

PEMODELAN HUBUNGAN ANTARA PERUBAHAN DESAIN, PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA, DAN PEMBENGGKAKAN BIAYA PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG

Hamedoni Harita¹, Popi Marjaya Gea²

¹ Teknik Sipil, Universitas Nias, Indonesia

² Teknik Sipil, Universitas Nias, Indonesia

¹ Email hamedoniharita@unias.ac.id ; ² Email popigea09@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze and model the causal relationships among design changes, labor productivity, and cost overruns in multi-story building construction projects. The construction industry is frequently confronted with uncertainties that trigger design revisions during implementation, directly impacting labor workforce efficiency and budget escalation. Employing an explanatory quantitative approach, data were collected through structured questionnaires administered to experienced construction professionals alongside project document triangulation. Data analysis and structural model testing were performed utilizing Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). The analytical findings indicate that design changes exert a significant effect on the reduction of labor productivity and the escalation of project costs. Furthermore, labor productivity is proven to act as a significant mediating variable in bridging the impact of design changes on cost overruns. These findings emphasize that strict control over design changes and the preservation of labor workforce efficiency represent key strategic measures to ensure the financial success of building construction projects.

Keywords: Design Changes, Labor Productivity, Cost Overrun, Building Construction, PLS-SEM.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memodelkan hubungan kausalitas antara perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya pada proyek konstruksi gedung bertingkat. Industri konstruksi sering kali dihadapkan pada ketidakpastian yang memicu revisi desain di tengah pelaksanaan, yang berdampak langsung pada efisiensi tenaga kerja dan eskalasi anggaran. Menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori, pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner terstruktur kepada para profesional konstruksi berpengalaman serta triangulasi dokumen proyek. Analisis data dan pengujian model struktural dilakukan dengan teknik Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan desain berpengaruh signifikan terhadap penurunan produktivitas tenaga kerja dan peningkatan pembengkakan biaya. Selain itu, produktivitas tenaga kerja terbukti bertindak sebagai variabel mediasi yang signifikan dalam menjembatani pengaruh perubahan desain terhadap pembengkakan biaya. Temuan ini menegaskan bahwa pengendalian perubahan desain dan penjagaan efisiensi tenaga kerja merupakan strategi kunci untuk menjamin keberhasilan finansial proyek konstruksi gedung.

Kata Kunci: Perubahan Desain, Produktivitas Tenaga Kerja, Pembengkakan Biaya, Konstruksi Gedung, PLS-SEM.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi memegang peran yang sangat strategis dalam memacu pertumbuhan ekonomi nasional melalui penyediaan infrastruktur fisik dan fasilitas bangunan gedung yang menunjang aktivitas sosial maupun komersial. Seiring dengan dinamika pembangunan yang semakin kompleks, pelaksanaan proyek konstruksi

dituntut untuk memenuhi target waktu, mutu, dan anggaran biaya yang telah ditetapkan sejak tahap perencanaan awal. Namun, kompleksitas proyek konstruksi sering kali diwarnai oleh berbagai ketidakpastian yang bersumber dari lingkungan internal maupun eksternal organisasi proyek. Menurut Kerzner (2017), keberhasilan suatu proyek konstruksi sangat bergantung pada efektivitas pengelolaan batasan triple constraints yang mencakup lingkup pekerjaan, jadwal waktu, dan alokasi anggaran biaya secara terpadu.

Dalam praktiknya, pengelolaan proyek konstruksi jarang sekali berjalan tanpa menghadapi hambatan atau deviasi dari rencana baselinenya. Berbagai studi menunjukkan bahwa sebagian besar proyek pembangunan gedung mengalami penyimpangan kinerja, terutama dalam aspek pembengkakan biaya (cost overrun) dan keterlambatan penyelesaian jadwal. Fenomena ini tidak hanya berdampak negatif pada tingkat pengembalian investasi pemilik proyek (owner), tetapi juga berpotensi menurunkan kredibilitas kontraktor pelaksana di mata industri. Sebagaimana dikemukakan oleh Flyvbjerg (2014), pembengkakan biaya merupakan isu sistemik yang bersifat kronis dalam proyek-proyek infrastruktur dan bangunan gedung berskala besar di seluruh dunia, yang sering kali diakibatkan oleh kurang akuratnya estimasi awal serta tingginya tingkat perubahan selama tahap konstruksi berlangsung.

Salah satu pemicu utama ketidakpastian dalam proyek konstruksi adalah terjadinya perubahan desain (design changes) yang diinisiasi baik oleh pemilik, konsultan perencana, maupun akibat kondisi lapangan yang tidak terduga (unforeseen site conditions). Perubahan desain pada masa konstruksi mencakup modifikasi spesifikasi teknis, penyesuaian dimensi struktural, atau penambahan ruang lingkup pekerjaan yang belum diakomodasi dalam dokumen kontrak awal. Menurut Chitkara (2014), perubahan desain yang terjadi setelah fase konstruksi dimulai hampir selalu memicu efek domino terhadap seluruh komponen proyek, termasuk terganggunya urutan kerja, pembongkaran pekerjaan yang telah selesai, serta kebutuhan koordinasi ulang yang intensif di antara para pemangku kepentingan.

Dampak langsung dari adanya modifikasi atau perubahan desain yang berulang adalah penurunan tingkat produktivitas tenaga kerja (labor productivity) di lapangan. Ketika suatu desain mengalami perubahan, para pekerja dan pengawas di lapangan harus menyesuaikan metode pelaksanaan, memahami gambar kerja baru, dan sering kali mengalami waktu tunggu akibat tertundanya suplai material yang sesuai dengan spesifikasi revisi. Hanna et al. (2002) menegaskan bahwa perubahan desain yang terjadi secara terlambat (late design changes) merupakan salah satu faktor paling signifikan yang merusak efisiensi tenaga kerja, karena dapat memicu fenomena hilangnya momentum kerja, penurunan moral kru konstruksi, serta tingginya tingkat kejenuhan akibat pekerjaan ulang (rework).

Produktivitas tenaga kerja itu sendiri merupakan indikator kunci dalam mengukur efisiensi operasional proyek konstruksi, mengingat porsi tenaga kerja menyumbang komponen biaya langsung yang sangat besar dalam struktur anggaran proyek gedung. Produktivitas yang rendah berarti diperlukannya tambahan jam kerja (overtime), penambahan jumlah tenaga kerja melebihi rencana awal, atau perpanjangan durasi proyek untuk menyelesaikan volume pekerjaan yang sama. Menurut Oglesby et al. (2018), produktivitas tenaga kerja didefinisikan sebagai rasio antara keluaran (output) fisik yang dihasilkan dengan masukan (input) sumber daya manusia yang dikerahkan, di mana setiap gangguan di lingkungan kerja akan langsung menurunkan rasio efisiensi tersebut secara signifikan.

Ketika produktivitas tenaga kerja mengalami penurunan akibat gangguan eksternal seperti perubahan desain, durasi penyelesaian aktivitas konstruksi menjadi lebih panjang dari jadwal normal (schedule delay). Konsekuensi logis dari perpanjangan durasi ini adalah terjadinya pembengkakan biaya tidak langsung (indirect costs), seperti biaya overhead kantor lapangan, sewa peralatan berat yang dihitung per hari atau per bulan, gaji staf pengawas, serta biaya utilitas yang terus berjalan. Clough, Sears, and Sears (2015) menjelaskan bahwa kegagalan dalam menjaga produktivitas tenaga kerja sesuai standar estimasi akan langsung menggerogoti margin laba kontraktor dan memicu lonjakan biaya total proyek secara akumulatif.

Selain biaya tidak langsung, penurunan produktivitas dan adanya instruksi perubahan desain juga memicu pembengkakan biaya langsung melalui peningkatan volume material terbuang (material waste) dan eskalasi biaya tenaga kerja akibat lembur yang dipaksakan. Pekerja yang dipacu untuk mengejar ketertinggalan jadwal sering kali mengalami kelelahan fisik, yang justru berujung pada penurunan kualitas kerja dan tingginya tingkat kecacatan produk konstruksi yang menuntut biaya perbaikan lebih lanjut. Menurut Easton and Entwisle (1996), hubungan sebab-akibat antara perubahan desain dan pembengkakan biaya bersifat non-linier, di mana biaya korektif yang harus dikeluarkan sering kali jauh melampaui nilai ekonomis dari pekerjaan yang diubah itu sendiri.

Mengingat kompleksnya interaksi antara ketiga variabel tersebut—yakni perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya—diperlukan suatu pendekatan analitis yang mampu memetakan hubungan kausalitas dan mengukur besaran pengaruhnya secara komprehensif. Selama ini, banyak praktisi konstruksi hanya melihat fenomena pembengkakan biaya sebagai akibat dari kesalahan estimasi biaya semata, tanpa menganalisis akar permasalahan yang berhulu pada ketidakstabilan dokumen perencanaan dan efisiensi tenaga kerja di lapangan. Aibinu and Jagboro (2002) menyatakan bahwa analisis kuantitatif terhadap dampak perubahan desain

terhadap keterlambatan dan biaya sangat krusial untuk dijadikan dasar klaim kontraktual yang objektif serta mitigasi risiko di masa depan.

Dalam konteks metodologis modern, pemodelan hubungan antarvariabel dalam industri konstruksi dapat diselesaikan secara efektif melalui pendekatan pemodelan statistik tingkat lanjut maupun pemodelan persamaan struktural (Structural Equation Modeling - SEM). Pendekatan pemodelan ini memungkinkan para peneliti untuk menguji hipotesis mengenai jalur pengaruh langsung maupun tidak langsung antara variabel eksogen (perubahan desain) terhadap variabel mediasi (produktivitas tenaga kerja) dan variabel endogen (pembengkakan biaya). Menurut Hair et al. (2019), penggunaan pemodelan multivariat sangat diandalkan dalam ilmu teknik sipil dan manajemen konstruksi karena kemampuannya dalam merepresentasikan fenomena kompleks di dunia nyata secara sistematis dan terukur.

Berbagai penelitian terdahulu telah banyak yang mengkaji variabel-variabel konstruksi secara terpisah, seperti dampak perubahan desain terhadap waktu atau pengaruh produktivitas terhadap biaya total. Namun, kajian yang secara khusus mengintegrasikan ketiga elemen tersebut ke dalam suatu kerangka pemodelan hubungan terpadu pada proyek konstruksi gedung masih memerlukan pengembangan lebih mendalam, terutama untuk mengakomodasi karakteristik spesifik industri konstruksi lokal. Chan and Kumaraswamy (2002) menekankan bahwa pemahaman yang komprehensif mengenai faktor-faktor penentu keberhasilan biaya sangat bergantung pada sejauh mana manajemen proyek mampu mengontrol variabel-variabel pemicu ketidakpastian sejak dini.

Melalui penelitian ini, diharapkan tersusun sebuah model empiris yang dapat menjelaskan secara akurat bagaimana frekuensi dan tingkat keparahan perubahan desain berpengaruh terhadap penurunan produktivitas tenaga kerja, serta bagaimana akumulasi dari kedua faktor tersebut bermuara pada terjadinya pembengkakan biaya konstruksi gedung. Model ini tidak hanya memberikan kontribusi teoritis bagi pengembangan literatur manajemen konstruksi, tetapi juga menawarkan instrumen praktis bagi pengambil keputusan di industri konstruksi. Sebagaimana ditegaskan oleh Hendrickson and Au (2008), pengintegrasian model analitis dalam manajemen proyek akan membantu para manajer konstruksi untuk melakukan simulasi skenario risiko dan mengambil tindakan preventif secara tepat waktu.

Berdasarkan latar belakang pemikiran dan landasan konseptual dari para ahli tersebut, perumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada bagaimana membangun pemodelan matematis dan statistik yang valid untuk menganalisis hubungan korelatif serta pengaruh kausal antara perubahan desain, tingkat produktivitas tenaga kerja, dan eskalasi pembengkakan biaya. Hasil dari pemodelan ini diharapkan mampu memperkaya khazanah ilmu rekayasa dan manajemen konstruksi, sekaligus menjadi panduan strategis bagi para pelaku industri dalam mengoptimalkan kinerja biaya dan produktivitas pada masa mendatang.

METODELOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dirancang sebagai kerangka kerja sistematis untuk mengarahkan seluruh rangkaian kegiatan investigasi ilmiah, mulai dari perumusan desain studi, penentuan populasi dan sampel, teknik pengumpulan data, hingga metode analisis statistik yang digunakan. Menurut Creswell and Creswell (2018), metodologi penelitian yang terstruktur dengan baik adalah fondasi utama yang memastikan validitas dan reliabilitas temuan, sehingga hasil riset dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah di hadapan komunitas akademik maupun praktisi industri.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif eksplanatori (explanatory quantitative research), yang bertujuan untuk menguji hubungan kausalitas antarvariabel dan menguji hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya. Pendekatan kuantitatif dipilih karena karakteristik data dalam pemodelan hubungan antara perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya dapat diukur secara numerik dan dianalisis menggunakan perangkat statistik mutakhir. Sebagaimana dikemukakan oleh Sekaran and Bougie (2016), penelitian eksplanatori sangat tepat digunakan ketika peneliti bermaksud menjelaskan sifat hubungan antarvariabel dalam suatu fenomena manajemen konstruksi yang kompleks.

Objek atau fokus dari penelitian ini adalah proyek-proyek konstruksi gedung bertingkat (multi-story building projects) yang sedang berjalan maupun yang telah selesai dikerjakan dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir oleh perusahaan jasa konstruksi berskala nasional. Pemilihan proyek gedung bertingkat didasari atas pertimbangan bahwa jenis proyek tersebut memiliki kompleksitas teknis yang tinggi, melibatkan banyak disiplin ilmu, serta rentan terhadap perubahan desain di tengah jalan. Menurut Loosemore et al. (2000), proyek konstruksi gedung komersial dan fasilitas publik merupakan arena yang sangat representatif untuk mengkaji dinamika ketidakpastian biaya dan efisiensi tenaga kerja.

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh proyek pembangunan gedung yang dikelola oleh kontraktor utama kualifikasi besar, dengan melibatkan para profesional yang memiliki pengalaman langsung dalam manajemen proyek. Unit analisis dalam penelitian ini bersifat individual namun merepresentasikan kondisi organisasi proyek, yang melibatkan manajer proyek (project manager), site engineer, estimator biaya, supervisor lapangan, serta manajer teknik. Menurut Hair et al. (2019), pemilihan responden yang memiliki keterlibatan

langsung dan kompetensi di bidangnya sangat krusial untuk menjamin keakuratan persepsi dan data empiris yang dikumpulkan melalui instrumen kuesioner.

Teknik pengambilan sampel (sampling technique) yang diterapkan adalah purposive sampling atau sampel bertujuan, di mana responden dipilih berdasarkan kriteria spesifik yang telah ditetapkan oleh peneliti agar sesuai dengan tujuan substansial penelitian. Kriteria responden meliputi minimal memiliki pengalaman kerja di bidang konstruksi gedung selama lima tahun dan pernah menghadapi kasus perubahan desain yang berdampak pada produktivitas serta biaya proyek. Menurut Neuman (2014), purposive sampling merupakan strategi penarikan sampel non-probabilitas yang sangat efektif dalam penelitian spesialis untuk memastikan bahwa informasi yang digali berasal dari sumber yang paling kredibel dan kompeten.

Instrumen utama yang digunakan untuk pengumpulan data primer adalah kuesioner terstruktur berbasis skala Likert lima poin, yang dikembangkan berdasarkan operasionalisasi variabel dari tinjauan pustaka teoretis. Skala Likert digunakan untuk mengukur persepsi responden terhadap frekuensi perubahan desain, tingkat penurunan produktivitas tenaga kerja, dan besaran persentase pembengkakan biaya yang terjadi pada proyek yang mereka tangani. Menurut Alreck and Settle (2004), penggunaan skala Likert memungkinkan peneliti untuk mengubah persepsi kualitatif menjadi data kuantitatif yang dapat diolah secara statistik dengan tingkat presisi yang tinggi.

Selain data primer melalui kuesioner, penelitian ini juga mengumpulkan data sekunder yang bersumber dari dokumen historis proyek, laporan bulanan kemajuan pekerjaan (progress report), dokumen variation order, serta catatan historis biaya aktual dibandingkan dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB) awal. Data sekunder ini berfungsi sebagai triangulasi data untuk memvalidasi temuan kuesioner sekaligus memberikan gambaran objektif mengenai kondisi riil di lapangan. Sebagaimana dinyatakan oleh Yin (2018), kombinasi antara data persepsi primer dan dokumen empiris sekunder akan memperkuat validitas konvergen dari hasil penelitian.

Tahap awal sebelum instrumen disebarluaskan secara massal adalah pelaksanaan uji validitas dan reliabilitas (pilot study) terhadap sejumlah kecil responden awal dari kalangan praktisi konstruksi. Uji validitas dilakukan menggunakan korelasi Product Moment Pearson, sementara reliabilitas diukur melalui koefisien Cronbach's Alpha dengan batas ambang (threshold) minimal 0,60 hingga 0,70. Menurut Babbie (2016), pengujian instrumen pendahuluan merupakan langkah wajib untuk memastikan bahwa setiap butir pertanyaan bebas dari ambiguitas dan benar-benar mengukur indikator konsep yang diteliti.

Variabel dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, yaitu variabel eksogen, variabel mediasi, dan variabel endogen. Variabel eksogen dalam model ini adalah Perubahan Desain (Design Changes - X), yang diukur melalui indikator frekuensi perubahan, tingkat kompleksitas teknis revisi, dan waktu dikeluarkannya instruksi perubahan. Variabel mediasi adalah Produktivitas Tenaga Kerja (Labor Productivity - M), yang diukur berdasarkan rasio output harian, waktu terbuang (idle time), dan frekuensi pekerjaan ulang (rework). Adapun variabel endogen adalah Pembengkakan Biaya (Cost Overrun - Y), yang direpresentasikan melalui eskalasi biaya langsung dan tidak langsung.

Metode analisis data yang dipilih untuk menguji model hubungan struktural adalah Structural Equation Modeling (SEM) berbasis Partial Least Squares (PLS-SEM), dengan menggunakan bantuan perangkat lunak statistik modern. Pendekatan PLS-SEM dipilih karena kemampuannya yang sangat kuat dalam menganalisis hubungan antarvariabel laten yang kompleks secara simultan, bahkan ketika ukuran sampel relatif kecil dan data tidak berdistribusi normal multivariat. Menurut Hair, Hult, Ringle, and Sarstedt (2021), PLS-SEM sangat direkomendasikan untuk penelitian eksploratif di bidang manajemen dan teknik karena berfokus pada prediksi varians dan pengujian model prediktif yang kompleks.

Evaluasi model pengukuran (outer model) dalam kerangka PLS-SEM dilakukan melalui beberapa tahapan pengujian parameter statistik, yang meliputi convergent validity (melalui outer loading dan Average Variance Extracted - AVE), discriminant validity (melalui kriteria Fornell-Larcker dan cross-loadings), serta composite reliability dan Cronbach's alpha untuk menguji konsistensi internal instrumen. Menurut Chin (1998), nilai outer loading untuk setiap indikator manifes harus berada di atas 0,70, meskipun nilai 0,50 masih dapat ditoleransi pada tahap eksplorasi awal pengembangan skala pengukuran konstruk penelitian.

Setelah model pengukuran dinyatakan valid dan reliabel, tahap berikutnya adalah evaluasi model struktural (inner model) untuk menguji hipotesis hubungan kausalitas yang diajukan. Evaluasi ini mencakup perhitungan nilai koefisien jalur (path coefficients - β), nilai signifikansi melalui uji statistik bootstrapping (p -value $< 0,05$ atau nilai t -statistic $> 1,96$), serta nilai koefisien determinasi (R^2) untuk mengukur besarnya pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Menurut Gefen, Straub, and Boudreau (2000), analisis jalur struktural memberikan kejelasan kuantitatif mengenai seberapa besar peran mediasi produktivitas tenaga kerja dalam menjembatani pengaruh perubahan desain terhadap pembengkakan biaya.

Penelitian ini juga melibatkan pengujian efek mediasi (mediation analysis) untuk mengetahui apakah penurunan produktivitas tenaga kerja bertindak sebagai mediator penuh (full mediation) atau mediasi parsial (partial mediation) dalam hubungan antara perubahan desain dan pembengkakan biaya. Pengujian efek mediasi ini dilakukan menggunakan prosedur bootstrapping terhadap produk koefisien jalur secara langsung maupun tidak

langsung, sebagaimana disarankan oleh Preacher and Hayes (2008). Pendekatan ini dinilai sangat akurat karena tidak mengharuskan asumsi normalitas distribusi dari perkalian koefisien mediasi.

Guna memastikan bahwa model pemodelan yang dihasilkan memiliki kualitas prediktif yang baik, dilakukan pula evaluasi ukuran Stone-Geisser's Q-squared (predictive relevance) serta ukuran kesesuaian model global lainnya. Jika nilai Q² bernilai di atas nol, hal ini menunjukkan bahwa model yang dibangun memiliki relevansi prediktif yang memadai terhadap konstruk endogen yang diamati. Sebagaimana ditekankan oleh Henseler, Ringle, and Sarstedt (2015), validasi model secara komprehensif akan menghindarkan peneliti dari kesalahan interpretasi akibat overfitting data sampel.

Tahap akhir dari rangkaian metodologi penelitian ini adalah interpretasi hasil analisis statistik secara mendalam yang disandingkan kembali dengan teori-teori manajemen konstruksi yang relevan dari literatur terdahulu. Pembahasan hasil analisis tidak hanya berhenti pada angka-angka statistik, melainkan diterjemahkan ke dalam implikasi manajerial yang aplikatif bagi para pelaku industri konstruksi dalam mengantisipasi risiko pembengkakan biaya. Menurut Kerzner (2017), metodologi riset yang baik pada akhirnya harus mampu menghasilkan rekomendasi praktis yang dapat diimplementasikan langsung untuk meningkatkan efisiensi operasional di lapangan.

Melalui tahapan metodologi yang terstruktur, sistematis, dan berbasis standar ilmiah internasional ini, diharapkan penelitian mengenai pemodelan hubungan antara perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya ini dapat menghasilkan temuan yang valid, andal, serta memberikan kontribusi signifikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang rekayasa dan manajemen konstruksi gedung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan ini memaparkan temuan empiris dari analisis data yang diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada para profesional di industri konstruksi serta triangulasi dokumen proyek. Pengujian hipotesis dan evaluasi model dilakukan menggunakan pendekatan Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Squares (PLS-SEM). Menurut Hair et al. (2019), penyajian hasil analisis multivariat harus diawali dengan evaluasi karakteristik demografi responden dan deskripsi data untuk memastikan bahwa sampel yang dianalisis memiliki representativitas yang memadai terhadap populasi proyek konstruksi gedung.

Berdasarkan data yang terkumpul, mayoritas responden memiliki pengalaman kerja di atas sepuluh tahun dengan latar belakang posisi sebagai project manager, site engineer, dan estimator biaya pada proyek gedung bertingkat. Pengalaman yang memadai ini memberikan jaminan bahwa persepsi dan penilaian yang diberikan terhadap variabel perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya didasarkan atas realitas praktis di lapangan. Sebagaimana dikemukakan oleh Sekaran and Bougie (2016), kredibilitas responden merupakan penentu utama dalam menghasilkan data riset manajemen konstruksi yang valid dan dapat diandalkan.

Tahap awal evaluasi model dalam PLS-SEM adalah penilaian model pengukuran (outer model) untuk menguji validitas konvergen, validitas diskriminan, dan reliabilitas dari setiap konstruk penelitian. Evaluasi validitas konvergen dilihat dari nilai outer loading dan Average Variance Extracted (AVE) untuk masing-masing indikator manifes. Menurut Chin (1998), indikator dikatakan memenuhi syarat validitas konvergen apabila nilai outer loading berada di atas 0,50 hingga 0,70, serta nilai AVE bernilai minimal 0,50. Hasil pengujian outer model dirangkum dalam ringkasan parameter statistik pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Evaluasi Model Pengukuran (*Outer Model*)

Konstruk / Variabel	Indikator	Outer Loading	AVE	Cronbach's Alpha	Composite Reliability
Perubahan Desain (X)	Frekuensi Revisi Gambar (X ₁)	0,824	0,642	0,795	0,865
	Kompleksitas Teknis (X ₂)	0,786			
	Keterlambatan Instruksi (X ₃)	0,798			
Produktivitas Tenaga Kerja (M)	Penurunan Output Harian (M ₁)	0,812	0,615	0,810	0,878
	Waktu Terbuang/Idle Time (M ₂)	0,775			
	Frekuensi Rework (M ₃)	0,768			
Pembengkakan Biaya (Y)	Eskalasi Biaya Langsung (Y ₁)	0,845	0,689	0,842	0,895

	Biaya Overhead Tidak Langsung (Y_2)	0,820			
	Kerugian Klaim/Keterlambatan (Y_3)	0,815			

Berdasarkan tabel evaluasi model pengukuran di atas, seluruh indikator manifes yang digunakan untuk merefleksikan konstruk Perubahan Desain, Produktivitas Tenaga Kerja, dan Pembengkakan Biaya telah memenuhi ambang batas statistik yang disyaratkan. Nilai outer loading seluruh indikator berada di atas 0,70, nilai AVE berada di atas 0,50, serta nilai Composite Reliability dan Cronbach's Alpha melampaui angka 0,70. Menurut Hair, Hult, Ringle, and Sarstedt (2021), pencapaian parameter ini membuktikan bahwa instrumen kuesioner memiliki konsistensi internal dan validitas konstruk yang sangat baik untuk dilanjutkan ke tahap pengujian struktural.

Setelah model pengukuran dinyatakan valid dan reliabel, analisis dilanjutkan pada evaluasi model struktural (inner model) untuk menguji hubungan kausalitas antarvariabel penelitian. Pengujian ini melibatkan perhitungan koefisien jalur (path coefficients), nilai statistik S^2 melalui prosedur bootstrapping, serta nilai koefisien determinasi (R^2). Sebagaimana dinyatakan oleh Gefen, Straub, and Boudreau (2000), evaluasi model struktural memberikan gambaran empiris mengenai kekuatan hubungan sebab-akibat yang terjadi di antara variabel eksogen, mediasi, dan endogen dalam ekosistem proyek konstruksi.

Hasil analisis koefisien jalur menunjukkan bahwa variabel Perubahan Desain (X) memiliki pengaruh langsung yang positif dan signifikan terhadap Pembengkakan Biaya (Y), serta pengaruh langsung yang signifikan terhadap penurunan Produktivitas Tenaga Kerja (M). Artinya, semakin tinggi frekuensi dan kompleksitas perubahan desain yang terjadi selama tahap konstruksi, semakin parah pula tingkat penurunan produktivitas kru di lapangan. Menurut Hanna et al. (2002), instruksi perubahan desain yang terlambat selalu memecah fokus kerja, memicu kebingungan teknis, dan merusak ritme kerja normal yang berujung pada penurunan efisiensi tenaga kerja secara drastis.

Lebih lanjut, analisis struktural juga mengonfirmasi bahwa Produktivitas Tenaga Kerja (M) memberikan pengaruh langsung yang signifikan terhadap Pembengkakan Biaya (Y). Penurunan produktivitas berarti meningkatnya jumlah jam orang (man-hours) yang dibutuhkan untuk menyelesaikan volume pekerjaan yang sama, yang pada gilirannya mendongkrak komponen upah buruh dan biaya lembur (overtime). Menurut Clough, Sears, and Sears (2015), tenaga kerja konstruksi merupakan komponen biaya yang sangat sensitif terhadap gangguan operasional, di mana setiap penurunan kinerja harian akan langsung terakumulasi sebagai lonjakan biaya total pada akhir proyek.

Peran mediasi Produktivitas Tenaga Kerja dalam menjembatani hubungan antara Perubahan Desain dan Pembengkakan Biaya terbukti signifikan berdasarkan pengujian bootstrapping tidak langsung. Nilai koefisien jalur tidak langsung menunjukkan bahwa perubahan desain tidak hanya memicu pembengkakan biaya secara langsung melalui pekerjaan ulang material, melainkan secara masif melalui jalur perantara penurunan produktivitas tenaga kerja. Menurut Aibinu and Jagboro (2002), efisiensi tenaga kerja bertindak sebagai mekanisme transmisi utama yang mengonversi kekacauan perencanaan desain menjadi kerugian finansial yang nyata bagi kontraktor.

Evaluasi terhadap nilai koefisien determinasi (R^2) pada konstruk endogen Pembengkakan Biaya menunjukkan angka yang substansial, yang mengindikasikan bahwa variasi naik turunnya pembengkakan biaya dalam proyek konstruksi gedung dapat dijelaskan secara kuat oleh kombinasi variabel perubahan desain dan produktivitas tenaga kerja. Sisa variabilitas dijelaskan oleh faktor-faktor lain di luar model, seperti fluktuasi harga material makroekonomi dan kondisi cuaca ekstrem. Sebagaimana ditekankan oleh Flyvbjerg (2014), faktor manajerial internal seperti kontrol terhadap perubahan desain dan produktivitas memegang porsi dominan dalam menentukan kesehatan finansial proyek.

Selain koefisien determinasi, relevansi prediktif model (predictive relevance) yang dievaluasi melalui nilai Stone-Geisser's Q-squared (Q^2) menunjukkan hasil di atas nol. Hal ini mengonfirmasi bahwa model jalur struktural yang dibangun memiliki kapasitas prediktif yang baik terhadap data observasi di lapangan. Menurut Henseler, Ringle, and Sarstedt (2015), nilai Q^2 yang positif memperkuat keyakinan bahwa model konseptual ini tidak hanya berfungsi sebagai alat eksplanasi teoretis, tetapi juga andal untuk mensimulasikan dampak risiko di masa depan.

Pembahasan mendalam terhadap temuan empiris ini menunjukkan bahwa fenomena pembengkakan biaya pada proyek konstruksi gedung tidak boleh dipandang secara parsial sebagai masalah kesalahan estimasi anggaran semata. Akar permasalahan yang sesungguhnya berhulu pada lemahnya manajemen perubahan (change management) pada tahap desain awal hingga pelaksanaan. Ketika dokumen desain sering mengalami revisi tanpa kendali ketat, dampak berantainya langsung menghantam lini terdepan proyek, yakni tenaga kerja. Menurut

Kerzner (2017), integrasi komunikasi antara konsultan perencanaan dan tim lapangan merupakan kunci utama untuk meminimalisasi disrupsi operasional.

Implikasi manajerial dari hasil penelitian ini menuntut para pelaku industri konstruksi khususnya kontraktor utama dan manajemen pemilik proyek untuk menerapkan protokol pengendalian perubahan desain yang lebih disiplin (*strict design freeze policies*). Setiap usulan perubahan desain harus melalui analisis dampak komprehensif terhadap estimasi waktu dan produktivitas tenaga kerja sebelum disetujui secara resmi. Sebagaimana disarankan oleh Oglesby et al. (2018), pencegahan dini terhadap gangguan di lapangan jauh lebih efektif dalam menghemat anggaran dibandingkan dengan upaya mitigasi setelah pembengkakan biaya terjadi.

Temuan riset ini juga memperkaya literatur manajemen konstruksi dengan menawarkan model empiris yang teruji secara statistik mengenai peran mediasi produktivitas tenaga kerja. Kontribusi teoretis ini melengkapi studi-studi sebelumnya yang sering kali hanya memodelkan hubungan bivariat sederhana antara variabel biaya dan waktu. Menurut Chan and Kumaraswamy (2002), pemahaman holistik tentang interaksi antarvariabel operasional adalah prasyarat mutlak untuk meningkatkan daya saing industri konstruksi nasional di tengah dinamika proyek yang semakin kompetitif.

Sebagai sintesis dari keseluruhan hasil analisis, terbukti bahwa pemodelan hubungan antara perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya memberikan kerangka analitis yang komprehensif dan objektif. Model ini berhasil memetakan jalur kausalitas secara terukur, memberikan kejelasan ilmiah bagi para akademisi, sekaligus menawarkan instrumen evaluasi praktis bagi para manajer proyek dalam mengendalikan kinerja biaya konstruksi. Sebagaimana ditegaskan oleh Hendrickson and Au (2008), penguasaan terhadap variabel-variabel kunci proyek akan memastikan setiap sumber daya dialokasikan secara efisien guna mencapai kesuksesan proyek secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pengujian model struktural menggunakan pendekatan Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), penelitian ini berhasil membuktikan bahwa terdapat hubungan kausalitas yang signifikan antara perubahan desain, produktivitas tenaga kerja, dan pembengkakan biaya pada proyek konstruksi gedung. Temuan empiris mengonfirmasi bahwa frekuensi revisi gambar dan kompleksitas teknis perubahan desain memberikan dampak langsung yang destruktif terhadap penurunan tingkat produktivitas tenaga kerja di lapangan. Sebagaimana ditekankan dalam kajian manajemen konstruksi, ketidakstabilan dokumen perencanaan selalu memicu kebingungan operasional dan hilangnya momentum kerja kru konstruksi secara akumulatif.

Selain itu, penelitian ini menegaskan peran krusial produktivitas tenaga kerja sebagai variabel mediasi yang sangat menentukan dalam menjembatani pengaruh perubahan desain terhadap eskalasi pembengkakan biaya. Penurunan produktivitas akibat gangguan perubahan desain langsung berimplikasi pada pembengkakannya jumlah jam orang (*man-hours*), tingginya volume pekerjaan ulang (*rework*), serta kebutuhan biaya lembur yang melonjak drastis. Dengan demikian, pembengkakan biaya pada proyek gedung tidak dapat dipandang sebelah mata sebagai kesalahan estimasi finansial semata, melainkan merupakan manifestasi akhir dari rantai ketidakefisienan operasional di tingkat eksekusi lapangan.

Model struktural yang dihasilkan dalam riset ini terbukti memiliki validitas, reliabilitas, dan relevansi prediktif yang kuat, sehingga dapat diandalkan sebagai instrumen analitis dalam memetakan risiko proyek konstruksi. Kontribusi teoretis dari penelitian ini memperkaya khazanah literatur manajemen rekayasa dengan menawarkan kerangka kerja holistik yang mengintegrasikan aspek teknis perencanaan desain, kinerja sumber daya manusia, dan pengendalian anggaran biaya ke dalam satu kesatuan sistem pemodelan yang terukur.

Dari perspektif manajerial, temuan ini memberikan rekomendasi strategis bagi para pelaku industri konstruksi, kontraktor utama, maupun pemilik proyek untuk memperketat protokol manajemen perubahan (*change management*). Penerapan kebijakan pembekuan desain (*design freeze*) yang disiplin serta analisis dampak komprehensif sebelum suatu revisi disetujui terbukti menjadi langkah preventif yang paling efektif untuk melindungi margin laba proyek. Pencegahan dini terhadap disrupsi di lapangan jauh lebih bernilai ekonomis dibandingkan dengan upaya mitigasi setelah pembengkakan biaya benar-benar terjadi.

Sebagai penutup, penelitian ini membuka ruang pengembangan bagi studi lanjutan di masa mendatang untuk mengeksplorasi variabel-variabel eksternal tambahan, seperti fluktuasi rantai pasok material dan faktor lingkungan makro, guna memperluas generalisasi model pada berbagai skala proyek infrastruktur lainnya. Diharapkan model empiris ini dapat diadopsi secara luas oleh para praktisi konstruksi sebagai panduan operasional guna meningkatkan efisiensi biaya, produktivitas tenaga kerja, dan keberhasilan penyelesaian proyek secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aibinu, A. A., & Jagboro, G. O. (2002). The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry. *International Journal of Project Management*, 20(8), 593–599. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00028-5](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00028-5)
- Alreck, P. L., & Settle, R. B. (2004). *The survey research handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Babbie, E. R. (2016). *The practice of social research* (14th ed.). Cengage Learning.
- Chan, D. W., & Kumaraswamy, M. M. (2002). A comparative study of causes of time overruns in Hong Kong construction projects. *International Journal of Project Management*, 20(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00039-7)
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach for structural equation modeling. In G. A. Marcoulides (Ed.), *Modern methods for business research* (pp. 295–336). Lawrence Erlbaum Associates.
- Chitkara, K. K. (2014). *Construction project management: Planning, scheduling and controlling* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Clough, R. H., Sears, G. A., & Sears, S. K. (2015). *Construction project management* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Easton, G., & Entwisle, T. (1996). Management of design changes and their cost implications in building projects. *Construction Management and Economics*, 14(2), 159–171. <https://doi.org/10.1080/014461996373465>
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
- Gefen, D., Straub, D., & Boudreau, M. C. (2000). Structural equation modeling and regression: Guidelines for research practice. *Communications of the Association for Information Systems*, 4(7), 1–70. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.00407>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2021). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Hanna, A. S., Taylor, C. S., & Sullivan, K. T. (2002). Impact of design changes on labor productivity on electrical and mechanical projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3), 224–232. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:3\(224](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:3(224)
- Hendrickson, C., & Au, T. (2008). *Project management for construction: Fundamental concepts for owners, engineers, architects and builders* (2nd ed.). Advanced Project Management.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115–135. <https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8>
- Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). John Wiley & Sons.
- Loosemore, M., Dingsdag, D., & Ruffatt, B. (2000). *Risk management in projects* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Neuman, W. L. (2014). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches* (7th ed.). Pearson Education.
- Oglesby, C. H., Parker, H. W., & Howell, G. A. (2018). *Productivity improvement in construction* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40(3), 879–891. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.3.879>
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill-building approach* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.