

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Relevan

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi skala besar seperti pembangunan sistem transportasi kereta bawah tanah, penerapan metode manajemen konstruksi yang efisien diperlukan untuk meningkatkan produktivitas, akibat waktu tunggu yang tidak dapat dioptimalkan. Berikut ini merupakan beberapa hasil penelitian terdahulu yang relevan dan menjadi acuan dalam penulisan skripsi ini:

1. Pendekatan SCOR untuk pemetaan dan pengukuran kinerja rantai pasok (Wahyuniardi & Syarwani, 2017) menggunakan model *Supply Chain Operation References* (SCOR) untuk mengukur kinerja rantai pasok sepatu di PT. Brodo Ganesha Indonesia, dengan menilai empat atribut kinerja: *reliability*, *responsiveness*, *agility*, dan *asset management*. Hasilnya menunjukkan atribut *agility* memiliki skor terendah, terutama pada kemampuan rantai pasok merespons perubahan permintaan mendadak. Sejalan dengan itu, (Utomo et al., 2019) menerapkan SCOR khusus pada rantai pasok beton pracetak (studi kasus WKB) dengan memetakan lima dimensi *Plan*, *Source*, *Make*, *Deliver*, *Return* untuk mengidentifikasi risiko. Ditemukan bahwa risiko terbesar berada pada tahap *Make* (proses produksi), termasuk perubahan jadwal produksi mendadak dan keterlambatan akibat kapasitas vendor material yang terbatas hal ini relevan karena material pracetak memang dikenal memiliki *lead time* panjang, mulai dari pemesanan, produksi, hingga pengiriman ke lokasi proyek.
2. *Lean manufacturing* dan *value stream mapping* (VSM) sebagai alat reduksi *lead time* (Mapping et al., 2025) memakai VSM dan VALSAT pada produksi komponen sepatu, menemukan *waste transportation* dan *waiting* sebagai penyebab dominan, dan berhasil menurunkan *lead time* hingga 65,4% setelah perbaikan *layout* dan penambahan alat bantu transportasi. (Fatma & Ponda, 2023) menggunakan VSM dan *Process Activity Mapping* (PAM) untuk memisahkan

aktivitas bernilai tambah (VA) dan tidak bernilai tambah (NVA). Dengan menghilangkan proses *rework* dan waktu pendinginan bahan, *Process Cycle Efficiency* (PCE) meningkat drastis dari 16,8% menjadi 89,6%. (Gebeyehu et al., 2022) mengombinasikan VSM dengan *Spaghetti Diagram* dan *line balancing* untuk mengurangi jarak perpindahan material dan jumlah stasiun kerja. Hasilnya, *lead time* produksi turun 23,66%, waktu tunggu turun 37,74%, dan jarak tempuh material turun 61,2%.

3. Sintesis dan posisi penelitian

Kelima studi terdahulu menunjukkan bahwa SCOR tepat digunakan untuk memetakan risiko dan kinerja rantai pasok secara makro, sementara VSM beserta turunannya (VALSAT, PAM, *Spaghetti Diagram*) lebih efektif untuk menganalisis penyebab *lead time* secara mikro pada level proses produksi dan distribusi, namun keduanya masih diterapkan pada konteks manufaktur umum atau beton pracetak proyek konstruksi biasa, dan belum ada yang secara spesifik mengkaji material pracetak untuk proyek *railway system* seperti MRT yang memiliki karakteristik *lead time* lebih kompleks mencakup spesifikasi teknis ketat, jadwal konstruksi bertahap, dan ketergantungan tinggi pada ketepatan waktu pengiriman ke titik pemasangan di jalur rel sehingga penelitian ini diposisikan untuk mengisi celah tersebut dengan mengombinasikan pendekatan pemetaan rantai pasok (SCOR) dan analisis *waste* berbasis VSM guna mengoptimalkan *lead time* material pracetak pada studi kasus proyek MRT Jakarta.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Supply Chain Operations Reference* (SCOR)

Salah satu alat yang banyak digunakan untuk mengukur dan memetakan kinerja rantai pasok adalah model *Supply Chain Operations Reference* (SCOR). Model SCOR merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja rantai pasok berdasarkan lima proses inti, yaitu *Plan* (perencanaan), *Source* (pengadaan), *Make* (produksi), *Deliver* (pengiriman), dan *Return* (pengembalian), (Liputra & Susanto, 2018).

Menurut (Mutaqin, 2021) pemetaan rantai pasok dengan pendekatan SCOR bertujuan untuk:

- a) memperoleh pemahaman yang lebih luas mengenai struktur dan alur rantai pasok perusahaan,
- b) memudahkan proses analisis kinerja rantai pasok yang sedang berjalan,
- c) memudahkan penyusunan kerangka rinci dari setiap proses rantai pasok sehingga proses identifikasi masalah dan penentuan indikator kinerja (*Key Performance Indicator/KPI*) menjadi lebih terarah.

Untuk mengukur kinerja rantai pasok, model SCOR menggunakan lima atribut kinerja (*performance attributes*) yang masing-masing memiliki metrik pengukuran tersendiri. Kelima atribut tersebut, sebagaimana dijelaskan oleh (Wahyuniardi & Syarwani, 2017), adalah sebagai berikut.

- a) *Reliability* (keandalan), mengukur kemampuan rantai pasok dalam memenuhi pesanan secara tepat, misalnya ketepatan jumlah, kualitas, dan waktu pengiriman.
- b) *Responsiveness* (daya tanggap), mengukur kecepatan rantai pasok dalam memenuhi permintaan pelanggan.
- c) *Agility* (kelincahan), mengukur kemampuan rantai pasok beradaptasi terhadap perubahan pasar, baik peningkatan maupun penurunan permintaan secara mendadak.
- d) *Cost* (biaya), mengukur seluruh biaya yang timbul dalam menjalankan proses rantai pasok.
- e) *Asset Management Efficiency* (efisiensi pengelolaan aset), mengukur seberapa efektif perusahaan mengelola aset untuk mendukung pemenuhan permintaan.

Selain atribut kinerja, model SCOR juga membagi keseluruhan aktivitas rantai pasok menjadi lima proses inti yang saling berkaitan, yaitu:

- a) *Plan*, proses perencanaan yang menyeimbangkan permintaan dan penyediaan sumber daya untuk memenuhi kebutuhan pengadaan, produksi, dan pengiriman;

- b) *Source*, proses pengadaan bahan baku atau jasa untuk memenuhi permintaan produksi;
- c) *Make*, proses mengubah bahan baku menjadi produk jadi;
- d) *Deliver*, proses penyediaan produk jadi dan jasa, termasuk manajemen pesanan, transportasi, dan distribusi; dan
- e) *Return*, proses pengembalian atau penerimaan kembali produk, baik dari sisi pengadaan (*return* bahan baku) maupun dari sisi pengiriman (*return* produk jadi dari pelanggan).

Kelima proses inti tersebut membentuk satu siklus rantai pasok yang berkesinambungan, sehingga kinerja pada satu proses akan memengaruhi kinerja proses lainnya (Liputra & Susanto, 2018).

2.2.2 *Value Stream Mapping*

Value Stream Mapping (VSM) merupakan salah satu alat (*tools*) dalam pendekatan *lean manufacturing* yang digunakan untuk menggambarkan seluruh aliran proses, mulai dari aliran material sampai aliran informasi, yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk dari awal hingga produk tersebut sampai ke tangan konsumen. Menurut (Yola et al., 2017), VSM merupakan alat yang dapat digunakan untuk meminimasi *waste* atau pemborosan dalam proses produksi.

Salah satu keluaran penting dari VSM adalah nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE), yaitu indikator yang digunakan untuk mengukur seberapa efisien suatu proses produksi berdasarkan perbandingan antara waktu aktivitas yang bernilai tambah dengan total waktu keseluruhan proses (*lead time*). Secara matematis, PCE dihitung dengan rumus berikut (Yola et al., 2017)

$$PCE = (Value\ Added\ Time / Manufacturing\ Lead\ Time) \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Indikator yang digunakan dalam perhitungan PCE terdiri atas tiga jenis aktivitas (Fernando, 2016), yaitu:

- a) *Value Added* (VA), aktivitas yang secara langsung memberikan nilai tambah pada produk dan bersedia dibayar oleh pelanggan, misalnya proses pengolahan bahan baku menjadi produk;
- b) *Non-Value Added* (NVA), aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan tergolong pemborosan sehingga sebaiknya dihilangkan, misalnya waktu tunggu (*waiting*) dan perpindahan (*transportation*) yang tidak perlu; dan
- c) *Necessary but Non-Value Added* (NNVA), aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah tetapi tetap diperlukan pada kondisi saat ini, misalnya inspeksi kualitas.

Semakin tinggi nilai PCE menunjukkan bahwa proporsi aktivitas bernilai tambah dalam suatu proses semakin besar dibandingkan dengan aktivitas yang tidak bernilai tambah, sehingga proses tersebut dapat dikatakan semakin efisien.

2.2.3 Konsep *Manufacturing Lead Time*

Manajemen rantai pasok *lean* memprioritaskan optimasi sumber daya, bertujuan meminimalkan waktu, ruang, investasi, dan biaya dalam produksi. Pendekatan ini adalah mengidentifikasi dan menghilangkan tujuh jenis pembongkaran, yaitu meningkatkan fleksibilitas, menurunkan biaya, mengoptimalkan perputaran inventaris, mengurangi waktu tunggu, dan mencegah cacat (Kimwaki, 2024). *lean manufacturing* mendorong peningkatan efisiensi proses manufaktur dan produksi. Konsep ini menitikberatkan pada upaya meminimalkan tingkat persediaan serta menghilangkan berbagai aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Pendekatan ini berusaha memangkas aktivitas yang berpotensi mengurangi *profit* bahkan memicu kerugian (Khoeruddin & Indrasti, 2023).

Lead time merupakan sumber ketidakpastian yang dapat menyebabkan biaya keterlambatan (*backlog*) dan biaya penyimpanan persediaan, sehingga

perlu dikelola dengan baik pada perencanaannya (Ben-ammar et al., 2020).

Berikut rumus perhitungan:

$$MLT = VA + NNVA + NVA \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

MLT = *Manufacturing lead time* (Jam)

VA = *Value added*, aktivitas yang memberikan nilai tambah (Jam)

NVA = *Not value added*, menunjukkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (Jam)

2.2.4 Produksi Material Pracetak Proyek MRT Jakarta

(You et al., 2022) menjelaskan bahwa produksi *sleeper* beton pratekan pada dasarnya dibedakan berdasarkan dua konsep penerapan gaya prategang, yaitu *pre-tensioning* (penarikan kawat sebelum pengecoran beton) dan *post-tensioning* (penarikan kawat setelah beton mengeras). Berdasarkan proses produksinya, metode kontemporer dikelompokkan menjadi dua kategori besar, yakni metode sistem cetakan panjang (*long-line system method*) dan metode aliran cetakan (*mould flow method*), yang selanjutnya terbagi lagi menjadi metode aliran cetakan panjang dan pendek, dengan variasi teknik penjangkaran gaya prategang (*self-anchoring* atau *anchorage-anchoring*) serta waktu pelepasan cetakan (setelah curing atau *instant demoulding*).

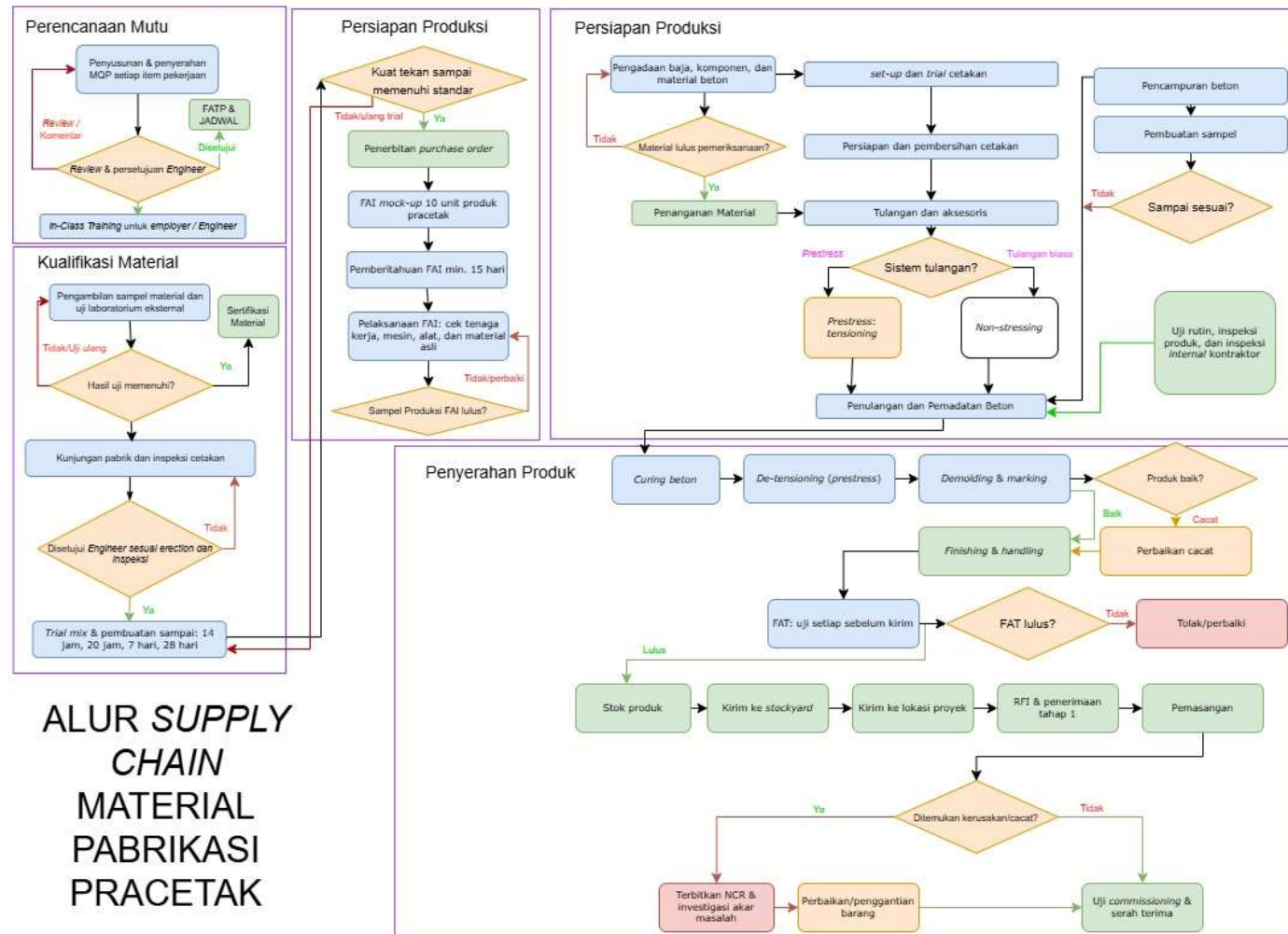
Markulik dkk. (2022) meneliti akar penyebab cacat produksi *sleeper* beton pratekan di sebuah pabrik di Slovakia dengan menganalisis 14.081 *sleeper*, di mana 301 di antaranya cacat, dan menemukan bahwa 41% cacat disebabkan oleh patahnya baut pengencang rahang penjepit kawat prategang (baut torsi 23 Nm pada matriks 40 kawat 3 mm); meskipun komposisi kimia baut sesuai standar STN 12 061/EN ISO C60E, uji kekerasan dan mikrostruktur menunjukkan baut tidak mendapat perlakuan panas memadai (hanya 241 HBW, jauh di bawah standar quenching-tempering 345–530 HV) sehingga rapuh dan patah prematur, melonggarkan sistem penjepit dan

menyebabkan *sleeper* cacat; sebagai tindakan korektif, perusahaan menerapkan uji kekerasan pada setiap baut dari pemasok sebelum digunakan, yang berhasil menurunkan tingkat cacat dari 2,14% menjadi sekitar 1% pada bulan berikutnya.

(You et al., 2022) memberikan gambaran menyeluruh mengenai berbagai metode dan teknologi produksi beserta implikasi ekonomi dan lingkungannya, sementara (Markulik et al., 2022) menunjukkan secara empiris bagaimana kegagalan pada komponen kecil seperti baut pengencang tulangan dapat menjadi akar penyebab utama cacat produk *sleeper* secara keseluruhan, tetapi juga sangat bergantung pada ketepatan proses manufaktur, kontrol kualitas material pendukung (seperti baut dan cetakan), serta pemilihan metode produksi yang sesuai dengan kebutuhan efisiensi, biaya, dan keberlanjutan lingkungan, sebagaimana diperkuat oleh temuan (Chang & Lin, 2019) pada *sleeper* prategang yang telah beroperasi sekitar satu tahun dengan kuat tekan aktual rata-rata 63,67 MPa, jauh melebihi kuat tekan rencana 50 MPa.

2.2.5 Alur Produksi Material Pracetak

Alur *supply chain* material pabrikasi pracetak *Sleeper* pada Proyek *Railway Systems* MRT Jakarta merupakan rangkaian proses saling terkait, mulai dari perencanaan mutu hingga serah terima produk. Manajemen rantai pasok terbukti berpengaruh besar terhadap kinerja proyek konstruksi, dengan material sebagai faktor paling menentukan biaya, jadwal, mutu, dan efisiensi operasional (Sasongko et al., 2025). Pada industri beton pracetak, persaingan menuntut produsen memenuhi ekspektasi pelanggan dari sisi waktu dan kualitas sekaligus (Suprana et al., 2020). Karakteristik *sleeper* sebagai elemen pratekan menambah kompleksitas pengendalian mutu, sesuai regulasi teknis perkeretaapian (Kurniawan et al., 2022) dan spesifikasi konstruksi jalan rel (Aulia et al., 2022). Proses ini terbagi enam tahap utama perencanaan mutu, kualifikasi material, produksi harian, pengerasan, pengujian-pengiriman, serta pemasangan disajikan dalam diagram alir berikut.



Gambar 2.1 Alur Produksi Material Pracetak

(Sumber: Dokumen *Internal*)

Berdasarkan gambar 2.1 proses pengerjaan rantai pasok material pabrikasi pracetak PC *Sleeper* pada Proyek *Railway Systems* MRT Jakarta secara bertahap:

a. Perencanaan Mutu

1. Penyusunan dokumen mutu. Kontraktor menyusun *Manufacturing Quality Plan* (MQP), dan perencanaan pelaksanaan untuk setiap item pekerjaan.
2. Telaah dan persetujuan *Engineer*. Dokumen diajukan kepada *Engineer* untuk ditelaah. Bila terdapat catatan, dokumen dikembalikan untuk direvisi. Bila disetujui, alur berlanjut ke langkah berikutnya.
3. Persamaan pemahaman antarpihak. Dilaksanakan pelatihan singkat bagi *employer* dan *Engineer* agar penafsiran kriteria penerimaan seragam sebelum pekerjaan fisik dimulai.

b. Kualifikasi Material dan Fasilitas

1. Pengujian material di laboratorium eksternal. Sampel semen, agregat, baja pratekan, dan bahan tambah dikirim ke laboratorium independen untuk diuji.
2. Penerbitan sertifikat mutu material. Material yang lolos memperoleh sertifikat. Bila tidak lolos, material dikembalikan atau diuji ulang.
3. Kunjungan pabrik dan inspeksi cetakan. *Engineer* memverifikasi kesiapan fasilitas produksi dan geometri cetakan agar sesuai dengan metode penggunaan.
4. Pelaksanaan *trial mix*. Komposisi campuran diuji kuat tekannya pada umur 14 jam, 20 jam, 7 hari, dan 28 hari. Bila belum memenuhi standar, campuran disesuaikan dan pengujian diulang.
5. Penerbitan *purchase order*. Setelah campuran terbukti memenuhi standar, produsen memesan material dalam jumlah produksi kepada pemasok.
6. Pelaksanaan *First Article Inspection* (FAI). Diproduksi sepuluh unit contoh, dengan pemberitahuan kepada pengawas paling lambat lima

belas hari sebelumnya. Kelulusan pada langkah ini menjadi izin dimulainya produksi *massal*.

c. Siklus Produksi Harian

1. Kedatangan dan pemeriksaan material. Material yang datang setiap hari diperiksa kesesuaiannya dengan sertifikat mutu, kemudian disimpan dan ditangani sesuai persyaratan.
2. Persiapan dan pembersihan cetakan. Cetakan disetel dan dibersihkan pada awal setiap siklus produksi untuk menjaga mutu permukaan produk.
3. Pemasangan tulangan dan aksesoris. Tulangan beserta *insert* dan *shoulder* dipasang sesuai gambar kerja.
4. Penarikan kabel prategang (*tensioning*). Karena PC *Sleeper* merupakan produk pratekan, kabel ditarik hingga mencapai gaya prategang rencana.
5. Pencampuran beton dan pembuatan benda uji. Beton dicampur sesuai komposisi yang disetujui, disertai pengambilan benda uji untuk pembuktian mutu setiap adukan.
6. Penuangan dan pemadatan beton. Beton dituang ke dalam cetakan dan dipadatkan, didampingi inspeksi rutin oleh kontraktor.

d. Pengerasan dan Pemeriksaan Produksi

1. Perawatan beton (*curing*). Dilakukan dengan penguapan selama sepuluh jam per siklus untuk mencapai kuat tekan transfer paling sedikit 35 MPa.
2. Pelepasan gaya prategang (*de-tensioning*). Setelah kuat tekan transfer tercapai, gaya prategang dialihkan dari kabel ke beton.
3. Pelepasan cetakan dan penandaan. Produk dikeluarkan dari cetakan lalu diberi nomor produksi dan tanggal sebagai identitas ketertelusuran.
4. Inspeksi produk secara visual dan dimensi. Produk dipilah menjadi produk baik dan produk cacat. Produk cacat masuk ke jalur perbaikan.

5. Perbaiki cacat (bila ada). Produk cacat diperbaiki, kemudian diperiksa ulang sebelum kembali ke jalur utama.
 6. Penyelesaian akhir dan penanganan produk. Permukaan produk dirapikan dan produk ditangani agar tidak mengalami kerusakan pada saat penumpukan.
- e. Pengujian, Penyimpanan, dan Pengiriman
1. *Factory Acceptance Test per batch*. Setiap batch berisi 200 pcs diuji sebelum dilepas dari pabrik. Produk yang lulus memperoleh izin kirim, sedangkan yang tidak lulus ditolak atau diperbaiki.
 2. Penyimpanan di *stockyard*. Produk yang telah lulus disimpan menunggu jadwal pengiriman ke lokasi proyek. Batas simpan yang diizinkan adalah 28 hari.
 3. Pengiriman ke *stockyard* dan lokasi proyek. Dilakukan dua kali perpindahan, yaitu dari pabrik ke *stockyard* dan dari *stockyard* ke lokasi pemasangan.
 4. Pengajuan *Request for Inspection* (RFI). Produsen mengajukan RFI kepada pemilik proyek sebagai dasar penerimaan produk di lokasi pekerjaan.
- f. Pemasangan dan Serah Terima
1. Pemasangan di jalur. Produk dipasang pada jalur sesuai metode kerja yang disetujui.
 2. Pemeriksaan pasca-pemasangan. Bila ditemukan kerusakan, diterbitkan *Non-Conformance Report* beserta investigasi akar masalah, dilanjutkan perbaikan atau penggantian barang.
 3. Pengujian *commissioning* dan serah terima. Sistem diuji fungsinya secara menyeluruh, kemudian pekerjaan diserahkan kepada pemilik proyek sebagai penutup rantai pasok.