



Manajemen Waktu Proyek Duplikasi Jembatan Akibat Durasi Pelaksanaan Uji Lapangan dan Waktu Tunggu Hasil

Didit Darmawan^{1*}, Rico Dicky Afrijal²

¹⁻² Universitas Sunan Giri Surabaya, Indonesia

Email: dr.diditdarmawan@gmail.com^{1*}, rikodicky790@gmail.com²

*Penulis Korespondensi: dr.diditdarmawan@gmail.com

Abstract. Field testing duration in bridge duplication projects affects the construction schedule through critical path determination, laboratory waiting time, and the potential need for retesting. Soil testing for foundation works and concrete mix testing for superstructure components consistently appear on critical activities that require close managerial attention. This study discusses how field and laboratory testing influence project time performance and identifies practical strategies to reduce delay risks. Management approaches that balance the need for accurate technical data with project completion targets include activity overlapping, rapid testing technologies, critical chain scheduling, and coordination among field teams, laboratories, consultants, and design teams. Contractual risk allocation clauses and variability-based contingency planning are important to manage uncertainty during testing activities. Seasonal weather factors must be incorporated into testing schedules because rainfall and site conditions can affect sampling and test execution. Retesting can be minimized through preliminary testing, certified material sources, and quality control. Testing-related delays may also affect contractor cash flow through milestone payment mechanisms.

Keywords: Bridge Construction; Field Testing; Project Scheduling; Quality Control; Waiting Time.

Abstrak. Durasi pengujian lapangan dalam proyek duplikasi jembatan memengaruhi jadwal konstruksi melalui penentuan jalur kritis, waktu tunggu laboratorium, dan potensi kebutuhan pengujian ulang. Pengujian tanah untuk pekerjaan pondasi dan pengujian campuran beton untuk komponen struktur atas secara konsisten muncul pada aktivitas kritis yang membutuhkan perhatian manajerial yang cermat. Studi ini membahas bagaimana pengujian lapangan dan laboratorium memengaruhi kinerja waktu proyek dan mengidentifikasi strategi praktis untuk mengurangi risiko keterlambatan. Pendekatan manajemen yang menyeimbangkan kebutuhan akan data teknis yang akurat dengan target penyelesaian proyek meliputi tumpang tindih aktivitas, teknologi pengujian cepat, penjadwalan rantai kritis, dan koordinasi antar tim lapangan, laboratorium, konsultan, dan tim desain. Klausul alokasi risiko kontraktual dan perencanaan kontingensi berbasis variabilitas penting untuk mengelola ketidakpastian selama kegiatan pengujian. Faktor cuaca musiman harus dimasukkan ke dalam jadwal pengujian karena curah hujan dan kondisi lokasi dapat memengaruhi pengambilan sampel dan pelaksanaan pengujian. Pengujian ulang dapat diminimalkan melalui pengujian pendahuluan, sumber material bersertifikat, dan pengendalian mutu. Keterlambatan terkait pengujian juga dapat memengaruhi arus kas kontraktor melalui mekanisme pembayaran berdasarkan pencapaian target.

Kata kunci: Construction Jembatan; Pengendalian Mutu; Penjadwalan Proyek; Uji Lapangan; Waktu Tunggu.

1. PENDAHULUAN

Proyek duplikasi jembatan merupakan pekerjaan infrastruktur yang kompleks karena melibatkan pembangunan struktur baru di samping struktur eksisting yang tetap beroperasi. Kegiatan uji lapangan menjadi bagian krusial dalam proyek semacam ini untuk memverifikasi parameter desain, menilai kondisi tanah dasar, serta menguji material konstruksi sebelum pelaksanaan skala penuh. Uji lapangan meliputi uji beban pada pondasi, uji kepadatan tanah, uji kuat tekan beton, serta uji tarik baja tulangan yang semuanya memerlukan waktu pelaksanaan dan waktu tunggu hasil dari laboratorium (Alam & Rezaul, 2020). Faktor kualitas material memang menjadi kunci utama karena kekokohan sebuah bangunan sangat bergantung pada mutu

bahan yang digunakan serta nilai ekonomisnya (Djaelani, Judiono, Darmawan, & Amri, 2022). Durasi setiap pengujian bervariasi, mulai dari beberapa jam untuk uji sederhana hingga beberapa minggu untuk uji yang memerlukan perawatan sampel atau pengiriman ke laboratorium luar kota. Waktu tunggu hasil uji seringkali menjadi faktor yang tidak pasti karena tergantung pada beban kerja laboratorium, ketersediaan peralatan, serta kebutuhan pengujian ulang jika hasil awal tidak memenuhi spesifikasi. Situasi yang penuh ketidakpastian ini menuntut manajer proyek untuk memiliki cara kerja yang teratur agar setiap risiko bisa ditangani dengan baik (da Silva *et al.*, 2022). Ketidakpastian ini menciptakan tantangan bagi manajer proyek yang harus menyusun jadwal kegiatan konstruksi dengan target penyelesaian yang telah ditetapkan dalam kontrak. Keterlambatan dalam memperoleh hasil uji lapangan dapat menyebabkan mundurnya jadwal pekerjaan berikutnya yang bergantung pada persetujuan hasil uji tersebut. Di sisi lain, memaksakan percepatan uji lapangan dengan mengurangi prosedur atau mengabaikan pengujian tertentu berisiko menghasilkan data yang tidak akurat, yang selanjutnya dapat membahayakan keselamatan struktur jembatan. Keseimbangan antara kebutuhan data akurat dan target penyelesaian proyek menjadi permasalahan sentral dalam manajemen waktu proyek duplikasi jembatan.

Uji lapangan pada proyek duplikasi jembatan memiliki karakteristik yang berbeda dengan proyek konstruksi gedung karena lokasi pekerjaan yang sering berada di atas air atau di lembah sungai (Yang *et al.*, 2022). Akses ke lokasi uji mungkin terbatas, terutama saat musim hujan ketika jalan menuju lokasi menjadi sulit dilalui. Peralatan uji yang berat harus diangkut dengan kendaraan khusus, dan dalam beberapa kasus, helikopter diperlukan untuk menjangkau lokasi terpencil. Kondisi cuaca juga sangat mempengaruhi pelaksanaan uji lapangan; uji kepadatan tanah tidak dapat dilakukan saat hujan karena kadar air tanah yang tidak stabil, sementara uji beban pondasi memerlukan cuaca cerah untuk pemasangan instrumen yang presisi. Faktor geografis ini menambah durasi pelaksanaan uji lapangan di luar waktu yang diperlukan untuk prosedur pengujian itu sendiri. Tantangan alam yang berat seperti ini seringkali membuat para pekerja merasa cepat lelah dan terbebani secara mental dalam menjalankan tugasnya (Irfan, 2022). Manajer proyek harus memperhitungkan waktu mobilisasi peralatan, waktu adaptasi terhadap kondisi lapangan, serta potensi penundaan akibat cuaca buruk (Tryhuba *et al.*, 2021). Selain itu, untuk proyek duplikasi, keberadaan jembatan lama yang tetap beroperasi menimbulkan risiko keselamatan bagi tim uji. Pentingnya untuk selalu mengutamakan keselamatan kerja demi menjaga kelancaran dan hasil akhir proyek yang maksimal (Djaelani, Sinambela, Darmawan, & Mardikaningsih, 2021). Arus lalu lintas di jembatan lama tidak dapat dihentikan sepenuhnya, sehingga pengujian di sekitar struktur

eksisting harus dilakukan pada jam-jam tertentu dengan pengaturan lalu lintas khusus. Semua faktor ini berkontribusi pada durasi pelaksanaan uji lapangan yang lebih panjang dibandingkan dengan proyek di lahan kosong, dan manajer proyek harus mampu mengantisipasi hal tersebut dalam perencanaan jadwal.

Waktu tunggu hasil uji lapangan merupakan komponen yang seringkali diremehkan dalam perencanaan jadwal proyek. Setelah sampel diambil di lokasi, sampel harus dibawa ke laboratorium untuk diuji. Jarak antara lokasi proyek dan laboratorium dapat mencapai ratusan kilometer, terutama untuk proyek di daerah terpencil. Waktu pengiriman sampel, yang bisa memakan waktu satu hingga dua hari, seringkali tidak diperhitungkan sebagai bagian dari waktu tunggu. Di laboratorium, sampel harus diproses sesuai dengan prosedur standar yang memerlukan waktu tertentu. Sebagai contoh, uji kuat tekan beton memerlukan waktu perawatan sampel selama 7, 14, atau 28 hari sebelum pengujian. Uji konsolidasi tanah untuk menentukan parameter penurunan pondasi dapat memakan waktu hingga dua minggu karena proses pembebanan bertahap. Uji tarik baja tulangan relatif lebih cepat, biasanya selesai dalam satu hari, tetapi jika jumlah sampel banyak, antrian pengujian dapat menyebabkan penundaan. Setelah pengujian selesai, laporan hasil uji harus disiapkan dan disetujui oleh penanggung jawab laboratorium, yang bisa memakan waktu tambahan. Akumulasi dari semua komponen waktu ini dapat mencapai beberapa minggu, yang jika tidak dikelola dengan baik akan menggeser jadwal keseluruhan proyek. Manajer proyek perlu mengetahui secara rinci alur proses pengujian dan waktu standar untuk setiap tahapan agar dapat membuat perkiraan yang realistis. Kurangnya pemahaman tentang proses ini sering mengakibatkan jadwal yang terlalu optimis dan akhirnya tidak tercapai.

Ketergantungan antar kegiatan dalam jadwal proyek duplikasi jembatan membuat uji lapangan menjadi kegiatan kritis yang dapat menentukan keberhasilan atau kegagalan pencapaian target (Sharma *et al.*, 2014). Hasil uji tanah, misalnya, diperlukan untuk mendesain pondasi jembatan. Jika hasil uji menunjukkan bahwa daya dukung tanah lebih rendah dari yang diasumsikan dalam desain awal, maka desain pondasi harus direvisi, yang dapat memakan waktu berminggu-minggu. Selama revisi desain berlangsung, pekerjaan konstruksi pondasi tidak dapat dimulai, sehingga terjadi *idle time* yang merugikan. Demikian pula, uji kuat tekan beton diperlukan untuk memberikan persetujuan terhadap komposisi campuran beton yang akan digunakan. Jika hasil uji tidak memenuhi spesifikasi, komposisi harus disesuaikan dan diuji ulang, yang berarti siklus pengujian terulang dengan waktu tunggu baru. Skenario siklus ulang ini sangat umum terjadi dalam proyek konstruksi, terutama ketika material yang tersedia di lokasi memiliki variasi kualitas yang tinggi. Manajer proyek harus menyediakan waktu

cadangan untuk kemungkinan pengujian ulang, tetapi menentukan besarnya waktu cadangan yang tepat sulit dilakukan karena ketidakpastian hasil uji. Terlalu sedikit waktu cadangan berisiko jadwal terlambat, sementara terlalu banyak waktu cadangan membuat jadwal tidak efisien dan biaya proyek membengkak karena perpanjangan waktu pelaksanaan. Permasalahan ini memerlukan pendekatan manajemen risiko yang sistematis, bukan sekadar intuisi.

Kebutuhan akan data uji yang akurat bertentangan dengan tekanan untuk menyelesaikan proyek tepat waktu (Paulo, 2021). Data yang akurat memerlukan prosedur pengujian yang lengkap, jumlah sampel yang cukup, serta pengamatan dalam durasi yang memadai. Memperpendek durasi pengujian, misalnya dengan mengurangi waktu perawatan sampel beton dari 28 hari menjadi 7 hari, akan menghasilkan data yang tidak mewakili kekuatan aktual beton pada umur desain. Kesalahan dalam memperkirakan kekuatan beton dapat menyebabkan desain yang tidak aman (jika kekuatan aktual lebih rendah dari perkiraan) atau desain yang boros (jika kekuatan aktual lebih tinggi dari perkiraan). Dalam proyek duplikasi jembatan, konsekuensi desain yang tidak aman bisa fatal karena beban lalu lintas yang tinggi dan risiko kegagalan struktur yang dapat menelan korban jiwa. Pemotongan prosedur uji untuk mempercepat jadwal bukanlah pilihan yang dapat dipertanggungjawabkan. Tekanan pekerjaan yang sangat tinggi seperti ini jika tidak dikelola dengan baik dapat mengganggu pikiran dan menurunkan semangat kerja manajer di lapangan (Darmawan & Djaelani, 2021). Tekanan kontraktual untuk menyelesaikan proyek tepat waktu sangat besar, dengan klausa denda keterlambatan yang dapat mencapai persentase signifikan dari nilai kontrak setiap hari. Manajer proyek berada di antara dua tekanan yang sulit didamaikan: tuntutan teknis dari insinyur yang menginginkan pengujian lengkap, dan tuntutan komersial dari manajemen yang menginginkan proyek selesai tepat waktu. Konflik ini seringkali tidak terselesaikan dengan baik, mengakibatkan proyek mengalami keterlambatan atau kualitas yang terkompromi. Pada akhirnya, suasana lingkungan kerja yang mendukung serta kepemimpinan yang baik sangat diperlukan agar para pekerja tetap merasa puas dan nyaman saat bekerja (Radjawane & Darmawan, 2022). Diperlukan pendekatan manajemen yang mampu menyeimbangkan kedua kebutuhan ini tanpa mengorbankan keselamatan struktur.

Permasalahan utama yang muncul dalam praktik manajemen proyek duplikasi jembatan adalah kurangnya model yang sistematis untuk mengintegrasikan durasi uji lapangan ke dalam jadwal proyek secara keseluruhan. Banyak perencana jadwal menggunakan durasi standar yang diambil dari pengalaman proyek sebelumnya tanpa mempertimbangkan karakteristik spesifik lokasi dan jenis pengujian yang diperlukan. Akibatnya, jadwal yang dihasilkan seringkali tidak realistis dan menciptakan tekanan yang tidak perlu pada tim pelaksana. Ketika jadwal sudah

ditetapkan dalam kontrak, setiap penyimpangan, sekecil apapun, menjadi sumber sengketa antara kontraktor dan pemberi kerja. Kontraktor mengklaim bahwa waktu yang dialokasikan untuk uji lapangan tidak cukup, sementara pemberi kerja bersikeras bahwa kontraktor harus mematuhi jadwal yang telah disepakati. Sengketa semacam ini dapat berlangsung berbulan-bulan dan mengganggu kelancaran proyek. Lebih parah lagi, dalam upaya mengejar jadwal, kontraktor mungkin mengambil jalan pintas dalam pelaksanaan uji lapangan, seperti mengurangi jumlah titik uji atau menggunakan peralatan yang tidak terkalibrasi. Praktik ini tidak hanya menghasilkan data yang tidak akurat tetapi juga melanggar standar profesi dan dapat dikenakan sanksi. Akar permasalahan sebenarnya terletak pada proses penjadwalan di tahap awal proyek yang tidak melibatkan ahli pengujian material secara memadai. Spesialis pengujian material memiliki pengetahuan tentang durasi yang diperlukan untuk setiap jenis uji, namun mereka jarang dilibatkan dalam penyusunan jadwal induk proyek. Kesenjangan komunikasi antara perencana jadwal dan teknisi uji material ini menyebabkan jadwal yang tidak mencerminkan realitas di lapangan.

Permasalahan lain yang tidak kalah penting adalah ketergantungan pada laboratorium pengujian eksternal yang berada di luar kendali manajer proyek. Untuk proyek duplikasi jembatan di daerah terpencil, laboratorium yang kompeten mungkin hanya tersedia di kota besar yang berjarak ratusan kilometer. Kontraktor tidak memiliki pengaruh terhadap prioritas pengujian di laboratorium tersebut; jika laboratorium sedang sibuk dengan proyek lain, sampel dari proyek jembatan harus mengantri. Laboratorium juga mungkin kekurangan personel yang terampil untuk melakukan pengujian tertentu, sehingga pengujian harus ditunda sampai personel tersedia. Faktor eksternal lainnya adalah kebijakan pemerintah terkait pengujian material. Beberapa negara mensyaratkan bahwa pengujian untuk proyek infrastruktur harus dilakukan oleh laboratorium yang terakreditasi pemerintah, yang jumlahnya terbatas (Ranka & Abraham, 2019). Akibatnya, semua kontraktor proyek infrastruktur berlomba menggunakan laboratorium yang sama, menciptakan kemacetan antrian. Kontraktor tidak dapat memilih laboratorium alternatif karena persyaratan akreditasi. Ketergantungan pada laboratorium eksternal ini menciptakan ketidakpastian yang signifikan dalam jadwal proyek. Manajer proyek dapat melakukan segala upaya untuk mempercepat pekerjaan di lapangan, tetapi jika laboratorium lambat, jadwal tetap akan mundur. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa kontraktor besar membangun laboratorium sendiri di lokasi proyek, tetapi investasi ini hanya ekonomis untuk proyek dengan durasi panjang dan volume pengujian besar. Untuk proyek duplikasi jembatan dengan durasi satu hingga dua tahun, membangun laboratorium sendiri mungkin tidak efisien. Permasalahan ini menunjukkan

bahwa manajemen waktu proyek tidak dapat dipisahkan dari manajemen hubungan dengan pihak eksternal.

Ada kepentingan untuk memahami hubungan antara durasi uji lapangan dan manajemen waktu proyek duplikasi jembatan sangat tinggi mengingat banyaknya proyek infrastruktur yang mengalami keterlambatan akibat faktor pengujian material. Data dari berbagai negara menunjukkan bahwa keterlambatan yang disebabkan oleh proses pengujian dan persetujuan material menyumbang persentase yang signifikan terhadap total keterlambatan proyek. Di era tuntutan akuntabilitas publik semakin tinggi, setiap keterlambatan proyek infrastruktur harus dapat dijelaskan dengan alasan yang dapat dipertanggungjawabkan. Jika penyebab keterlambatan adalah durasi uji lapangan yang tidak realistis, maka kesalahan terletak pada proses perencanaan, bukan pada pelaksana. Perbaikan proses perencanaan dapat mengurangi keterlambatan di masa depan tanpa harus mengorbankan kualitas. Selain itu, pemahaman yang lebih baik tentang manajemen uji lapangan dapat membantu kontraktor dalam menyusun penawaran yang lebih realistis, sehingga mengurangi risiko sengketa di kemudian hari. Dalam lingkup proyek duplikasi jembatan yang seringkali merupakan bagian dari program peningkatan kapasitas jalan nasional, keterlambatan satu proyek dapat berdampak berantai pada proyek lain yang terkait dalam satu koridor. Misalnya, jika jembatan A selesai terlambat, maka jalan pendekat yang sudah selesai tidak dapat difungsikan secara optimal, dan manfaat investasi yang diharapkan tidak segera terwujud. Masyarakat yang menantikan perbaikan akses transportasi menjadi kecewa, dan kepercayaan publik terhadap pemerintah menurun. Studi literatur tentang topik ini sangat diperlukan untuk mengidentifikasi praktik terbaik dalam mengintegrasikan uji lapangan ke dalam jadwal proyek.

Tujuan dari studi literatur ini adalah mengkonstruksi kerangka konseptual yang menghubungkan durasi berbagai jenis uji lapangan dengan parameter jadwal proyek seperti jalur kritis, waktu longgar, dan kebutuhan waktu cadangan. Kerangka ini akan mengidentifikasi titik titik dalam jadwal di mana uji lapangan menjadi penentu keberhasilan, serta merumuskan strategi untuk mengelola ketidakpastian hasil uji. Secara teoretis, studi ini memperkaya literatur manajemen proyek konstruksi dengan menyoroti aspek pengujian material yang sering terabaikan dalam model penjadwalan tradisional. Secara praktis, kerangka ini dapat digunakan oleh perencana proyek untuk menyusun jadwal yang lebih realistis, serta oleh manajer proyek untuk mengantisipasi dan merespon keterlambatan yang mungkin terjadi akibat proses uji lapangan.

2. METODE PENELITIAN

Bagian Penelitian ini dilaksanakan sebagai studi literatur kualitatif yang sepenuhnya mengandalkan sumber-sumber tertulis yang telah tersedia di ranah publik. Patten (2016) menjelaskan bahwa pendekatan kepustakaan merupakan metode yang sah ketika tujuan penelitian adalah untuk mensintesis pengetahuan yang telah terakumulasi dari berbagai studi sebelumnya, bukan untuk menghasilkan data primer baru melalui wawancara atau observasi. Sesuai dengan prinsip tersebut, penelitian ini tidak melibatkan survei terhadap manajer proyek, wawancara dengan teknisi lapangan, atau pengamatan langsung terhadap pelaksanaan uji lapangan di proyek duplikasi jembatan. Seluruh bahan analisis berasal dari dokumen tertulis seperti artikel jurnal, buku teks manajemen proyek dan teknik sipil, prosiding konferensi, standar pengujian material, serta laporan proyek. Gagnon (2010) menegaskan bahwa kualitas studi literatur sangat bergantung pada cakupan sumber yang dirujuk serta ketelitian dalam proses seleksi. Proses seleksi sumber dilakukan melalui pembacaan abstrak terlebih dahulu untuk menilai kesesuaian dengan topik, dilanjutkan dengan pembacaan teks lengkap untuk mengevaluasi kontribusi spesifik terhadap rumusan masalah yang telah ditetapkan.

Prosedur analisis dalam studi literatur ini mengikuti pendekatan sintesis tematik sebagai metode untuk menggabungkan temuan dari berbagai sumber yang mungkin menggunakan metodologi berbeda (Priyanka, 2024). Sintesis tematik memungkinkan penggabungan wawasan dari studi kasus proyek, studi eksperimental tentang prosedur pengujian, serta pemodelan teoritis tentang penjadwalan ke dalam kerangka penjelasan yang terpadu. Langkah pertama adalah pengorganisasian sumber berdasarkan tema utama seperti jenis jenis uji lapangan pada proyek jembatan, durasi standar setiap pengujian, faktor-faktor yang mempengaruhi waktu tunggu hasil, serta metode penjadwalan yang mengakomodasi ketidakpastian. Langkah kedua adalah identifikasi pola-pola yang muncul berulang dalam literatur, misalnya konsistensi temuan bahwa uji konsolidasi tanah memiliki durasi terlama dan paling sulit diprediksi. Langkah ketiga adalah penelusuran kontradiksi antar studi yang sering mengungkap faktor faktor moderasi seperti skala proyek atau ketersediaan laboratorium. Studi literatur yang baik harus mencatat setiap ketegangan dalam temuan dan berusaha menjelaskannya melalui perbedaan kondisi proyek atau metode pengujian (Turner, 2023). Dalam penelitian ini, perhatian khusus diberikan pada bagaimana temuan dari studi tentang durasi pengujian dapat diintegrasikan dengan temuan dari studi tentang manajemen jadwal untuk menghasilkan gambaran yang lebih lengkap tentang dampak uji lapangan terhadap kinerja waktu proyek. Proses analisis dilakukan secara iteratif dengan peneliti bergerak bolak balik antara sumber individual dan kerangka konseptual yang sedang dibangun untuk

memastikan bahwa setiap klaim didukung oleh bukti yang memadai. Langkah terakhir adalah penulisan laporan yang menyajikan temuan dalam bentuk naratif terstruktur dengan merujuk secara eksplisit pada sumber yang mendasari setiap pernyataan penting.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam sebuah pekerjaan besar, pengaturan bahan dan peralatan yang efektif sangat menentukan kelancaran seluruh proses di lapangan (Theodara *et al.*, 2022). Uji lapangan pada proyek duplikasi jembatan mencakup serangkaian pengujian yang masing-masing memiliki durasi pelaksanaan dan waktu tunggu hasil yang berbeda (Hassan & El-Rayes, 2020). Uji kepadatan tanah menggunakan alat *sand cone* atau *nuclear densometer* dapat diselesaikan dalam satu hari di lokasi, dengan hasil yang langsung diketahui. Namun, uji ini hanya memberikan gambaran kondisi tanah di permukaan. Untuk mengetahui karakteristik tanah pada kedalaman yang lebih dalam, diperlukan uji sondir atau uji pengeboran dengan pengambilan sampel tanah terganggu dan tidak terganggu. Pengeboran satu titik hingga kedalaman 20 meter dapat memakan waktu satu hingga dua hari tergantung pada kondisi tanah. Sampel tanah yang diambil kemudian harus dibawa ke laboratorium untuk uji sifat fisik dan mekanis. Uji batas *Atterberg*, kadar air, dan berat jenis biasanya selesai dalam dua hingga tiga hari. Uji geser langsung atau uji triaksial untuk menentukan parameter kekuatan tanah memerlukan waktu satu hingga dua minggu karena proses pembebanan bertahap. Uji konsolidasi untuk menentukan parameter penurunan tanah adalah yang paling lama, dapat mencapai tiga hingga empat minggu. Untuk proyek jembatan dengan beberapa titik bor, total waktu dari mobilisasi alat bor hingga diterimanya laporan lengkap dapat mencapai dua hingga tiga bulan. Durasi yang panjang ini harus diakomodasi dalam jadwal proyek, dan keterlambatan pada salah satu tahapan akan berdampak pada seluruh rangkaian. Selain itu, ketepatan dalam menghitung biaya produksi juga menjadi faktor yang tidak boleh diabaikan agar anggaran tetap terkontrol dengan baik (Sinambela *et al.*, 2022).

Uji material konstruksi seperti beton dan baja juga memiliki durasi yang bervariasi dan seringkali menjadi penentu jadwal (Singh, 2021). Untuk beton, uji *slump* dan uji kadar udara dapat dilakukan segera setelah pencampuran, memberikan hasil instan yang digunakan untuk menyesuaikan komposisi. Uji kuat tekan beton pada umur 7 hari memberikan indikasi awal, tetapi hasil resmi untuk desain adalah pada umur 28 hari. Artinya, sampel beton yang diambil pada hari pertama pengecoran baru akan memberikan hasil akhir setelah 28 hari ditambah waktu pengujian di laboratorium. Selama periode 28 hari tersebut, pekerjaan pengecoran selanjutnya mungkin harus ditunda jika hasil uji menunjukkan bahwa komposisi beton tidak

memenuhi spesifikasi. Risiko ini sering dikelola dengan melakukan uji pendahuluan sebelum pengecoran massal, tetapi uji pendahuluan pun memerlukan waktu. Proses pengerasan material ini pun perlu diperhatikan dengan seksama, termasuk penggunaan media pendingin yang tepat untuk mendapatkan kualitas yang diinginkan (Triono *et al.*, 2023). Untuk baja tulangan, uji tarik dan uji lentur dapat diselesaikan dalam satu hingga dua hari setelah sampel diterima laboratorium. Namun, jika baja diimpor, proses pengambilan sampel dan pengiriman ke laboratorium dapat memakan waktu berminggu minggu. Selain itu, sertifikat pabrik yang menyertai baja impor harus diverifikasi keasliannya, yang memerlukan koordinasi dengan otoritas di negara asal. Semua faktor ini menunjukkan bahwa durasi uji lapangan tidak semata-mata ditentukan oleh prosedur teknis, tetapi juga oleh logistik dan administrasi yang menyertainya. Manajer proyek perlu memetakan seluruh rantai kegiatan pengujian, bukan hanya kegiatan teknis di lapangan. Maka dari itu, perencanaan pembuatan mesin pendukung yang matang juga menjadi bagian penting dalam menyokong kebutuhan teknis di lapangan (Anwar *et al.*, 2022).

Waktu tunggu hasil uji dari laboratorium merupakan komponen yang paling sulit diprediksi karena dipengaruhi oleh banyak faktor di luar kendali kontraktor (Jakubowicz, 2018). Dalam situasi yang dinamis dan cepat berubah, penerapan manajemen proyek yang tangkas sangat membantu agar pekerjaan tetap berjalan sesuai rencana (Darmawan, 2021). Beban kerja laboratorium adalah faktor utama; jika laboratorium sedang menangani beberapa proyek besar secara bersamaan, sampel baru harus mengantri. Antrian ini tidak selalu transparan; laboratorium mungkin tidak memberikan perkiraan waktu penyelesaian yang akurat. Selain beban kerja, ketersediaan peralatan khusus juga mempengaruhi waktu tunggu. Alat uji triaksial yang canggih mungkin hanya tersedia satu unit di laboratorium, sehingga jika alat sedang digunakan, pengujian harus menunggu. Kerusakan pada mesin atau alat berat pun sering terjadi secara tiba-tiba dan memerlukan pemeriksaan khusus melalui sinyal getaran untuk mengetahui jenis kerusakannya (Riyadin & Darmawan, 2023). Kerusakan peralatan juga dapat menyebabkan penundaan yang tidak terduga. Faktor personel juga berperan; pengujian tertentu memerlukan teknisi yang tersertifikasi, dan jika teknisi tersebut sakit atau cuti, pengujian tidak dapat dilakukan. Di beberapa negara, pengujian untuk proyek pemerintah harus disaksikan oleh inspektur independen yang ditunjuk oleh pemberi kerja. Ketersediaan inspektur ini juga terbatas, dan jadwal mereka mungkin tidak sesuai dengan jadwal pengujian. Akumulasi dari berbagai faktor ini dapat menyebabkan waktu tunggu yang jauh lebih panjang dari perkiraan standar. Manajer proyek yang berpengalaman biasanya menambahkan faktor keamanan 50 hingga 100 persen terhadap perkiraan waktu tunggu dasar untuk mengantisipasi

ketidakpastian ini. Namun, penambahan faktor keamanan yang terlalu besar dapat membuat jadwal proyek menjadi tidak kompetitif dalam proses tender. Keseimbangan antara realisme dan daya saing adalah tantangan tersendiri.

Pengaruh durasi uji lapangan terhadap jadwal proyek tidak bersifat linear karena adanya jalur kritis dan waktu longgar dalam jaringan kerja kegiatan (Lepel & Hajdu, 2022). Suatu kegiatan uji yang berada pada jalur kritis akan menentukan durasi proyek secara langsung; setiap penambahan satu hari pada kegiatan tersebut akan menggeser penyelesaian proyek satu hari. Sebaliknya, kegiatan uji yang memiliki waktu longgar yang besar dapat ditunda tanpa mempengaruhi jadwal keseluruhan. Identifikasi kegiatan uji mana yang berada pada jalur kritis adalah langkah pertama dalam manajemen waktu yang efektif. Pada proyek duplikasi jembatan, uji tanah untuk pondasi hampir selalu berada pada jalur kritis karena desain pondasi tidak dapat dimulai sebelum data tanah tersedia. Demikian pula, uji komposisi beton untuk struktur atas biasanya kritis karena pekerjaan pengecoran tidak dapat dimulai sebelum komposisi disetujui. Sebaliknya, uji tarik baja tulangan mungkin tidak kritis jika baja untuk komponen tertentu dapat dipesan setelah desain selesai, dan waktu pengiriman baja lebih panjang dari waktu pengujian. Dengan memahami posisi setiap kegiatan uji dalam jaringan kerja, manajer proyek dapat memfokuskan upaya percepatan pada kegiatan yang benar-benar berdampak. Untuk kegiatan kritis, kontraktor dapat mengalokasikan sumber daya lebih besar untuk mempercepat pelaksanaan, misalnya dengan menggunakan dua tim pengeboran paralel atau menggunakan laboratorium yang lebih cepat meskipun lebih mahal. Untuk kegiatan non kritis, kontraktor dapat menggunakan laboratorium standar tanpa perlu membayar layanan percepatan. Pendekatan yang membedakan perlakuan berdasarkan posisi dalam jaringan kerja ini lebih efisien daripada sekadar menambahkan waktu cadangan secara seragam ke semua kegiatan.

Strategi *overlapping* atau tumpang tindih kegiatan dapat mengurangi dampak durasi uji lapangan terhadap jadwal proyek secara signifikan (Tahera *et al.*, 2017). Alih-alih menunggu seluruh hasil uji tanah sebelum memulai desain pondasi, kontraktor dapat memulai desain dengan data parsial dari titik bor pertama, sambil melanjutkan pengeboran di titik lainnya. Pendekatan ini memerlukan komunikasi yang intensif antara tim lapangan dan tim desain, serta toleransi terhadap perubahan desain di kemudian hari jika data dari titik bor berikutnya menunjukkan kondisi yang berbeda. Risiko dari strategi *overlapping* adalah kemungkinan pengerjaan ulang yang besar jika data akhir sangat berbeda dari data awal. Untuk memitigasi risiko ini, kontraktor dapat membatasi *overlapping* pada elemen desain yang tidak sensitif terhadap variasi data, atau menggunakan asumsi konservatif pada tahap awal yang kemudian

disesuaikan. *Overlapping* juga dapat diterapkan antara pengujian material dan pekerjaan konstruksi. Misalnya, pekerjaan persiapan lahan dapat dimulai sebelum hasil uji kuat tekan beton dari *batch* pertama tersedia, dengan asumsi bahwa hasil uji akan memenuhi spesifikasi berdasarkan pengalaman sebelumnya. Jika hasil uji ternyata tidak memenuhi, pekerjaan yang sudah dilakukan mungkin harus dibongkar. Risiko ini dapat dikelola dengan melakukan uji pendahuluan yang lebih cepat meskipun kurang akurat, atau dengan menggunakan material dari sumber yang sudah terbukti kualitasnya. Strategi *overlapping* memerlukan keberanian mengambil risiko yang diperhitungkan, serta sistem manajemen yang tangguh untuk merespon dengan cepat jika terjadi ketidaksesuaian. Tidak semua kontraktor memiliki kapasitas untuk menerapkan strategi ini, tetapi bagi yang mampu, keunggulan kompetitifnya signifikan.

Penggunaan teknologi modern dapat mempercepat pelaksanaan uji lapangan dan mengurangi waktu tunggu hasil (Flavell *et al.*, 2025). Pengujian tanah dengan alat penetrasi kerucut statis atau *cone penetration test* (CPT) memberikan hasil kontinu sepanjang kedalaman secara *real time*, tanpa perlu pengambilan sampel dan pengujian laboratorium yang memakan waktu. Meskipun CPT tidak dapat menggantikan semua jenis uji laboratorium, teknologi ini sangat berguna untuk mendapatkan gambaran awal tentang profil tanah dengan cepat. Untuk uji kepadatan tanah, penggunaan *nuclear densometer* memberikan hasil instan dibandingkan dengan metode *sand cone* yang memerlukan perhitungan laboratorium. Untuk uji beton, teknologi *maturity* meter memungkinkan estimasi kekuatan beton secara *real time* berdasarkan riwayat suhu, tanpa perlu menunggu 28 hari. Estimasi dari *maturity* meter tidak seakurat uji tekan standar, tetapi cukup untuk keputusan awal seperti kapan *bekisting* dapat dibongkar atau kapan prategang dapat diaplikasikan. Untuk uji tarik baja, pengujian otomatis dengan mesin uji universal yang terhubung ke komputer dapat mempercepat proses dan mengurangi kesalahan manusia. Penggunaan teknologi informasi untuk pelaporan juga dapat mempercepat penyebaran hasil uji. Laporan digital yang dikirim melalui email atau diunggah ke platform kolaborasi proyek dapat diakses oleh semua pihak yang berkepentingan dalam hitungan menit, dibandingkan dengan pengiriman dokumen fisik yang memakan waktu berhari-hari. Apalagi di era otomatisasi saat ini, hubungan kerja dan peran tenaga kerja digital terus mengalami perkembangan yang harus dipahami bersama (Irfan *et al.*, 2024). Namun, adopsi teknologi ini memerlukan investasi peralatan dan pelatihan personel. Untuk proyek duplikasi jembatan dengan durasi terbatas, investasi ini harus dievaluasi kelayakannya. Dalam beberapa kasus, menyewa peralatan canggih dari perusahaan spesialis mungkin lebih ekonomis daripada membeli.

Penjadwalan uji lapangan yang efektif memerlukan pemahaman yang rinci tentang sumber daya yang diperlukan untuk setiap pengujian dan ketersediaannya (Fina *et al.*, 2025). Alat pengeboran tanah, misalnya, adalah sumber daya yang langka dan mahal. Kontraktor biasanya menyewa alat ini dari perusahaan spesialis dengan tarif harian yang tinggi. Untuk memaksimalkan penggunaan alat, kontraktor harus menjadwalkan pengeboran di beberapa titik secara berurutan tanpa jeda yang berarti. Namun, jadwal pengeboran juga tergantung pada akses ke lokasi dan izin dari pemilik lahan. Jika salah satu titik belum siap, pengebor harus menganggur atau pindah ke titik lain dengan risiko biaya mobilisasi tambahan. Oleh karena itu, diperlukan perbandingan anggaran yang cermat melalui metode yang tepat agar desain proyek sesuai dengan dana yang tersedia (Haqiqi & Djaelani, 2023). Sumber daya manusia juga kritis; teknisi laboratorium yang terampil dalam pengujian tertentu mungkin hanya tersedia dalam jumlah terbatas. Menjadwalkan pengujian pada saat teknisi tersebut sedang cuti atau sakit akan menyebabkan penundaan. Manajer proyek perlu membangun hubungan yang baik dengan penyedia sumber daya dan berbagi informasi jadwal secara transparan. Beberapa kontraktor besar mengembangkan *database* kinerja laboratorium untuk memprediksi waktu tunggu berdasarkan beban kerja historis. *Database* ini membantu dalam memilih laboratorium yang paling sesuai untuk setiap jenis pengujian berdasarkan kriteria kecepatan, akurasi, dan biaya. Namun, *database* semacam ini memerlukan waktu bertahun-tahun untuk dibangun dan hanya berharga jika volume pengujian kontraktor cukup besar. Untuk kontraktor menengah yang hanya mengerjakan beberapa proyek dalam setahun, pendekatan yang lebih praktis adalah dengan melakukan survei cepat ke beberapa laboratorium sebelum proyek dimulai untuk membandingkan perkiraan waktu tunggu dan biaya.

Strategi kontraktual dapat digunakan untuk mengalokasikan risiko keterlambatan akibat uji lapangan antara kontraktor dan pemberi kerja (Kallantzis *et al.*, 2007). Dalam kontrak tradisional, kontraktor bertanggung jawab atas seluruh keterlambatan, termasuk yang disebabkan oleh faktor eksternal seperti laboratorium yang sibuk. Hal ini mendorong kontraktor untuk menambahkan waktu cadangan yang besar ke dalam jadwal penawaran, yang membuat penawaran kurang kompetitif. Alternatifnya adalah kontrak yang membedakan antara keterlambatan yang dapat dikendalikan kontraktor (misalnya mobilisasi alat yang lambat) dan keterlambatan yang tidak dapat dikendalikan (misalnya antrian laboratorium). Untuk keterlambatan yang tidak dapat dikendalikan, kontraktor diberikan perpanjangan waktu tanpa penalti. Pendekatan ini lebih adil dan mendorong kontraktor untuk memberikan jadwal yang lebih realistis. Namun, penerapannya sulit karena sering terjadi sengketa tentang apakah suatu keterlambatan termasuk dalam kategori yang dapat dikendalikan atau tidak. Pemberi

kerja mungkin berargumen bahwa kontraktor seharusnya memilih laboratorium yang lebih cepat meskipun lebih mahal, sehingga keterlambatan laboratorium adalah kesalahan kontraktor. Untuk menghindari sengketa, kontrak dapat menentukan secara eksplisit laboratorium yang harus digunakan atau menetapkan standar waktu tunggu maksimum yang dapat diterima. Jika laboratorium yang ditunjuk pemberi kerja tidak memenuhi standar tersebut, pemberi kerja harus memberikan perpanjangan waktu. Klausula semacam ini memberikan kepastian bagi kedua belah pihak. Dalam proyek duplikasi jembatan yang dibiayai pemerintah, pemberi kerja seringkali memiliki daftar laboratorium terakreditasi yang dapat dipilih kontraktor. Menambahkan klausula kinerja laboratorium ke dalam kontrak dapat meningkatkan disiplin laboratorium dan mengurangi risiko keterlambatan.

Manajemen risiko yang proaktif sangat penting dalam menghadapi ketidakpastian durasi uji lapangan (Bissels, 2020). Pendekatan tradisional yang hanya menambahkan waktu cadangan di akhir jadwal seringkali tidak efektif karena waktu cadangan tersebut terkikis oleh keterlambatan kecil yang terjadi di berbagai kegiatan. Pendekatan yang lebih canggih adalah dengan menggunakan analisis rantai kritis atau *critical chain project management*. Dalam metode ini, waktu cadangan tidak ditambahkan ke setiap kegiatan secara individual, tetapi dikumpulkan di akhir rantai kegiatan sebagai buffer proyek. Selain itu, *buffer* tambahan ditempatkan di titik titik di mana rantai kegiatan bergabung (*feeding buffer*) untuk melindungi rantai kritis dari keterlambatan pada kegiatan non kritis. Untuk uji lapangan, *buffer* dapat dihitung berdasarkan variabilitas durasi pengujian yang diperoleh dari data historis atau estimasi ahli. Semakin besar variabilitas, semakin besar *buffer* yang diperlukan. Keuntungan dari pendekatan ini adalah bahwa waktu cadangan digunakan secara efisien; keterlambatan pada satu kegiatan dapat dikompensasi oleh percepatan pada kegiatan lain tanpa mempengaruhi *buffer* keseluruhan. Metode rantai kritis juga menekankan pada pengurangan perilaku siswa, yaitu kecenderungan untuk memulai pekerjaan pada saat terakhir yang mungkin. Dengan menjadwalkan uji lapangan sedini mungkin, kontraktor dapat mengidentifikasi masalah lebih awal dan memiliki lebih banyak waktu untuk merespon. Penerapan metode rantai kritis memerlukan perubahan budaya yang signifikan dalam organisasi proyek, karena bertentangan dengan praktik penjadwalan tradisional yang sudah mengakar. Namun, di industri yang sangat tidak pasti seperti konstruksi, metode ini telah terbukti mampu mengurangi durasi proyek secara signifikan.

Kualitas data dari uji lapangan tidak boleh dikorbankan demi percepatan jadwal, tetapi ada cara untuk mempercepat tanpa mengurangi kualitas (Meehan *et al.*, 2017). Salah satunya adalah dengan melakukan uji pendahuluan pada tahap awal proyek menggunakan metode yang

lebih cepat namun kurang akurat, kemudian dilanjutkan dengan uji konfirmasi menggunakan metode standar. Hasil uji pendahuluan digunakan untuk keputusan awal, sementara hasil uji konfirmasi digunakan untuk sertifikasi akhir. Pendekatan ini memerlukan korelasi yang baik antara hasil uji pendahuluan dan uji standar, yang harus dibangun melalui studi khusus pada awal proyek. Misalnya, uji kekuatan beton dengan *maturity* meter dapat dikalibrasi terhadap uji tekan standar dengan membuat kurva korelasi dari beberapa sampel awal. Setelah kurva korelasi tersedia, *maturity* meter dapat digunakan untuk estimasi kekuatan yang cukup akurat untuk keperluan konstruksi, sementara uji tekan standar tetap dilakukan untuk dokumentasi akhir. Untuk uji tanah, penggunaan CPT sebagai uji pendahuluan dapat memberikan gambaran profil tanah dalam hitungan hari, dibandingkan dengan pengeboran dan uji laboratorium yang memakan waktu berminggu minggu. Desain awal dapat dilakukan berdasarkan data CPT, kemudian diverifikasi dengan data dari pengeboran dan uji laboratorium. Jika hasil verifikasi menunjukkan perbedaan yang signifikan, desain direvisi. Risiko pengerjaan ulang tetap ada, tetapi jika korelasi antara CPT dan data bor sudah mapan, risiko tersebut kecil. Strategi ini memerlukan investasi tambahan untuk melakukan dua jenis pengujian, tetapi dapat menghemat waktu yang jauh lebih besar. Keputusan untuk menggunakan strategi ini harus didasarkan pada analisis biaya waktu versus biaya pengujian tambahan. Untuk proyek dengan keterlambatan yang sangat mahal, strategi ini sangat menguntungkan.

Komunikasi antara tim lapangan, laboratorium, tim desain, dan manajemen proyek adalah faktor kunci dalam meminimasi dampak uji lapangan terhadap jadwal (Zdravković *et al.*, 2021). Keterlambatan sering terjadi bukan karena proses pengujian yang lama, tetapi karena kurangnya koordinasi tentang apa yang diuji, kapan, dan bagaimana hasilnya dilaporkan. Tim lapangan mungkin mengambil sampel dengan cara yang tidak sesuai dengan prosedur laboratorium, menyebabkan sampel ditolak dan harus diambil ulang. Laboratorium mungkin tidak memberitahu kontraktor bahwa hasil uji sudah siap, sehingga kontraktor baru mengetahuinya beberapa hari kemudian. Tim desain mungkin tidak segera mereview hasil uji karena tidak menyadari bahwa hasil tersebut sudah tersedia. Setiap mata rantai yang putus dalam komunikasi dapat menyebabkan penundaan yang tidak perlu. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa proyek menerapkan sistem pelacakan pengujian berbasis web yang memungkinkan semua pihak melihat status setiap sampel secara *real time*. Sistem ini mencatat kapan sampel diambil, kapan dikirim ke laboratorium, kapan diterima, kapan pengujian dimulai, kapan selesai, dan kapan laporan diunggah. Semua pihak dapat mengakses informasi ini dan merencanakan tindakan selanjutnya tanpa harus menunggu komunikasi satu arah. Sistem juga dapat mengirimkan pemberitahuan otomatis melalui email atau pesan singkat

ketika status berubah. Implementasi sistem semacam ini memerlukan biaya pengembangan dan pelatihan, tetapi dengan murahnya teknologi *cloud* saat ini, biaya tersebut relatif terjangkau bahkan untuk proyek menengah. Yang lebih penting adalah kemauan semua pihak untuk menggunakan sistem tersebut secara disiplin. Tanpa disiplin, sistem secanggih apapun tidak akan berguna. Manajer proyek harus menetapkan prosedur yang jelas dan konsekuensi bagi yang tidak mematuhi.

Faktor musim dan cuaca memiliki pengaruh besar terhadap durasi uji lapangan, terutama untuk proyek di daerah dengan musim hujan yang panjang. Uji kepadatan tanah tidak dapat dilakukan saat tanah basah karena kadar air yang tidak stabil akan memberikan hasil yang menyesatkan (Avijit, 2025). Uji pengeboran juga sulit dilakukan saat hujan karena jalan menuju lokasi licin dan berbahaya bagi alat berat. Laboratorium mungkin juga mengalami penundaan jika pengiriman sampel terhambat oleh banjir atau tanah longsor. Manajer proyek harus memperhitungkan faktor musiman dalam jadwal uji lapangan. Idealnya, uji lapangan yang sensitif terhadap cuaca dijadwalkan pada musim kemarau, sementara pekerjaan yang kurang sensitif seperti fabrikasi baja di bengkel dapat dilakukan pada musim hujan. Namun, ketersediaan alat pengeboran dan laboratorium juga dipengaruhi musim; pada musim kemarau, permintaan jasa pengeboran meningkat, sehingga harga sewa naik dan waktu tunggu lebih panjang. Manajer proyek harus menyeimbangkan antara kondisi cuaca yang baik dan ketersediaan sumber daya. Dalam beberapa kasus, kontraktor memilih untuk melakukan uji lapangan pada musim hujan dengan risiko penundaan yang lebih tinggi tetapi biaya lebih rendah. Risiko ini dapat dimitigasi dengan menyediakan peralatan tambahan seperti terpal untuk melindungi lokasi uji dari hujan, atau menggunakan pompa untuk mengeringkan lubang bor. Biaya mitigasi ini harus diperhitungkan dalam anggaran. Pengalaman menunjukkan bahwa merencanakan uji lapangan pada musim kemarau, meskipun lebih mahal, seringkali lebih ekonomis dalam jangka panjang karena menghindari keterlambatan yang mahal. Keputusan akhir tergantung pada analisis biaya siklus hidup proyek yang cermat.

Pengujian ulang atau pengambilan sampel tambahan adalah skenario yang sering terjadi dalam proyek duplikasi jembatan dan harus diantisipasi dalam jadwal (Shrestha & Neupane, 2020). Hasil uji awal mungkin menunjukkan bahwa material tidak memenuhi spesifikasi, sehingga diperlukan pengujian ulang dengan komposisi yang disesuaikan. Pengujian ulang ini mengulang seluruh siklus, termasuk waktu tunggu, sehingga dapat menggandakan atau melipatgandakan durasi yang telah direncanakan. Untuk mengurangi dampak pengujian ulang, kontraktor dapat melakukan uji pendahuluan dengan sejumlah sampel kecil sebelum produksi massal. Jika uji pendahuluan menunjukkan hasil yang baik, produksi massal dapat dimulai.

sambil menunggu hasil uji akhir. Risiko dari pendekatan ini adalah jika uji akhir menunjukkan hasil yang tidak sesuai, produksi massal yang sudah berjalan harus dihentikan dan material yang sudah diproduksi mungkin harus dibuang. Pendekatan alternatif adalah dengan menggunakan material dari sumber yang sudah terbukti kualitasnya melalui sertifikasi. Misalnya, menggunakan beton ready mix dari batching plant yang sudah memiliki rekam jejak baik, atau menggunakan baja dari pabrik yang sudah terdaftar. Material dari sumber bersertifikat tetap harus diuji, tetapi tingkat kepercayaannya lebih tinggi sehingga risiko pengujian ulang lebih rendah. Kontraktor dapat menegosiasikan dengan pemasok untuk menanggung biaya pengujian ulang jika material tidak memenuhi spesifikasi, sehingga risiko ditransfer ke pemasok. Namun, klausula semacam ini akan meningkatkan harga material karena pemasok akan menambahkan premi risiko. Sekali lagi, ini adalah *trade off* antara biaya dan risiko yang harus dikelola dengan hati-hati.

Dampak keterlambatan uji lapangan terhadap jadwal proyek tidak berhenti pada penyelesaian fisik, tetapi juga mempengaruhi proses serah terima dan pembayaran (Audu *et al.*, 2023). Dalam banyak kontrak, pembayaran termin kepada kontraktor dikaitkan dengan pencapaian *milestone* tertentu yang memerlukan persetujuan hasil uji lapangan. Misalnya, pembayaran untuk pekerjaan pondasi baru dapat dilakukan setelah hasil uji kepadatan tanah disetujui oleh konsultan pengawas. Jika hasil uji terlambat, pembayaran juga terlambat, yang dapat mengganggu arus kas kontraktor. Gangguan arus kas dapat menyebabkan kontraktor kesulitan membayar subkontraktor dan pemasok, yang selanjutnya dapat menghentikan pekerjaan secara keseluruhan. Efek domino ini menunjukkan bahwa keterlambatan uji lapangan dapat memperparah masalah keuangan proyek. Untuk memutus rantai efek domino, kontraktor dapat menegosiasikan mekanisme pembayaran yang tidak sepenuhnya bergantung pada persetujuan hasil uji. Misalnya, persentase tertentu dari nilai pekerjaan dapat dibayarkan berdasarkan volume fisik yang sudah dilaksanakan, sementara sisanya ditahan sampai hasil uji disetujui. Mekanisme ini memberikan likuiditas kepada kontraktor sambil tetap memberikan insentif untuk memastikan kualitas. Pemberi kerja mungkin keberatan dengan mekanisme ini karena mengurangi kekuatan mereka untuk memastikan kualitas. Namun, jika kontraktor memiliki reputasi yang baik dan proyek diawasi secara ketat, mekanisme ini dapat diterima. Sekali lagi, keseimbangan antara kualitas dan kecepatan pembayaran harus dicapai melalui negosiasi yang konstruktif.

4. PENUTUP

Implikasi dari temuan ini bagi praktisi manajemen proyek adalah bahwa perencanaan uji lapangan harus dimulai sejak tahap awal proyek, bukan setelah pekerjaan konstruksi berjalan. Perencanaan harus melibatkan spesialis pengujian material yang memahami durasi setiap pengujian dan faktor faktor yang mempengaruhinya. Kontraktor harus membangun hubungan dengan laboratorium yang kompeten dan melakukan evaluasi kinerja secara berkala. Penggunaan teknologi informasi untuk pelacakan status pengujian sangat dianjurkan untuk meningkatkan transparansi dan koordinasi. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan studi empiris yang membandingkan efektivitas berbagai strategi penjadwalan uji lapangan pada proyek duplikasi jembatan dengan karakteristik berbeda. Pengembangan model simulasi Monte Carlo untuk memprediksi distribusi durasi uji lapangan berdasarkan data historis juga sangat diperlukan. Penelitian tentang faktor keberhasilan implementasi metode rantai kritis pada proyek infrastruktur di negara berkembang dapat memberikan wawasan berharga. Studi tentang mekanisme kontraktual yang paling efektif dalam mengalokasikan risiko keterlambatan uji lapangan juga layak untuk dilakukan

DAFTAR REFERENSI

- Alam, M. S., & Rezaul, K. M. (2020). *Field test of construction materials*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36001.84329>
- Anwar, M. S., Setiawan, A., Saleh, M., Diba, F. F., Triono, B., & Darmawan, D. (2022). Fabric expansion joint roller machine manufacturing planning. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 1(1), 1–5.
- Audu, A., Karim, R., & Koki, I. (2023). Exploring the causes and factors of delays in reservoir construction projects. *International Journal of Civil Engineering and Architecture Engineering*, 4(2), 30–33. <https://doi.org/10.22271/27078361.2023.v4.i2a.43>
- Avijit, G. (2025). *Determination of maximum dry density and optimum moisture content by standard Proctor compaction method*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23059.18729>
- Bissels, W. M. (2020). *Managing risk and uncertainty in research projects with experiments*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14547.32802>
- da Silva, B. D. S., Darmawan, D., & Gardi, B. (2022). A systematic approach to risk management to enhance information technology project success in a dynamic business environment. *Journal of Social Science Studies*, 2(2), 213–218.
- Darmawan, D. (2021). Implementation of agile project management in a dynamic business environment. *Journal of Social Science Studies*, 1(1), 275–280.
- Darmawan, D. (2025). Cross-channel orchestration and service consistency in omnichannel customer experience: Implications for service costs, retention, and customer lifetime value. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 7(2), 30–38.

- Darmawan, D., & de Jesus Isaac, A. (2023). Safeguarding employee data with blockchain in HR. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 4(3), 41–46.
- Darmawan, D., & Djaelani, M. (2021). Correlation of work stress and performance of construction project manager. *ARRUS Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 55–59. <https://doi.org/10.35877/jetech642>
- Djaelani, M., Judiono, J., Darmawan, D., & Amri, M. W. (2022). Study of concrete: Quality and economic. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 1(1), 1–3.
- Djaelani, M., Sinambela, E. A., Darmawan, D., & Mardikaningsih, R. (2021). Strengthening the culture of occupational safety and health as a contributor to the formation of construction project performance. *Journal of Marketing and Business Research (MARK)*, 1(2), 59–70.
- Fina, R., Gattringer, H., Müller, A., Reischl, D., & Fritz, M. (2025). Scheduling heterogeneous fleets with skill and temporal synchronisation for automotive testing. *Proceedings*, 2054–2060. <https://doi.org/10.1109/IV64158.2025.11097588>
- Flavell, R., Rosichan, J., Xu, J., & Reynolds, M. (2025). Rethinking the need for field trials. *Nature Plants*. <https://doi.org/10.1038/s41477-025-02152-0>
- Gagnon, Y. C. (2010). *The case study as research method: A practical handbook*. PUQ. <https://doi.org/10.1515/9782760524569>
- Haqiqi, A. H. K., & Djaelani, M. (2023). Comparative analysis of the design budget for the asphalt road construction of Indraprasta View Pacet housing with the AHSP method with project design at PT Indraprasta Graha Utama. *IJESPG (International Journal of Engineering, Economic, Social Politic and Government)*, 1(4), 95–108.
- Hassan, A., & El-Rayes, K. (2020). Quantifying the interruption impact of activity delays in non-serial repetitive construction projects. *Construction Management and Economics*, 38(6), 515–533. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1657922>
- Irfan, M. (2022). Measurement of mental workload and fatigue of production operator. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 1(3), 11–13.
- Irfan, M., Ali, R., & Darmawan, D. (2024). Digital labour, production relations, and social class in the age of automation. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 5(2), 27–35.
- Jakubowicz, P. (2018). *The influence of historical conditions on time and cost of construction project*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11043.55845>
- Kallantzis, A., Borcharding, J. D., & O'Connor, J. T. (2007). Evaluation of differing subsurface ground conditions in construction contracts. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 133(1), 53–59. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2007\)133:1\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2007)133:1(53))
- Khairi, M., & Darmawan, D. (2025). Blockchain enforcement in employee data management to increase transparency and security. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 7(2), 1–5.
- Lepel, A., & Hajdu, M. (2022). Influence lines for schedule networks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1218, 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1218/1/012058>

- Meehan, C. L., Cacciola, D. V., Tehrani, F. S., & Baker, W. J. (2017). Assessing soil compaction using continuous compaction control and location-specific in situ tests. *Automation in Construction*, 73, 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.017>
- Patten, M. L. (2016). *Understanding research methods: An overview of the essentials* (9th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315213033>
- Paulo, P. (2021). *Challenges with quality control in qualitative testing*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35580.05767>
- Priyanka, V. (2024). *Systematic literature review*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13347.05922>
- Radjawane, L. E., & Darmawan, D. (2022). Construction project worker satisfaction reviewing from the role of the work environment and leadership. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 1(3), 36–40.
- Ranka, B., & Abraham, D. M. (2019). *Outsourcing of laboratory testing and inspection activities at state highway agencies: Synthesis of current practices*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16903.85923>
- Riyadin, F., & Darmawan, D. (2023). Experimental study of 3 KW generator damage types based on vibration signals. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 3(2), 27–31.
- Sharma, S., Bansal, V. K., & Parti, R. (2014). Current state of highway projects planning and scheduling. *International Journal of Information Technology Project Management*, 5(4), 50–67. <https://doi.org/10.4018/IJITPM.2014100103>
- Shrestha, P. P., & Neupane, K. P. (2020). Identification of geotechnical-related problems impacting cost, schedule, and claims on bridge construction projects. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 12(2), 04520005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000375](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000375)
- Sinambela, E. A., Darmawan, D., & Gardi, B. (2022). Production cost calculation analysis using variable costing method. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 1(2), 13–16.
- Singh, H. (2021). Material testing and evaluation. In *Materials engineering* (pp. 91–146). https://doi.org/10.1007/978-981-16-3211-2_4
- Tahera, K., Earl, C., & Eckert, C. (2017). A method for improving overlapping of testing and design. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(2), 179–192. <https://doi.org/10.1109/TEM.2017.2654223>
- Theodara, N. A., Darmawan, D., & Putra, A. R. (2022). Material management effectiveness. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 1(1), 7–10.
- Triono, B., Shaleh, M., & Mambrasari, F. R. K. (2023). Analysis of micro structure and medium hardness of carbon steel in the hardening process using cooling media. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, 3(3), 7–13.
- Tryhuba, A., Ivanyshyn, V., Chaban, V., Mushenyk, I., & Zharikova, O. (2021). Influence of agrometeorological component of the project environment on the duration of works in chemical protection projects of agricultural crops. *Independent Journal of Management & Production*, 12(3). <https://doi.org/10.14807/IJMP.V12I3.1531>

- Turner, J. R. (2023). Literature reviews: An overview of systematic, integrated, and scoping reviews. In *Research methodology in management* (pp. 645–656). https://doi.org/10.1007/978-981-99-1284-1_38
- Yang, W. L., Zhang, D., & Wang, A. (2022). Field measurement analysis of the influence of simultaneous construction of river channel and bridge on existing double shield tunnels. *Underground Space*, 7(5), 812–832. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2021.12.008>
- Zdravković, L., Potts, D. M., & Taborda, D. M. G. (2021). Integrating laboratory and field testing into advanced geotechnical design. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 27, 100216. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2020.100216>