihan, dan integrasi standar di alur kerja (Leksono et al., 2023). Dengan kata lain, X2 cenderung bekerja melalui mekanisme implementasi bukan semata ketersediaan alat sehingga efek langsungnya pada Z menjadi lemah dalam data numerik.

Quality Management System terhadap Pekerjaan Detail Engineering (H3)

Berbeda dari H1–H2, QMS → DE signifikan dan positif (koefisien 0,691; $t = 6,591 > 1,96$). Penerapan QMS memperkuat akurasi, konsistensi, dan efisiensi dokumen teknik, sejalan

dengan temuan bahwa QMS menurunkan risiko kesalahan teknis, mempercepat validasi desain, dan meningkatkan kolaborasi lintas tim (Okonta et al., 2024). Bahkan, integrasi QMS sejak fase desain dilaporkan menurunkan rework dan meningkatkan efisiensi hingga $\pm 25\%$ (Lima et al., 2025). Secara substantif, QMS berfungsi sebagai mekanisme proses yang langsung mengangkat kualitas DE.

Variabel Eksogen terhadap Kinerja Proyek EPC (H4–H7)

Pengaruh Kapabilitas Subkontraktor \rightarrow Kinerja Proyek (H4) tidak signifikan (koefisien $-0,002$; $t = 0,061$). Literatur menunjukkan bahwa kontribusi subkontraktor sering tereduksi oleh lemahnya koordinasi, dominannya keputusan pemilik, atau batasan kontraktual (Sarpin & Ramesh, 2024), sehingga efeknya lebih potensial melalui DE ketimbang langsung ke kinerja. Teknologi & Aplikasi \rightarrow Kinerja Proyek (H5) juga tidak signifikan (koefisien $-0,072$; $t = 0,773$); hasil maksimal teknologi menuntut pelatihan, budaya inovasi, dan infrastruktur terintegrasi (He et al., 2022), yang bila belum matang akan melemahkan dampak ke Y. Sebaliknya, QMS \rightarrow Kinerja Proyek (H6) signifikan (koefisien $0,300$; $t = 3,080$), menegaskan peran QMS sebagai strategi manajerial lintas fase yang menekan rework, meningkatkan efisiensi, dan menjaga capaian kualitas–waktu–biaya (Cheirkhanova et al., 2025). Terakhir, DE \rightarrow Kinerja Proyek (H7) sangat signifikan (koefisien $0,728$; $t = 8,076$), menegaskan bahwa kualitas DE adalah prediktor utama keberhasilan proyek EPC (Yang et al., 2025). Konstelasi ini menguatkan peran mediasi: kontribusi X1 dan X2 terhadap Y terutama mengalir melalui perbaikan DE.

Konfirmasi Melalui FGD

Hasil FGD memvalidasi tiga poin kunci. Pertama, kapabilitas subkontraktor penting, tetapi dampak nyatanya muncul ketika integrasi lintas-disiplin dan koordinasi dikelola baik selaras dengan H1/H4 yang lemah secara langsung. Kedua, BIM dan perangkat 3D/EDMS nyata membantu akurasi dan produktivitas, namun dampak statistiknya melemah jika kesiapan SDM, pelatihan, dan standarisasi integrasi belum memadai selaras H2/H5. Ketiga, QMS dipandang sebagai landasan mutu: review multidisiplin, manajemen perubahan, CAPA, dan audit internal menekan rework serta meningkatkan ketertelusuran. Ringkasnya, mekanisme proses (QMS dan DE) adalah pengungkit agar kapabilitas dan teknologi benar-benar bermuara pada kinerja proyek.

Sintesis Strategis: IFE–EFE, TOWS, dan QSPM

Integrasi hasil kuantitatif–kualitatif dilakukan melalui tiga tahap, yaitu input dengan Matriks IFE dan EFE, matching melalui Matriks TOWS, serta decision menggunakan QSPM. Skor total tertimbang menunjukkan nilai IFE sebesar 2,47 dan EFE sebesar 2,50. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi internal perusahaan berada sedikit di bawah rata-rata,

sementara respons eksternal berada pada tingkat rata-rata. Temuan ini konsisten dengan pola yang terlihat: perusahaan memiliki kekuatan berupa SDM yang terlatih, pengalaman di bidang EPC, serta penggunaan perangkat lunak modern. Namun, kelemahan masih muncul pada aspek kompetensi subkontraktor, koordinasi, dan implementasi Quality Management System (QMS) dalam pekerjaan engineering.

Strategi yang dipetakan menekankan pada adopsi BIM secara menyeluruh, pelatihan terstruktur bagi subkontraktor, penerapan SOP revisi yang terintegrasi secara digital, serta penguatan QMS berbasis digital. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa strategi penguatan kemitraan strategis dan QMS berbasis digital menjadi prioritas utama dengan skor tertinggi, diikuti oleh strategi peningkatan lainnya. Strategi ini sejalan dengan bukti statistik yang menegaskan pentingnya QMS dan kemitraan teknologi sebagai penggerak utama agar kapabilitas subkontraktor dan pemanfaatan teknologi dapat lebih efektif mengalir melalui pekerjaan detail engineering, sehingga berdampak signifikan pada peningkatan kinerja proyek.

Implikasi Teoretis dan Praktis

Secara teoretis, temuan mempertegas peran mediasi proses pada konteks EPC: kapabilitas dan teknologi membutuhkan platform mutu (QMS) dan mekanisme integrasi (DE) untuk menghasilkan kinerja. Secara praktis, manajemen perlu: (i) memprioritaskan QMS pada fase Engineering, (ii) mendigitalisasi SOP dan kontrol revisi, (iii) mengelola portofolio subkontraktor berbasis kinerja dan kesiapan teknologi, serta (iv) meningkatkan literasi BIM dan integrasi alat analitik (mis. CAESAR II, STAAD.Pro) dalam tinjauan multidisiplin.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis strategi manajemen proyek EPC berbasis teknologi di PT XYZ dengan menekankan peran kapabilitas subkontraktor, pemanfaatan teknologi, dan penerapan Quality Management System (QMS) terhadap pekerjaan detail engineering dan kinerja proyek. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapabilitas subkontraktor (X1) tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap pekerjaan detail engineering maupun kinerja proyek EPC. Meskipun demikian, peran subkontraktor tetap krusial secara operasional, khususnya dalam aspek kolaborasi teknis dan keandalan desain, sehingga kontribusinya lebih bersifat tidak langsung melalui koordinasi dan integrasi sistem.

Selanjutnya, teknologi dan aplikasi (X2) juga tidak menunjukkan pengaruh signifikan baik terhadap pekerjaan detail engineering maupun kinerja proyek. Temuan ini menegaskan bahwa keberadaan teknologi semata tidak otomatis meningkatkan produktivitas atau efisiensi biaya, karena keberhasilan transformasi digital sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia, proses pelatihan, dan integrasi sistem yang belum sepenuhnya optimal.

Sebaliknya, QMS (X3) terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan baik terhadap pekerjaan detail engineering maupun kinerja proyek EPC. Penerapan sistem mutu yang konsisten mampu menstandarkan alur kerja, mempercepat validasi desain, serta menurunkan risiko rework dan keterlambatan. Lebih jauh, pekerjaan detail engineering (Z) sendiri menjadi variabel yang paling menentukan, dengan pengaruh signifikan terhadap kinerja proyek EPC. Hasil ini menegaskan bahwa kualitas dokumen teknik dan akurasi desain merupakan fondasi utama dalam menjamin ketercapaian proyek dari sisi waktu, biaya, maupun mutu.

Analisis strategis melalui IFE, EFE, TOWS, dan QSPM juga menunjukkan bahwa strategi paling efektif bagi PT XYZ adalah penguatan kemitraan strategis dan QMS berbasis digital, dengan nilai daya tarik tertinggi. Strategi ini menekankan pentingnya sinergi dengan vendor, adaptasi teknologi digital, serta disiplin mutu internal. Dengan demikian, pekerjaan detail engineering berkontribusi tidak hanya pada kualitas teknis, tetapi juga pada profitabilitas proyek melalui efisiensi waktu dan pengendalian biaya. Konfirmasi dari hasil FGD menegaskan perlunya penguatan kolaborasi antar tim, penyesuaian SOP, dan peningkatan literasi digital untuk mendukung optimalisasi strategi ini.

Saran

Bagi manajemen proyek dan pegawai PT XYZ, hasil penelitian ini menekankan pentingnya adaptasi aktif terhadap teknologi digital seperti BIM dengan evaluasi berkala untuk memastikan manfaatnya terhadap mutu proyek. Internalisasi budaya kerja berbasis SOP dan QMS harus diperkuat, sehingga standar teknis menjadi pedoman utama bagi seluruh lini kerja. Layanan kepada klien dan mitra juga perlu ditingkatkan melalui komunikasi yang transparan dan tanggung jawab bersama, demi memperkuat kepercayaan dan reputasi perusahaan di industri EPC. Selain itu, kemitraan strategis yang telah terjalin dengan vendor teknologi maupun subkontraktor perlu dijaga melalui evaluasi performa berkala, agar transformasi digital dapat berjalan menyeluruh di sepanjang rantai nilai proyek.

Dari sisi akademik, penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan model dengan menambahkan variabel relevan seperti organizational learning, digital leadership, atau project agility guna memperluas pemahaman tentang faktor pendorong keberhasilan proyek berbasis teknologi. Variabel intervening lain, seperti technology acceptance, sustainable innovation, atau digital capability maturity, juga dapat dieksplorasi lebih dalam untuk memahami keterkaitan strategi internal dengan implementasi digital. Selain itu, pendekatan longitudinal akan sangat bermanfaat untuk menilai efektivitas strategi digital dalam jangka panjang dan menangkap dinamika perubahan organisasi menghadapi tantangan teknologi yang semakin kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

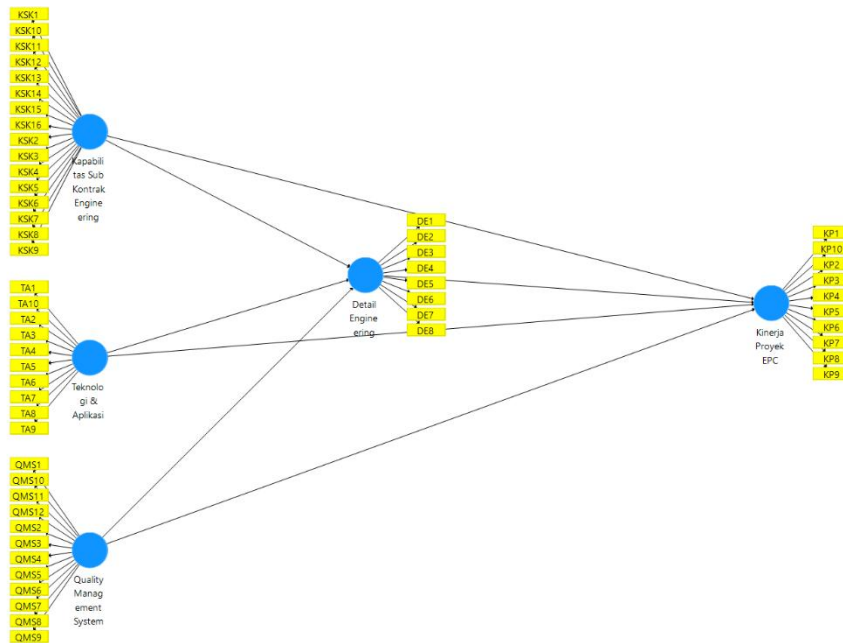
- Adeyemi, A. B., Ohakawa, T. C., Okwandu, A. C., Iwuanyanwu, O., & Ifechukwu, G.-O. (2024). Advanced Building Information Modeling (BIM) for affordable housing projects: Enhancing design efficiency and cost management. *Journal of Building Information Modeling*, 12(1), 45–60.
- Alwi, M., Yunus, K., Fahar, A. A., Kajang, G., & Paelongan, A. (2025). Pengembangan Sistem Manajemen Kualitas Berbasis ISO 9001 di Industri Kecil. *Journal Scientific of Mandalika (JSM) e-ISSN 2745-5955 | p-ISSN 2809-0543*, 6(5), 1262–1271.
- Alzoubi, H. M. (2022). BIM as a tool to optimize and manage project risk management. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7(1).
- Amiri, O., Rahimi, M., Ayazi, A., & Khazaeni, G. (2024). Multi-criteria decision-making model for EPC contractor prequalification: a hybrid approach. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 42(3), 369–385.
- Awan, U. (2020). *Minimum Quality Requirements for EPC Contractors*.
- Baihaqi, I., & Utomo, C. (2024). Causes of Delay in EPC Projects: The Case of Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology*, 14(2).
- Banihashemi, S., Assadimoghadam, A., Hajirasouli, A., LeNguyen, K., & Mohandes, S. R. (2024). Parametric design in construction: a new paradigm for quality management and defect reduction. *International Journal of Construction Management*, 1–18.
- Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A.-S., Peimbert-García, R. E., Ramírez-Moreno, M. A., Ramírez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. de J. (2022). Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review. *Remote Sensing*, 14(6), 1335.
- Cao, P., & Lei, X. (2023). Evaluating Risk in Prefabricated Building Construction under EPC Contracting Using Structural Equation Modeling: A Case Study of Shaanxi Province, China. *Buildings*, 13(6), 1465.
- Cheirkhanova, A., Juman, J., Yezhebekov, M., Makulova, A., Khamzayeva, A., & Zhuman, Y. (2025). The Impact of Customer-Centered Quality Management Systems on Profit and Satisfaction in Construction Companies. *Sustainability*, 17(9), 4190.
- de Assis Dornelles, J., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2022). Smart Working in Industry 4.0: How digital technologies enhance manufacturing workers' activities. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107804.
- Debelo, E. D., & Weldegebriel, Z. B. (2022). Effect of contractor–subcontractor relationship on the performance of construction project: a case study of Dire Dawa construction projects. *American Journal of Civil Engineering*, 10(2), 31–42.
- Deep, S., Gajendran, T., Jefferies, M., Uggina, V. S., & Patil, S. (2024). Influence of subcontractors' "strategic capabilities" on "power", "dependence" and "collaboration": an empirical analysis in the context of procurement decisions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 31(2), 571–592.
- Elete, T. Y., Nwulu, E. O., Erhueh, O. V., Akano, O. A., & Aderamo, A. T. (2024). Impact of front end and detailed design *Engineering* on project delivery timelines and operational efficiency in the energy sector. *International Journal of Engineering Research and Development*, 20(11), 932–950.
- Fan, Z., Liu, Y., & Li, Y. (2023). Research on Collaborative Mechanisms of Railway EPC Project Design and Construction from the Perspective of Social Network Analysis. *Systems*, 11(9), 443.
- Fridkin, S., & Kordova, S. (2022). Examining Criteria for Choosing Subcontractors for Complex and Multi-Systems Projects. *Sustainability*, 14(22).
- Fundin, A., Lilja, J., Lagrosen, Y., & Bergquist, B. (2025). Quality 2030: quality management for the future. *Total Quality Management & Business Excellence*, 36(3–4), 264–280.
- Ghasemi, M., Nejad, M. G., Alsaadi, N., Abdel-Jaber, M., Ab Yajid, M. S., & Habib, M. (2022). Performance measurement and lead-time reduction in epc project-based organizations: a

- mathematical modeling approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 5767356.
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31(1), 2–24.
- He, Z., Wang, G., Chen, H., Zou, Z., Yan, H., & Liu, L. (2022). Measuring the construction project resilience from the perspective of employee behaviors. *Buildings*, 12(1), 56.
- Hu, Y., Wu, L., Li, N., & Zhao, T. (2024). Multi-Agent Decision-Making in Construction Engineering and Management: A Systematic Review. *Sustainability*, 16(16), 7132.
- Huang, J., Fu, X., Chen, X., & Wen, X. (2024). Supply Chain Management for the Engineering Procurement and Construction (EPC) Model: A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 16(22), 9748.
- Huang, J., & Li, S. M. (2024). Data-Driven Analysis of Supply Chain Integration's Impact on Procurement Performance in International EPC Projects. *Sustainability*, 16(23), 10729.
- Ibrahim, A., Zayed, T., & Lafhaj, Z. (2024). Enhancing construction performance: a critical review of performance measurement practices at the project level. *Buildings*, 14(7), 1988.
- Kabirifar, K., & Mojtahedi, M. (2019). The Impact of Engineering, Procurement and Construction (EPC) Phases on Project Performance: A Case of Large-scale Residential Construction Project. *Buildings*, 9(1).
- Keenan, M., & Rostami, A. (2021). The impact of quality management systems on construction performance in the North West of England. *International Journal of Construction Management*, 21(9), 871–883.
- Kerzner, H. (2025). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.
- Khatatbeh, A. A. (2023). Quantifying the impact of ISO 9001 standard on the project and Engineering management and success factors; A case of construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(6), 2564–2581.
- Lee, C.-Y., & Chong, H.-Y. (2021). Influence of prior ties on trust and contract functions for BIM-enabled EPC megaproject performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(7), 4021057.
- Leksono, E., Mandhany, A., Haq, I. N., Pradipta, J., Handre, P., Utama, K., Iskandar, R. F., & Nanda, R. M. (2023). Development of Non-Intrusive Load Monitoring of Electricity Load Classification with Low-Frequency Sampling Based on Support Vector Machine. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 55(2), 109–119.
- Lima, A. B. S. de, Becerra, C. E. T., Feitosa, A. D., Albuquerque, A. P. G. de, Melo, F. J. C. de, & Medeiros, D. D. de. (2025). Effective practices for implementing quality control circles aligned with iso quality standards: insights from employees and managers in the food industry. *Standards*, 5(1), 6.
- Liu, Y., Tang, W., Duffield, C. F., Hui, F. K. P., Zhang, L., Zhang, X., & Kang, Y. (2021). Improving design by partnering in Engineering–procurement–construction (EPC) hydropower projects: A case study of a large-scale hydropower project in China. *Water*, 13(23), 3410.
- Mahajan, A., & Baride, M. (2023). Planning and Contract Management Strategies for Successful EPC Project Execution. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*, D021S036R005.
- Martínez, E., Ezzeddine, A., & de Soto, B. G. (2022). Integrating project delivery and Information Technology: challenges and opportunities. *Lean Construction 4.0*, 275–287.
- Masgode, M. B., Hidayat, A., Laksmi, I. A. C. V., Triatmika, I. N. A., Puspayana, I. P. A. I., Iskandar, A. A., Syarif, M., Rachman, R. M., Herlambang, A. R., & Dirgantara, A. (2024). *Dinamika Industri Konstruksi di Indonesia*. Tohar Media.
- Naibaho, I. Y. (2023). *Keberhasilan Proyek Ketenagalistrikan Berbasis Manajemen Sumber Daya Manusia*. Nas Media Pustaka.

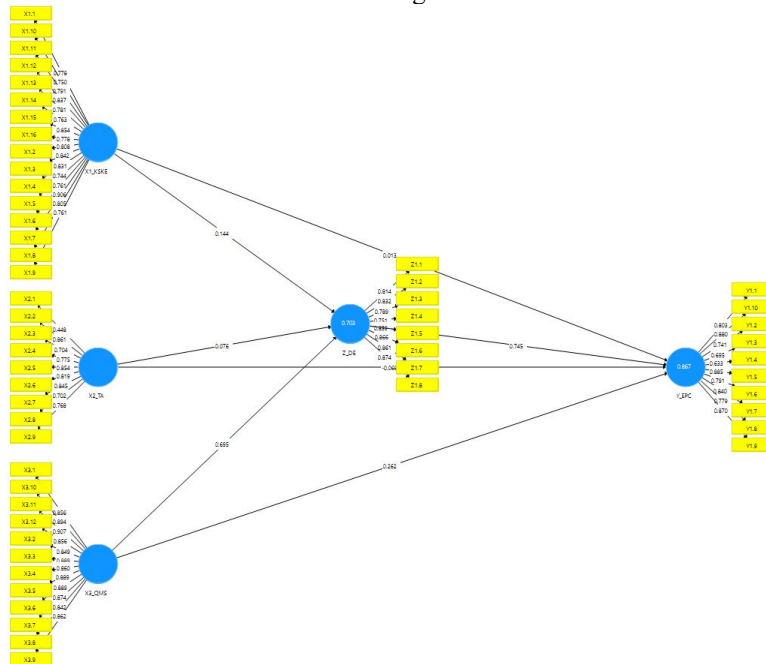
- Nainggolan, H., Nuraini, R., Sepriano, S., Aryasa, I. W. T., Meilin, A., Adhicandra, I., Putri, E., Andiyan, A., & Prayitno, H. (2023). *Green technology innovation: Transformasi teknologi ramah lingkungan berbagai sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Natasasmita, T. U., Herwindiati, D. E., & Anondho, B. (2024). Current Challenges of Multidisciplinary Industrial Construction Projects: A Study of the EPC Design Model on Cost Performance in Indonesia. *Int. J. Struct. Civ. Eng. Res*, 14–23.
- Negara, A. S., Rifai, A., & Shebubakar, A. (2024). Resiko Kontraktual Pelaksanaan Kontrak *Engineering Procurement Construction (EPC)* Dengan Pola Pembiayaan Proyek. *Unes Journal of Swara Justisia*, 8(1), 223–236.
- Nugroho, A., & Fadhilah, M. (2023). Customer-Centric Strategy Dalam Menghadapi Persaingan Perusahaan Jasa Konstruksi. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(4), 316–325.
- Okonta, E. D., Okeke, F. O., Ojelabi, E. T., & Akinola, A. V. (2024). Exploring the Role of quality management practices (QMS) in mitigating Construction Failures and building collapse. *Discover Civil Engineering*, 1(1), 111.
- Olanrewaju, A., Bong, M. Z. X., & Preece, C. (2022). Establishment of pre-qualification criteria for the selection of subcontractors by the prime constructors for building projects. *Journal of Building Engineering*, 45, 103644.
- Pangesti, M. D., Natasha, S. M., & Wahyudi, M. (2024). Relevansi Manajemen Biaya Pada Program R&D Terhadap Risiko Perusahaan. *Jamasy: Jurnal Akuntansi, Manajemen Dan Perbankan Syariah*, 4(6), 51–66.
- Parikesit, D., Amrozi, M. R. F., Rachmawati, F., Utomo, C., Hatmoko, J. U. D., Hermawan, F., Handayani, F. S., Safitri, E., & Hendrawan, V. S. A. (2025). *Ekonomi Teknik: Pembelajaran Berbasis Kasus Proyek*. UGM PRESS.
- Patel, C. S., & Pitroda, J. R. (2021). Quality management system in construction: A review. *Reliability: Theory & Applications*, 16(SI 1 (60)), 121–131.
- Perwira, M. D. A., & Dhini, A. (2023). *Subcontractor Selection Criteria Development on Supply Chain Management in Engineering Procurement Construction Company*. Universitas Indonesia.
- Putra, P. (2025). Pengendalian Waktu Pekerjaan Konstruksi Pembangunan RSUD Dr. Sobirin Kabupaten Musi Rawas: Analysis of Time Control for Construction Work for the Construction of Dr. RSUD. Sobirin, Musi Rawas Regency. *LITERA: Jurnal Ilmiah Mutidisiplin*, 2(1), 154–168.
- Radman, K., Jelodar, M. B., Lovreglio, R., Ghazizadeh, E., & Wilkinson, S. (2022). Digital technologies and data-driven delay management process for construction projects. *Frontiers in Built Environment*, 8, 1029586.
- Rehman, M. S. U., Shafiq, M. T., Thaheem, M. J., & Albattah, M. (2023). A Case Study of Implementing Project Management Processes in EPC Contracts. *EPPM Association*.
- Rumane, A. R. (2024). *Total Quality Management: Applications and Concepts for Construction Projects*.
- Sari, D. P., Ahmad, S. N., Mustika, W., Gustang, A., Harimuswarah, M. R., Hanafie, I. M., Bachtiar, E., Bungin, E. R., Sarie, F., & Rustam, M. S. P. A. (2024). *Manajemen Konstruksi*. TOHAR MEDIA.
- Sarpin, N., & Ramesh, S. (2024). The contribution of subcontractor's performance towards project success: main-contractor perspective. *Journal of International Business, Economics and Entrepreneurship (JIBE)*, 9(1), 12–23.
- Satija, M. P. (2021). *DDC: Teori dan Praktik Klasifikasi Persepuluhan Dewey: Edisi Indonesia dan Asia Tenggara*. Sarana Gracia.
- Shen, Z., Wei, X., Siraj, A., Taneja, S., Fang, L., & Li, Z. (2024). Relationship between quality governance model and performance in EPC projects. *International Journal of Productivity and Performance Management*.
- Sholeh, M. N. (2024). *Manajemen Proyek Konstruksi Modern: Teknologi dan Inovasi*. Deepublish.

- Sholeh, M. N. (2025). *Manajemen Kontrak Proyek Konstruksi*. Universitas Diponegoro.
- Sholeh, M. N., & Fauziyah, S. (2023). *Pengadaan Material Proyek Engineering Procurement Construction*. Pustaka Pranala.
- Singh, J., Ahuja, I. P. S., Singh, H., & Singh, A. (2022). Development and implementation of Autonomous Quality Management System (AQMS) in an automotive manufacturing using Quality 4.0 concept—a case study. *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108121.
- Siregar, B. A. S. (2024). Teknologi BIM (Building Information Modeling) dalam Manajemen Proyek Konstruksi. *Circle Archive*, 1(6).
- Soliman, M., Pesyridis, A., Dalaymani-Zad, D., Gronfula, M., & Kourmpetis, M. (2021). The application of virtual reality in *Engineering* education. *Applied Sciences*, 11(6), 2879.
- Sun, C., Wang, M., & Zhai, F. (2021). Research on the collaborative application of BIM in EPC projects: the perspective of cooperation between owners and general contractors. *Advances in Civil Engineering*, 2021(1), 4720900.
- Suriani, N., & Jailani, M. S. (2023). Konsep populasi dan sampling serta pemilihan partisipan ditinjau dari penelitian ilmiah pendidikan. *IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 24–36.
- Syarif, M., Ariani, I., Sahari, D. D. N. M., & Sari, D. P. (2024). *Hukum Kontrak Konstruksi*. TOHAR MEDIA.
- Tang, Y., Chen, Y., Arditi, D., & Meng, F. (2021). Effects of the general contractor's governance capabilities and project goals on the organizational arrangement of subcontracting. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(5), 1724–1737.
- Tran, H. V. V., & Nguyen, T. A. (2024). A Review of Challenges and Opportunities in BIM Adoption for Construction Project Management. *Engineering Journal*, 28(8), 79–98.
- Umaroh, I. R. I. (2023). Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Kolom Lantai Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pemerintah Daerah Kabupaten Sragen. *Proceeding Science and Engineering National Seminar*, 8(1), 279–284.
- Unnikrishnan, G., & Pratapkumar, V. (2023). *Front End Engineering Design of Oil and Gas Projects: Critical Factors for Project Success: Perspectives, Case Studies, and Lessons*. CRC Press.
- Victory, J., & Indrastuti, I. (2025). Penerapan Building Information Modeling (BIM) Dalam Analisis Biaya Struktur Bangunan (Studi Kasus: Ruko 3 Lantai Regency Piayu). *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 5(1), 16–26.
- Vo, H. M., Yang, J.-B., & Rangasamy, V. (2025). Effective Risk Assessment of Complicated EPC Projects: A Case Study of Wastewater Treatment Plant Projects. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 11(2), 5025001.
- Wang, L., Tao, M., An, X., & Dong, G. (2023). Research on profit-sharing mechanism of IPD projects considering multidimensional fairness preferences and BIM. *Systems*, 11(9), 477.
- Wu, Y., He, X., Cui, T., & Wu, M. (2024). Decision-Making Evaluation and Optimization Strategies for Construction EPC Project Developers Utilizing BIM Technology. *Advances in Civil Engineering*, 2024(1), 6694580.
- Yang, Y., Huang, Z., Chen, Y., Luo, L., & Li, F. (2025). Strategies for optimizing EPC project cost management via analytic hierarchy process: a case study approach. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1–15.
- Zheng, Y., Tang, L. C. M., & Chau, K. W. (2021). Analysis of Improvement of BIM-Based Digitalization in *Engineering*, Procurement, and Construction (EPC) Projects in China. *Applied Sciences*, 11(24).
- Zulkarnaen, W., Fitriani, I., & Yuningsih, N. (2020). Pengembangan Supply Chain Management Dalam Pengelolaan Distribusi Logistik Pemilu Yang Lebih Tepat Jenis, Tepat Jumlah Dan Tepat Waktu Berbasis Human Resources Competency Development Di KPU Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi)*, 4(2), 222-243. <https://doi.org/10.31955/mea.vol4.iss2.pp222-243>.

TABEL DAN GAMBAR



Gambar 1. Diagram SEM



Gambar 2. Model Struktural SEM
(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 1. Faktor Outer Loading Kapabilitas Sub Kontraktor Engineering

Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
X1.1	0,778	0,641	Valid
X1.2	0,808		Valid
X1.3	0,842		Valid
X1.4	0,831		Valid
X1.5	0,744		Valid
X1.6	0,761		Valid

X1.7	0,906		Valid
X1.8	0,805		Valid
X1.9	0,761		Valid
X1.10	0,750		Valid
X1.11	0,791		Valid
X1.12	0,837		Valid
X1.13	0,781		Valid
X1.14	0,763		Valid
X1.15	0,854		Valid
X1.16	0,778		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 2. Outer Loading Teknologi dan Aplikasi

Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
X2.1	0,488	0,581	Tidak Valid
X2.2	0,861		Valid
X2.3	0,704		Valid
X2.4	0,775		Valid
X2.5	0,854		Valid
X2.6	0,819		Valid
X2.7	0,845		Valid
X2.8	0,702		Valid
X2.9	0,768		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 3. Faktor Outer Loading Teknologi dan Aplikasi Setelah Indikator di Hapus

Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
X2.2	0,850	0,635	Valid
X2.3	0,709		Valid
X2.4	0,786		Valid
X2.5	0,853		Valid
X2.6	0,832		Valid
X2.7	0,843		Valid
X2.8	0,716		Valid
X2.9	0,768		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 4. Faktor Outer Loading Quality Management System

Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
X3.1	0,856	0,761	Valid
X3.2	0,849		Valid
X3.3	0,889		Valid
X3.4	0,860		Valid
X3.5	0,889		Valid
X3.6	0,889		Valid
X3.7	0,874		Valid
X3.8	0,842		Valid
X3.9	0,862		Valid
X3.10	0,894		Valid
X3.11	0,907		Valid
X3.12	0,856		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 5. Faktor Outer Loading Detail Engineering

Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
Z1.1	0,814	0,633	Valid

Z1.2	0,832		Valid
Z1.3	0,789		Valid
Z1.4	0,751		Valid
Z1.5	0,859		Valid
Z1.6	0,866		Valid
Z1.7	0,861		Valid
Z1.8	0,874		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 6. Faktor Outer Loading Kinerja Proyek EPC

Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
Y1.1	0,803	0,692	Valid
Y1.2	0,741		Valid
Y1.3	0,695		Tidak Valid
Y1.4	0,633		Tidak Valid
Y1.5	0,885		Valid
Y1.6	0,791		Valid
Y1.7	0,840		Valid
Y1.8	0,779		Valid
Y1.9	0,870		Valid
Y1.10	0,880		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 7. Faktor Outer Loading Kinerja Proyek EPC Setelah Indikator di Hapus

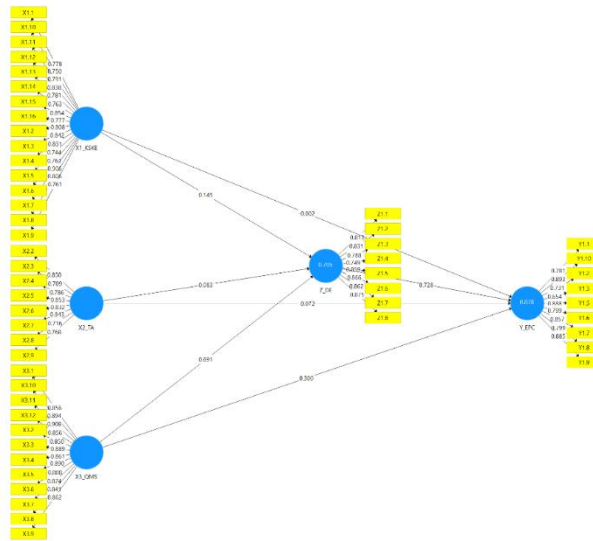
Indikator/Pertanyaan	Faktor Loading	AVE	Keterangan
Y1.1	0,741	0,696	Valid
Y1.2	0,720		Valid
Y1.5	0,891		Valid
Y1.6	0,794		Valid
Y1.7	0,871		Valid
Y1.8	0,815		Valid
Y1.9	0,906		Valid
Y1.10	0,912		Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 8. Composite Reliability

Variabel	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	Keterangan
Kapabilitas Sub Kontraktor Engineering	0,963	0,966	Valid
Teknologi & Aplikasi	0,917	0,933	Valid
Quality Management System	0,971	0,975	Valid
Pekerjaan Detail Engineering	0,936	0,948	Valid
Kinerja Proyek EPC	0,936	0,947	Valid

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

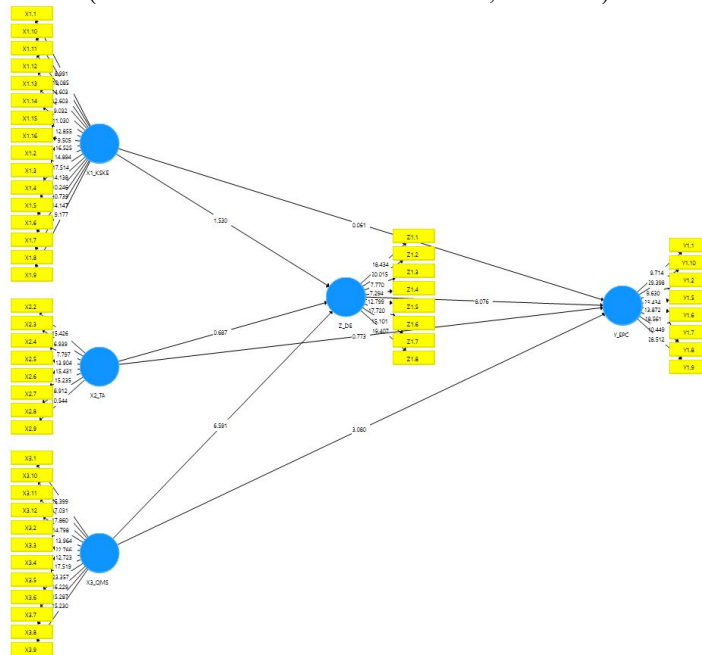


Gambar 3. Full Model Struktural SEM
 (Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 9. Nilai Koefisien Determinasi

Laten Variabel	R Square
Kapabilitas Sub Kontraktor Engineering, Teknologi & Aplikasi, Quality Management System → Pekerjaan Detail Engineering	0,877
Kapabilitas Sub Kontraktor Engineering, Teknologi & Aplikasi, Quality Management System, Pekerjaan Detail Engineering → Kinerja Proyek EPC	0,705

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)



Gambar 4. Final Model Struktural SEM
 (Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 10. Hipotesis Statistik

Variabel	Korelasi	T-Value	T-Tabel	Keterangan
Kapabilitas Sub Kontraktor Engineering → Pekerjaan Detail Engineering	0,145	1,530	1,96	Tidak berpengaruh
Teknologi & Aplikasi → Pekerjaan Detail Engineering	0,083	0,687	1,96	Tidak berpengaruh

<i>Quality Management System</i> → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i>	0,691	6,591	1,96	Berpengaruh
Kapabilitas Sub Kontraktor <i>Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	-0,002	0,061	1,96	Tidak berpengaruh
Teknologi & Aplikasi → Kinerja Proyek EPC	-0,072	0,773	1,96	Tidak berpengaruh
<i>Quality Management System</i> → Kinerja Proyek EPC	0,300	3,080	1,96	Berpengaruh
Pekerjaan <i>Detail Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	0,728	8,076	1,96	Berpengaruh

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)

Tabel 11. Hasil pengaruh Langsung & Tidak Langsung

Pengaruh Langsung		Pengaruh Tidak Langsung		Total
Kapabilitas Sub Kontraktor <i>Engineering</i> → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i>	0,144			0,144
Teknologi & Aplikasi → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i>	0,082			0,082
<i>Quality Management System</i> → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i>	0,692			0,692
Kapabilitas Sub Kontraktor <i>Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	-0,005			-0,005
Teknologi & Aplikasi → Kinerja Proyek EPC	-0,068	Kapabilitas Sub Kontraktor <i>Engineering</i> → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	0,105	-0,009
<i>Quality Management System</i> → Kinerja Proyek EPC	0,333	Teknologi & Aplikasi → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	0,059	0,684
Pekerjaan <i>Detail Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	0,696	<i>Quality Management System</i> → Pekerjaan <i>Detail Engineering</i> → Kinerja Proyek EPC	0,351	0,728

(Sumber: Hasil Olah Data Smart PLS, Juli 2025)