



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



MANAJEMEN OPERASI KONSTRUKSI UNTUK PENINGKATAN KINERJA PROYEK KONSTRUKSI DI INDONESIA

Profesor Muhamad Abduh

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
16 Maret 2024

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**MANAJEMEN OPERASI KONSTRUKSI
UNTUK PENINGKATAN KINERJA
PROYEK KONSTRUKSI DI INDONESIA**

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

MANAJEMEN OPERASI KONSTRUKSI UNTUK PENINGKATAN KINERJA PROYEK KONSTRUKSI DI INDONESIA

Prof. Muhamad Abduh

16 Maret 2024
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:

**MANAJEMEN OPERASI KONSTRUKSI UNTUK PENINGKATAN KINERJA
PROYEK KONSTRUKSI DI INDONESIA**

Penulis : Prof. Muhamad Abduh

Reviewer : Prof. Biemo Woerjanto Soemardi

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-418-0

e-ISBN : 978-623-297-419-7 (PDF)



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

PRAKATA

Buku ini dipersiapkan sebagai bagian dari kegiatan Orasi Ilmiah Guru Besar yang diselenggarakan oleh Forum Guru Besar ITB. Sudah menjadi tradisi di ITB, tidak ada acara pengukuhan guru besar, dan sebagai penggantinya diadakanlah kegiatan Orasi Ilmiah Guru Besar ini. Kegiatan ini ditujukan sebagai pertanggungjawaban seorang akademisi yang telah mencapai kepangkatan guru besar, sosialisasi karya-karya terkait topik bahasan, dan komitmen akademisi tersebut, untuk masa yang akan datang, pada bidang kepakarannya.

Buku ini bermaksud untuk menyampaikan pentingnya manajemen operasi konstruksi diterapkan secara efektif oleh praktisi konstruksi di Indonesia untuk meningkatkan kinerja konstruksi Indonesia. Manajemen operasi konstruksi ini merupakan bidang kepakaran yang banyak saya geluti sejak kepulangan saya dari studi doktoral di Amerika tahun 2000 hingga saat ini, yang juga menjadi komitmen saya untuk pengembangan kepakaran tersebut pada masa yang akan datang. Hal ini didukung dengan semakin banyaknya praktisi konstruksi, termasuk di Indonesia, yang telah sadar akan pentingnya manajemen operasi konstruksi, dan mulai tertarik untuk menerapkan berbagai ilmu pengetahuan, teknik, dan metode terkait dalam praktik di lapangan.

Saya memuji Allah, Tuhan Yang Maha Pencipta dan Pemilik Semua Ilmu, serta bersyukur akan amanat yang diberikan kepada saya dalam bidang kepakaran manajemen operasi konstruksi, dan juga akan terbitnya buku ini. Tidak lupa, saya mengucapkan terima kasih kepada Forum Guru Besar ITB dan semua pihak yang berkontribusi dalam penerbitan buku ini dan pelaksanaan kegiatan Orasi Ilmiah Guru Besar ITB.

Selamat membaca, semoga bermanfaat.

Bandung, 16 Maret 2024

Muhamad Abduh

SINOPSIS

Buku ini menawarkan salah satu upaya peningkatan kinerja proyek konstruksi di Indonesia melalui penerapan keilmuan manajemen operasi konstruksi (MOK), sebagai bagian integral dari keilmuan manajemen proyek konstruksi (MPK) yang sudah lama dipraktikkan. Untuk itu dalam buku ini dibahas aspek mendasar dari produk, proses produksi, ilmu yang berkaitan dengannya, serta permasalahan pada sektor konstruksi secara umum dan juga khususnya pada konteks Indonesia. Perbedaan definisi dan peran MPK dan MOK, akan disampaikan di dalam buku ini, sehingga dikotomi antar-keduanya tidak perlu ada, tetapi ketidakfokusan pada salah satunya akan menjadikan kinerja proyek konstruksi tidak seperti yang diharapkan.

Buku ini akan lebih banyak membahas bagaimana selayaknya MOK diterapkan di proyek konstruksi beserta beberapa penjelasan seperti pentingnya perbaikan cara pandang (paradigma) produksi, alternatif metode kendali produksi, serta kebutuhan ilmu dan teknologi pendukung produksi, yang diistilahkan sebagai sains operasi. Berbagai perkembangan keilmuan terkait dengan MOK disampaikan secara ringkas untuk dapat menjadi referensi bagi pembaca yang tertarik untuk mempelajarinya lebih lanjut, seperti konstruksi ramping, manajemen produksi proyek, rantai pasok konstruksi, dan konstruksi 4.0. Pada bagian akhir, disampaikan tantangan dalam upaya adopsi dan penerapan MOK pada proyek konstruksi di Indonesia.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
SINOPSIS	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
1 Pendahuluan	1
2 Natur dan Permasalahan Proyek Konstruksi	5
2.1 Natur Produk dan Produksi Konstruksi	5
2.2 Permasalahan Proyek Konstruksi	11
2.3 Sistem dan Lingkungan Proyek Konstruksi di Indonesia	14
3 Manajemen Proyek dan Operasi Konstruksi	19
3.1 Perkembangan Penyelenggaraan Proyek Konstruksi	19
3.2 Hubungan Manajemen Proyek dan Operasi Konstruksi	23
3.3 Sains Operasi.....	24
4 Perkembangan Manajemen Operasi Konstruksi	31
4.1 Konstruksi Ramping.....	31
4.2 Manajemen Produksi Proyek.....	43
4.3 Rantai Pasok Konstruksi	49
4.4 Konstruksi 4.0.....	54
5 Tantangan Implementasi di Indonesia.....	59
5.1 Konteks Teknologi	59
5.2 Konteks Organisasi.....	61
5.3 Konteks Lingkungan	63
6 Penutup.....	67
7 Ucapan Terima Kasih.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
CURRICULUM VITAE.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Matriks karakteristik produk dan proses produksi secara umum.	6
Gambar 2	Perbandingan karakteristik manufaktur dan konstruksi.	7
Gambar 3	Daur hidup produk manufaktur	8
Gambar 4	Daur hidup produk konstruksi	9
Gambar 5	Hierarki lingkup pekerjaan konstruksi dan lingkup manajemen	10
Gambar 6	Fragmentasi horizontal, vertikal, dan longitudinal.....	12
Gambar 7	Kontraktual antara kontraktor dan rantai pasoknya	13
Gambar 8	Lingkup UUK No. 2 tahun 2017	16
Gambar 9	Era perkembangan penyelenggaraan proyek konstruksi	19
Gambar 10	Hubungan antara tingkat utilisasi dengan waktu siklus	28
Gambar 11	Berbagai bentuk persediaan (<i>inventory</i>)	29
Gambar 12	Hubungan antara WIP dan durasi pekerjaan serta hasil	29
Gambar 13	Contoh kebutuhan dan hasil <i>work structuring</i>	36
Gambar 14	Ilustrasi perencanaan dengan pendekatan <i>takt-time</i>	39
Gambar 15	Konsep sistem perencanaan akhir atau <i>the last planner system</i>	41
Gambar 16	Upaya integrasi yang dilakukan oleh sistem perencanaan akhir ...	42
Gambar 17	Komponen besar PPM	43
Gambar 18	Lima hal penting yang dapat mengungkit kinerja dalam PPM ..	44
Gambar 19	Tiga kurva penting dalam sains operasi.....	45
Gambar 20	Aliran material ke lokasi proyek dan proses pemasangannya ...	46
Gambar 21	Hubungan pengendalian proyek dan pengendalian produksi	48
Gambar 22	Konsep rantai pasok di proyek konstruksi	50
Gambar 23	Kebutuhan sinkronisasi antara operasi	52
Gambar 24	Model konseptual kembar digital konstruksi.....	55
Gambar 25	Konvergensi produksi konstruksi dan manufaktur	56
Gambar 26	Konsep <i>computer-aided production engineering</i> dengan BIM	57

1 PENDAHULUAN

Tantangan bagi pengelolaan proyek konstruksi di mana pun, tidak hanya di Indonesia, saat ini semakin membesar. Hal ini dikaitkan dengan semakin tingginya harapan pemilik proyek, tersedianya teknologi konstruksi dan teknologi pendukungnya yang memiliki kemampuan yang semakin tinggi, adanya generasi pekerja konstruksi yang baru, semakin banyaknya pengusaha baru yang inovatif di sektor konstruksi, hadirnya kebijakan pemerintah terkait konstruksi yang mendukung, serta banyaknya proyek-proyek infrastruktur yang menantang (Wyman, 2018). Di lain pihak, kinerja proyek-proyek konstruksi masih sering dikeluhkan, seperti banyaknya keterlambatan penyelesaian proyek, tidak sesuainya biaya proyek aktual dengan rencana, dan rendahnya kualitas produk konstruksi yang dihasilkan (Barbosa et.al., 2017). Disampaikan oleh Zabelle (2024) bahwa pada proyek-proyek konstruksi yang besar terdapat 31% yang tidak sesuai biaya dan waktunya, 48% tidak sesuai biaya atau waktunya, 21% yang sesuai biaya dan waktunya, dan hanya 9% yang sesuai biaya, waktu, dan mutunya. Semua ketidaksesuaian-harapan ini berdampak langsung kepada pihak-pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi tersebut, dan bahkan berdampak tidak langsung kepada kegiatan perekonomian yang didukung oleh produk konstruksi tersebut, yang ujungnya akan berdampak kepada perekonomian suatu negara.

Berbagai upaya untuk meningkatkan kinerja proyek konstruksi telah banyak dilakukan selama ini, terutama dengan melakukan adopsi ilmu pengetahuan dan praktik terbaik dari industri manufaktur yang terbukti telah memiliki kinerja lebih baik; pekerjaan yang dikategorikan sebagai pemborosan (*waste*) di konstruksi mencapai 57% dibandingkan manufaktur yang hanya 27% dengan sebaliknya pekerjaan yang memberikan *value added* di konstruksi hanya 10% sedangkan di manufaktur bisa mencapai 62% (LCI, 2024). Tentunya, pembelajaran dari industri manufaktur ini tidak boleh hanya sekedar mengikuti saja, tetapi harus dibarengi juga dengan adopsi yang mempertimbangkan perbedaan karakter antara manufaktur dan konstruksi.

Terkait ini, digambarkan oleh Shenoy & Zabelle (2016) akan adanya 3 era dalam pengelolaan proyek konstruksi, di mana 2 era pertama merupakan kebiasaan yang saat ini banyak dipraktikkan, yang hanya berfokus pada upaya

peningkatan produktivitas (Era 1) dan prediktibilitas (Era 2) proyek konstruksi. Sedangkan era ketiga merupakan upaya perbaikan lebih lanjut, karena masih adanya ketidakpuasan terhadap kinerja proyek konstruksi saat ini, yang berfokus pada profitabilitas bagi semua pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi. Era 1 dan 2, ditenggarai lebih fokus kepada pengelolaan proyek konstruksi, sedangkan Era 3 diharapkan untuk lebih fokus kepada pengelolaan operasi konstruksi atau manajemen produksi.

Kinerja proyek konstruksi di Indonesia, secara umum, saat ini memang masih belum memuaskan banyak pihak yang terlibat. Selain terdapat permasalahan dalam penetapan kebutuhan sehingga proyek tersebut diadakan (*doing the right project*), juga terdapat permasalahan dalam pelaksanaan proyeknya (*doing the project right*). Kinerja proyek konstruksi ini tentunya tidak terlepas dari sistem yang diadopsi Indonesia dalam penyelenggaraan proyek konstruksi, serta lingkungan di mana proyek tersebut dilaksanakan (Pribadi & Soemardi, 2020). Buku ini akan berkontribusi kepada pelaksanaan proyek yang baik (*doing the project right*), dengan asumsi bahwa proyek yang dilaksanakan memang dibutuhkan, *the right project*.

Pada buku ini, akan disampaikan natur konstruksi dibandingkan dengan manufaktur sebagai pembanding, untuk masuk dalam konteks penggunaan ilmu operasi yang banyak digunakan oleh manufaktur dan akan diadopsi oleh konstruksi; dengan mempertimbangkan bahwa industri manufaktur memiliki kinerja yang jauh lebih baik dari konstruksi. Selain itu akan disampaikan praktik yang selama ini dilakukan dalam pengelolaan proyek konstruksi beserta berbagai permasalahan yang menyertainya sehingga kinerja proyek konstruksi di Indonesia, yang juga terjadi di kebanyakan negara, kurang memuaskan. Salah satu yang ditengarai menjadi penyebabnya adalah terlalu fokusnya praktisi konstruksi kepada manajemen proyek konstruksi (MPK), dan melupakan pentingnya manajemen operasi konstruksi (MOK), sehingga pengelolaannya diserahkan kepada pihak lain, yaitu subkontraktor atau tim kerja, atau pun dengan cara melakukan perencanaan dan pengendalian yang kurang memadai. Perbedaan definisi dan peran keduanya, MPK dan MOK, akan disampaikan di dalam buku ini, sehingga dikotomi antar-keduanya tidak perlu ada, tetapi ketidak-fokusan pada salah satunya akan menjadikan kinerja proyek konstruksi tidak seperti yang diinginkan.

Dikarenakan MPK sudah menjadi hal yang biasa dilakukan oleh praktisi konstruksi saat ini, maka buku ini akan lebih banyak membahas bagaimana selayaknya MOK diterapkan di proyek konstruksi beserta beberapa penjelasan seperti pentingnya perbaikan cara pandang (paradigma) produksi, alternatif metode kendali produksi, serta kebutuhan teknologi pendukung produksi. Karakteristik sektor konstruksi secara umum maupun secara khusus di Indonesia menjadi konteks yang penting, karena pada dasarnya MOK maupun MPK merupakan keilmuan yang diadopsi dari industri manufaktur, yang membutuhkan adaptasi dalam penerapannya di sektor konstruksi.

Buku ini diharapkan dapat menjawab beberapa pertanyaan berikut terkait proyek konstruksi beserta bagaimana meningkatkan kinerjanya dengan menerapkan manajemen operasi konstruksi sebagai bagian integral dari manajemen proyek konstruksi:

- a. Apa natur dari proyek konstruksi? Apakah natur tersebut tidak dapat berubah atau masih ada potensi untuk diubah seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi terkait?
- b. Apakah produk konstruksi itu unik? Mungkinkah produk konstruksi itu berjumlah banyak? Mungkinkah produk konstruksi itu berulang?
- c. Apakah proses menghasilkan produk konstruksi itu mirip dengan produksi di manufaktur? Apakah daur hidup produknya memiliki kesamaan? Pada bagian mana yang mirip dan pada bagian mana yang berbeda?
- d. Apa saja permasalahan yang dihadapi proyek konstruksi secara umum? Dan apakah ada permasalahan khusus yang dihadapi oleh proyek konstruksi di Indonesia?
- e. Apakah konteks negara Indonesia yang masih sedang berkembang, memberikan dampak kepada kinerja konstruksi Indonesia? Faktor apa yang paling berperan dalam menentukan kinerja konstruksi di Indonesia?
- f. Bagaimana perkembangan penyelenggaraan proyek konstruksi hingga saat ini? Apa ada yang membedakan satu rentang waktu dengan rentang waktu lainnya?
- g. Apa bedanya manajemen proyek dan manajemen operasi konstruksi? Apakah bedanya manajemen operasi konstruksi dengan manajemen operasi aset? Bagaimana hubungan keduanya?

- h. Ilmu dasar apa yang harus dimiliki untuk dapat mengelola operasi konstruksi dengan baik?
- i. Apa saja perkembangan keilmuan terkait dengan manajemen operasi konstruksi yang perlu diadopsi ke dalam konteks Indonesia?
- j. Sejauh mana telah diterapkan dan apa saja tantangan dalam menerapkan manajemen operasi konstruksi di Indonesia?
- k. Apa rekomendasi tindak lanjut yang perlu dilakukan oleh berbagai pemegang kepentingan konstruksi di Indonesia untuk menerapkan manajemen operasi konstruksi secara efektif?

Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan di atas, diharapkan dapat membuka mata praktisi, akademisi, dan pemerintah akan pentingnya keilmuan manajemen operasi konstruksi dan implementasinya dalam praktik di lapangan sebagai upaya bersama meningkatkan kinerja proyek konstruksi di Indonesia.

2 NATUR DAN PERMASALAHAN PROYEK KONSTRUKSI

Sebagai upaya penyamaan pemahaman terhadap objek yang dibahas pada buku ini dan juga konteksnya, maka pada bagian ini disampaikan bagaimana natur produk dan juga proses produksi konstruksi dengan membandingkannya dengan apa yang terjadi pada manufaktur. Permasalahan laten di proyek konstruksi secara umum dan juga yang terjadi pada konteks di Indonesia disampaikan pada akhir bagian ini.

2.1 Natur Produk dan Produksi Konstruksi

Konstruksi jelas merupakan suatu jenis produksi sebagaimana Koskela (1999) sampaikan saat menetapkan teori produksi dan menunjukkan penggunaannya dalam konstruksi. Ide dasarnya adalah konstruksi itu hendaknya tidak dilihat sebagai transformasi saja, tetapi dipahami sebagai suatu aliran karya dan kreasi nilai juga. Womack & Jones (1996) bersama Hopp & Spearman (2008) memahami produksi sebagai aliran dan juga transformasi.

Definisi umum tentang natur konstruksi dari sudut pandang produksi disebutkan oleh Bertelsen & Koskela (2004) sebagai:

“Construction is complex production of a one-of-a-kind product undertaken mainly at the delivery point by cooperation within a multi-skilled ad-hoc team.”

Jadi, definisi konstruksi di atas setidaknya menunjukkan empat ciri, bahwa konstruksi adalah produksi (*production*) dan menghasilkan produk yang unik (*one-of-a-kind*), juga rumit (*complex*) dan dilakukan melalui kerja sama oleh organisasi sementara (*ad-hoc*).

Jika melihat matriks produk-proses (Gambar 1, yang diadopsi dari Hopp & Spearman (2008) dan Spearman & Choo (2018) yang merupakan konsep dasar dalam manajemen sains, khususnya sains operasi), maka konstruksi biasanya dikategorikan ke dalam produk yang jumlahnya sedikit, bahkan unik, dengan proses yang berupa pekerjaan pesanan (*job shop*) dengan aliran yang tak beraturan (*jumbled flow*). Pemahaman ini perlu diperluas, karena pada kenyataannya proyek konstruksi merupakan kumpulan dari beberapa

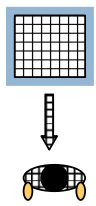
proses produksi. Proses untuk setiap jenis produk harus disesuaikan secara cermat dengan produksi yang berlangsung, guna mengoptimalkan kinerja pelaksanaan proyek secara keseluruhan, dan juga karena adanya variabilitas yang harus dikendalikan. Pada proyek konstruksi terdapat proses yang menerus (*continuous*) seperti proses pencampuran dan penuangan beton di lokasi. Jalur perakitan (*assembly line*) terdapat pula di proyek konstruksi, tetapi dilakukan di luar lokasi proyek (*off-site*), seperti pembuatan pengencang atau *fastener* dalam jumlah yang sangat banyak. Sistem *batch* pun terdapat di proyek konstruksi ketika terdapat kebutuhan beberapa sistem pendingin khusus yang didesain dan diproduksi dalam beberapa unit untuk mendukung bangunan *data center* pada lokasi produsen sistem pendingin tersebut. Dan yang terakhir, aliran tak beraturan (*jumbled flow*) yang memang banyak terdapat di lokasi proyek konstruksi.

		Karakteristik Produk			
		Vol. Sedikit Unik	Vol. Sedikit Beberapa	Vol. Banyak Baku	Vol. Sangat Banyak Komoditas
Karakteristik Proses	Jumbled Flow (Job Shop)				
	Disconnected Line Flow (Batch)				
	Connected Line Flow (Assembly Line)				
	Continuous				

Gambar 1 Matriks karakteristik produk dan proses produksi secara umum.

Meskipun konstruksi dikategorikan sebagai produksi, sebagaimana telah disampaikan di atas, jika dibandingkan dengan produksi di industri manufaktur, terdapat beberapa perbedaan pokok pada proses produksinya di lapangan jika dibandingkan dengan di lantai produksi (*production line*). Di lantai produksi, suatu kegiatan produksi dilakukan sebagaimana tergambar-kan pada Gambar 2. Dalam hal ini, tenaga kerja akan menunggu pelaksanaan tugas (*task*) yang sangat spesifik untuk setiap individu tenaga kerja, sejalan dengan keberadaan produk setengah jadi (*work in process*, atau WIP) yang datang kepadanya melalui sistem ban berjalan (*conveyor belt*). Setiap tenaga kerja akan memberikan kontribusi penambahan komponen atau kualitas kepada produk akhir.

Konstruksi

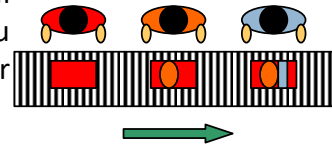


Unik
Hanya Sekali
Pesanan
Prosumer

Pekerja Berjalan - Produk Diam

Manufaktur

Masal
Berkali-kali
Baku
Konsumer



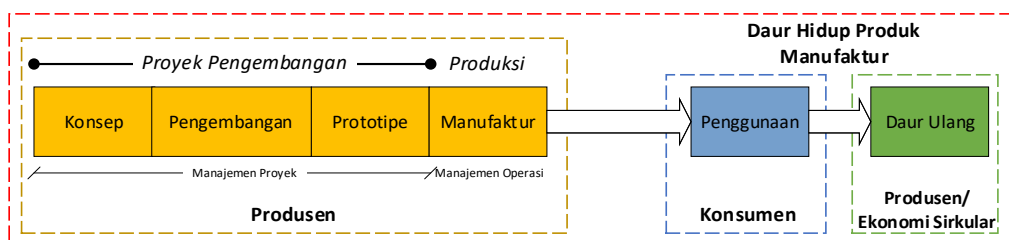
Pekerja Diam - Produk Berjalan

Gambar 2 Perbandingan karakteristik manufaktur dan konstruksi.

Di suatu lokasi di proyek konstruksi, sebagai lokasi produksi, suatu tim kerja atau pekerja akan datang ke lokasi di mana pelaksanaan tugas akan dilakukan. Satu tim kerja dengan tugas spesifik tersebut akan meninggalkan produk setengah jadi (WIP) hasil tugasnya untuk selanjutnya menjadi lokasi pelaksanaan tugas tim kerja selanjutnya. Setiap tim kerja akan memberikan kontribusi penambahan komponen atau kualitas kepada produk akhir. Proses produksi seperti ini yang kemudian disebut sebagai *'Parade of Trades'*. Dalam parade ini, terlihat bahwa suatu tim kerja akan menyediakan tempat kerja kepada tim kerja selanjutnya. Jika tempat kerja ini tidak ada, karena pekerja sebelumnya belum selesai bekerja atau tidak sempurna melaksanakan tugasnya, maka suatu tim kerja jelas tidak akan dapat menjalankan tugasnya. Hal ini merupakan *idle* atau kegiatan menunggu, yang tidak lain merupakan bagian dari pemborosan (*waste*). Jika proses konstruksi ini berulang, misalnya membuat beberapa kolom beton pada suatu lantai, maka akan dapat dihitung seberapa banyak *idle* untuk setiap tim kerjanya. Dalam hal ini, keseragaman atau variasi kecepatan bekerja atau produktivitas tim kerja menjadi permasalahan. Tentunya *waste* akan menjadi lebih besar jika produk hasil pekerja tersebut tidak dapat diterima (kualitas buruk), yang berarti secara fisik merupakan *waste*, yang ditolak dan dibuang, serta membutuhkan pekerjaan perbaikan atau pekerjaan ulang (*rework*) yang membutuhkan sumber daya tambahan.

Jika dibandingkan antara bagaimana daur hidup produk dari manufaktur dibandingkan dengan produk konstruksi, dengan mengacu pada daur hidup produk dari Eby (2017), maka terlihat bahwa pada prinsipnya, keduanya sama saja (lihat Gambar 3 dan 4). Pada Gambar 3, daur hidup produk manufaktur dimulai dengan produsen melakukan pengembangan produk berbasis pendekatan proyek (*project-based activity*), yang bersifat temporal untuk

mencapai tujuan tertentu. Kegiatan proyek pengembangan produk tersebut dimulai dengan pendefinisian ide dan juga konsep desainnya, dengan berbagai metode yang telah baku di industri manufaktur. Konsep ini kemudian dikembangkan lebih lanjut atau lebih detail, termasuk kajiannya atau analisisnya, biasanya dengan menggunakan simulasi dan visualisasi. Jika telah sesuai, maka akan dibuat prototipenya sehingga kepastian rancangan, perilaku dan kinerja sudah dapat diprediksi dan diyakinkan. Jika semuanya memuaskan, maka prototipe ini akan dibawa ke tahapan manufaktur di rantai kerja, diproduksi dalam jumlah banyak sesuai dengan rencana bisnis yang telah ditargetkan. Tahapan manufaktur ini disebut sebagai tahap produksi, yang sifatnya berulang, karena sudah merupakan bagian dari operasi (*operation-based activity*) produsen tersebut dan dilakukan dalam jumlah yang banyak. Ilmu yang digunakan untuk mengelola proyek pengembangan disebut sebagai manajemen proyek (MP), sedangkan ilmu yang digunakan untuk mengelola produksi disebut sebagai manajemen operasi (MO). Terlihat di sini, MP digunakan untuk satu kali proyek pengembangan, sedangkan MO digunakan untuk beberapa kali produksi (berulang). Produk yang dihasilkan nantinya akan didistribusikan ke konsumen untuk digunakan, dan jika umur layannya sudah habis, maka akan didaur ulang oleh produsen itu sendiri atau oleh pihak ketiga yang mengelola sirkular ekonomi.

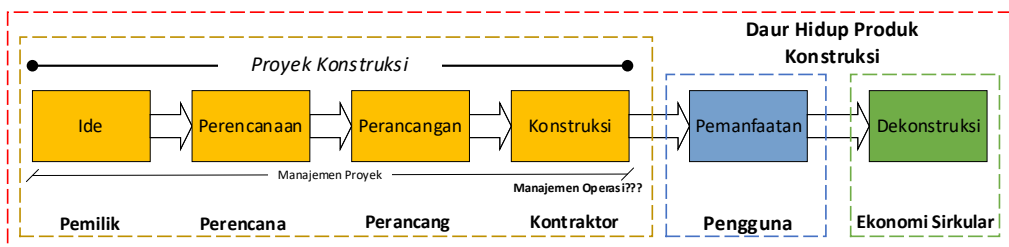


Gambar 3 Daur hidup produk manufaktur

Jika diperhatikan pada Gambar 4, secara umum daur hidup produk konstruksi mirip dengan daur hidup produk manufaktur, dengan beberapa perbedaan untuk diperhatikan, yaitu:

- a. Pada tahapan sebelum pemanfaatan produk konstruksi oleh pengguna, di manufaktur disebut sebagai penggunaan oleh konsumen, pihak yang terlibat banyak sekali dibandingkan pada manufaktur yang hanya satu (produsen). Pada konstruksi, terdapat setidaknya 4 pihak: pemilik, perencana, perancang, dan kontraktor.

- b. Pada tahapan sebelum pemanfaatan produk konstruksi oleh pengguna, tahapannya terpisah-pisah (*segmented*), tidak seperti pada manufaktur yang menerus dan terintegrasi, terlihat dengan tidak adanya panah penghubung satu tahap dengan tahap selanjutnya.
- c. Pendekatan proyek pada konstruksi meliputi semua tahap dari ide, perencanaan, perancangan, dan konstruksi (produksi), sedangkan pada manufaktur, pendekatan proyek tidak termasuk tahap manufaktur (produksi).
- d. Ilmu MP digunakan pada setiap tahapan, termasuk tahap konstruksi (produksi), tidak seperti pada manufaktur, MP hanya diterapkan pada saat proyek pengembangan, dan saat produksi digunakan ilmu MO.
- e. Pada konstruksi, ilmu MO tidak terlihat nyata penerapannya pada tahap konstruksi (produksi).



Gambar 4 Daur hidup produk konstruksi

Melihat perbedaan terakhir di atas, terdapat dua pertanyaan terkait topik buku ini yang muncul, yaitu:

- a. Apakah memang MO tidak dapat diterapkan pada konstruksi?
- b. Apakah sama MO yang dimaksud ini dengan istilah MO yang banyak digunakan dalam tahapan pemanfaatan produk konstruksi, berupa manajemen fasilitas atau aset, termasuk istilah operasi dan pemeliharaan atau *operation and maintenance*?

Menutup pembahasan terkait natur dari konstruksi akan tidak lengkap jika tidak melihat hierarki organisasi baik lingkup pekerjaan maupun manajemennya, yang memberikan gambaran seperti apa lingkup sistem produksi, sistem proyek, sistem bisnis, dan sistem ekonomi konstruksi. Hierarki tersebut dapat digambarkan pada Gambar 5 berikut, yang meliputi lingkup mikro, meso, dan makro, yang tentunya sifatnya agregatif dari mikro

ke makro, yang menggabungkan konsep hierarki dari Halpin & Riggs (1992), Ballard (1999), dan Ballard & Tommelein (2021).



Gambar 5 Hierarki lingkup pekerjaan konstruksi dan lingkup manajemen

Lingkup mikro terdiri atas tiga tingkat pekerjaan yang berurutan dimulai dengan ‘tugas’ yang dilakukan oleh individu paling bawah, yaitu tenaga kerja di lapangan, yang akan menghasilkan komponen produk, atau pekerjaan dalam proses (WIP) yang dilakukannya berdasarkan keterampilannya dengan menggunakan perkakas dan peralatan, beserta material yang dibutuhkannya. Gabungan dari ‘tugas’ membentuk suatu ‘proses’, yang biasanya dikerjakan oleh sebuah tim kerja. Adapun kemudian satu atau beberapa ‘proses’ membentuk sebuah ‘operasi’. Pada tingkatan ‘operasi’ inilah sebuah komponen fisik tercipta; contohnya kolom beton bertulang, pelat lantai beton bertulang, balok beton bertulang. Terlihat di sini bahwa sebuah operasi kolom beton bertulang akan terdiri atas beberapa ‘proses’ berupa proses perangkaan tulangan, proses pembuatan bekisting, dan proses pengecoran beton. Pada tingkat ‘operasi’ ini teknologi dan keterampilan (*skill*) akan sangat menentukan tercapainya produk konstruksi. Tanda dari tingkatan mulai ‘tugas’, ‘proses’, dan ‘operasi’ ini adalah dapat dilakukan secara berulang kali,

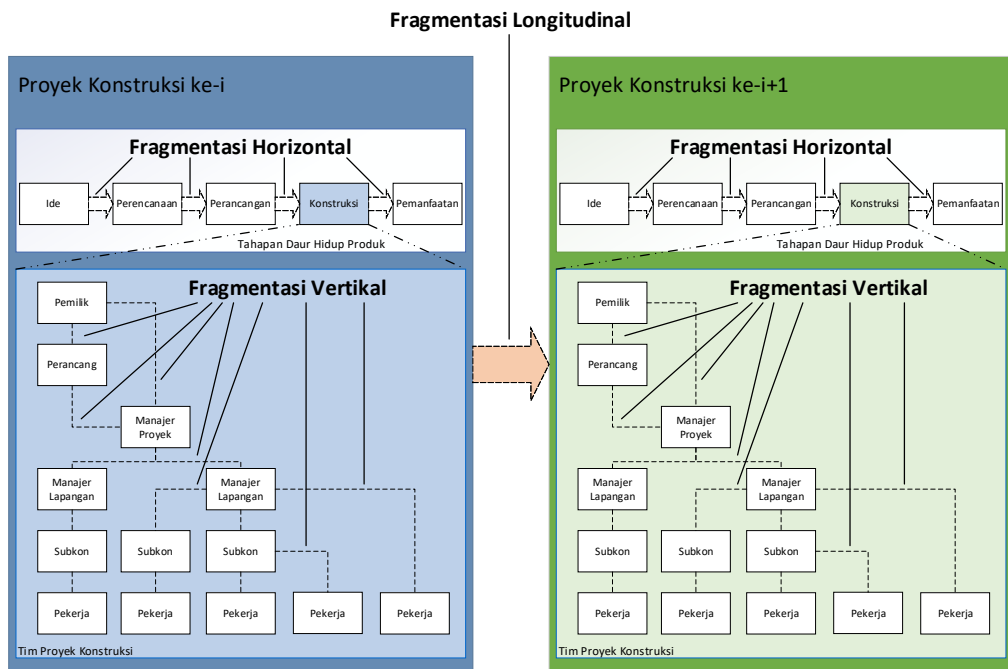
sehingga setiap kali diulang, kesempatan untuk memperbaiki hasil pembelajaran yang sebelumnya selalu ada. Manajemen pada lingkup ‘tugas’, ‘proses’, dan ‘operasi’ inilah yang disebut sebagai manajemen produksi atau manajemen operasi konstruksi (MOK). Namun demikian, karena lingkup mikro ini berinteraksi dengan lingkup meso, maka manajemen proyek pun harus digunakan untuk mengelola agregasi dari ‘operasi’, yaitu ‘kegiatan’; di sini pandangan integral MOK dengan manajemen proyek diperlukan.

Pada lingkup meso, sebuah ‘kegiatan’ merupakan gabungan dari beberapa ‘operasi’. Jika ‘operasi’ menghasilkan komponen fisik bangunan, maka ‘kegiatan’ merupakan modul lengkap dari semua komponen fisik tersebut, misalnya menjadi sebuah zona, ruang, atau lantai tertentu. Gabungan dari ‘kegiatan’ akan merupakan lingkup dari ‘proyek’ itu sendiri, yang ditentukan lingkungannya oleh pemilik. Manajemen terkait lingkup ‘kegiatan’ dan ‘proyek’ ini sering dikenal dengan manajemen proyek konstruksi (MPK). Lebih dari itu, beberapa ‘proyek’ yang dikelola sebuah ‘organisasi’ merupakan lingkup manajemen perusahaan. Pada ranah meso ini, pengelolaan lebih banyak terkait dengan administrasi proyek, kontrak, dan perusahaan.

Lebih lanjut pada lingkup makro, agregasi ‘organisasi’ berupa perusahaan konstruksi akan membentuk bagian dari ‘industri’ konstruksi, yaitu gabungan badan usaha kontraktor, yang nantinya jika bergabung dengan badan usaha konstruksi lainnya, akan berkontribusi kepada perekonomian ‘nasional’, dan akhirnya ini semua akan berdampak pada daya saing negara secara ‘internasional’. Pada lingkup ini maka pengelolaannya merupakan pengelolaan perusahaan dan pengelolaan industri.

2.2 Permasalahan Proyek Konstruksi

Dengan memperhatikan definisi konstruksi dengan naturnya, dan juga bagaimana produk, proses produksi, serta daur hidup produk konstruksi seperti telah disampaikan pada bagian di atas, sudah dapat diprediksi bahwa permasalahan terbesar dari proyek konstruksi sangat berkaitan dengan semua itu. Telah diketahui sejak lama secara luas bahwa terdapat fragmentasi atau tidak adanya integrasi pada konstruksi. Dalam hal ini, terdapat tiga jenis fragmentasi pada proyek konstruksi, yaitu fragmentasi horizontal, vertikal dan longitudinal sebagaimana terlihat pada Gambar 6.

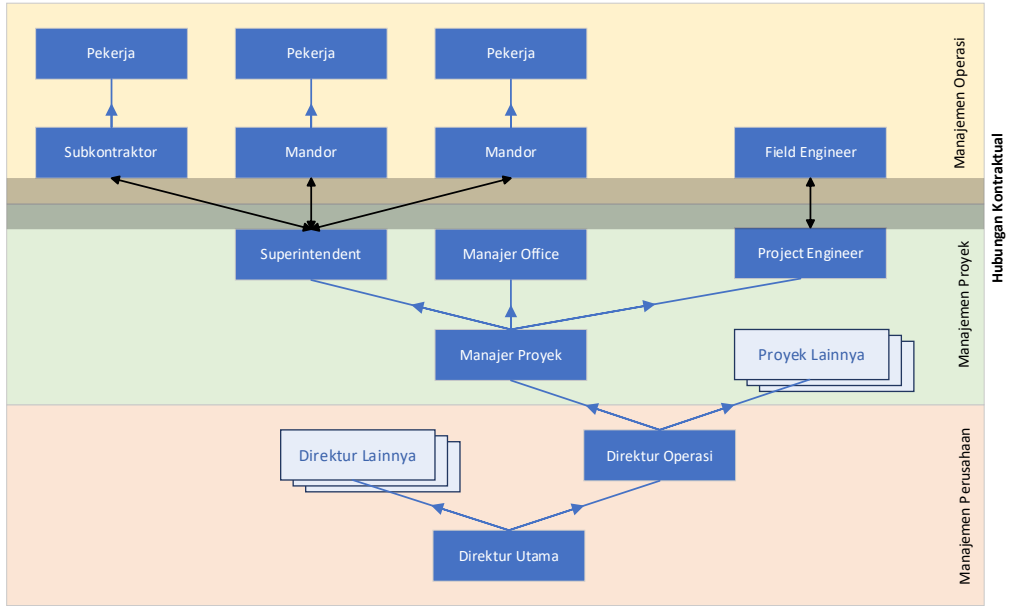


Gambar 6 Fragmentasi horizontal, vertikal, dan longitudinal

Fragmentasi horizontal, seperti yang tergambar dalam daur hidup produk konstruksi, terjadi karena banyaknya tahapan yang berhubungan, tetapi dilaksanakan oleh pihak yang berbeda. Perbedaan dan banyak pihak ini terjadi karena adanya spesialisasi profesi, dan karena semakin besar dan kompleksnya pasar profesi konstruksi. Masih banyaknya pemilik yang menggunakan metode penyelenggaraan proyek konvensional, yaitu *Design-Bid-Build* (DBB), menyebabkan permasalahan keselarasan informasi proyek konstruksi, baik produk maupun proses, terjadi setiap saat dan membebani penyelenggaraan proyek konstruksi. Solusi kontraktual yang transaksional, yang pada awalnya digunakan untuk menjawabnya permasalahan ini, cenderung memperparah kondisi ini dengan semakin banyaknya kejadian klaim dan perselisihan antar pihak, serta menjadikan aspek legal sebagai pemeran utama di manajemen proyek konstruksi. Solusi lain yang menjanjikan sebenarnya telah ada, yaitu melalui dengan menggunakan penyelenggaraan proyek yang terintegrasi, sebagai pendekatan *organizational integration*, yaitu dengan menggunakan metode *Design-Build* (DB), *Engineering-Procurement-Construction* (EPC), *Alliance*, ataupun *Integrated Project Delivery* (IPD) (Abduh, 2021). Di lain pihak, solusi *technological integration* telah tersedia pula saat ini, dengan penggunaan teknologi *Building*

Information Modeling (BIM), sehingga dapat menyambungkan dan mengakumulasi informasi terkait produk dan propses antar satu tahap ke tahap berikutnya (Abduh & Soemardi, 2023).

Fragmentasi vertikal terjadi antarpihak dalam satu proyek, termasuk pihak-pihak yang terlibat dalam suatu tahapan, hingga ke rantai pasoknya yang paling ujung; dari hilir ke hulu. Fragmentasi vertikal untuk suatu proyek konstruksi dapat dilihat dengan baik jika memperhatikan bagaimana keterkaitan organisasi dan personil pada sebuah proyek konstruksi, dan juga adanya hubungan kontraktual antara kontraktor dengan subkontraktor, *supplier*, atau tim kerja (mandor), sebagaimana digambarkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Kontraktual antara kontraktor dan rantai pasoknya

Jika diperhatikan lebih detail, gambar tersebut mengilustrasikan terdapatnya tiga lingkup pengelolaan pada sebuah proyek konstruksi, yaitu manajemen perusahaan, manajemen proyek, dan manajemen operasi. Lapisan atas, pada gambar tersebut, merupakan lingkup mikro, yaitu pengelolaan operasi konstruksi (MOK) dilakukan oleh subkontraktor dan tim pekerja; merekalah yang melakukan ‘operasi’, ‘proses’, dan ‘tugas’, yang secara langsung menghasilkan produk konstruksi di lapangan. Di lain pihak, lapisan tengah dan bawah, merupakan lingkup meso, yang menerapkan manajemen proyek konstruksi (MPK), dan manajemen perusahaan. Lingkup meso ini harus mendukung terjadinya produksi konstruksi di lapangan pada

lingkup mikro. Namun demikian, praktik yang saat ini berlangsung, terjadi fragmentasi karena semua individu yang ada pada lingkup meso merupakan satu entitas perusahaan konstruksi, sedangkan lingkup mikro terdiri dari berbagai entitas, dan biasanya jumlahnya banyak, subkontraktor, *supplier*, dan tim kerja. Sayangnya hubungan antarlingkup meso dengan makro ini dikaitkan melalui kontrak yang transaksional, sehingga fragmentasi vertikal terjadi, apalagi banyak dilakukan pendekatan *push*, dari lingkup meso ke lingkup mikro. Solusi untuk fragmentasi vertikal ini bisa didekati dengan *organisational integration* seperti dengan menggunakan metode *partnering*, atau melalui pendekatan konstruksi ramping seperti *the last planner system* yang mengadopsi sistem *pull* dan kolaboratif dengan para *the last planner* yang ada pada lingkup mikro. Teknologi BIM akan menjadi solusi sebagai pendekatan *technological integration* dari kontraktor ke subkontraktor, tim kerja, dan *supplier*.

Fragmentasi longitudinal terjadi antara satu proyek dengan proyek lainnya, yaitu ketika apa yang sudah dilakukan pada suatu proyek konstruksi tidak dapat dimanfaatkan untuk proyek konstruksi lainnya, apakah itu dalam bentuk data, informasi, maupun *knowledge*. Transfer data, informasi, dan *knowledge* antar proyek yang terjadi saat ini banyak dilakukan secara manual ataupun melalui *tacit knowledge* individu. Tentunya ini sangat berkaitan dengan teknologi informasi, seperti *database*, data mining, *machine learning*, *expert system*, *big data*, *artificial intelligence*, dll. Tantangan terbesar untuk menghilangkan fragmentasi longitudinal adalah keinginan berbagi data, informasi, dan *knowledge* antarproyek konstruksi dan antarperusahaan konstruksi dengan protokol dan teknologi yang kompatibel.

2.3 Sistem dan Lingkungan Proyek Konstruksi di Indonesia

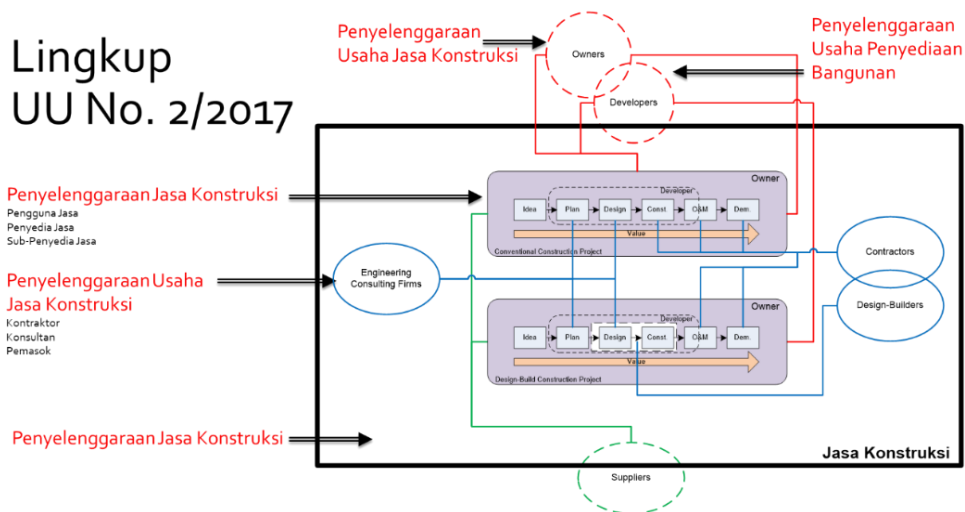
Industri konstruksi Indonesia, dan juga secara umum di berbagai belahan dunia lain, masih bergelut dengan permasalahan ketidakefisienan dalam pelaksanaan proses konstruksinya. Masih terlalu banyak pemborosan (*waste*) berupa kegiatan yang menggunakan sumber daya, tetapi tidak menghasilkan nilai yang diharapkan (*value*). Padahal, industri konstruksi dipandang sebagai salah satu industri yang penting di Indonesia karena menyediakan berbagai infrastruktur yang berfungsi untuk mendukung berbagai kegiatan perekonomian masyarakat. Selain itu, industri konstruksi merupakan penarik

berbagai kegiatan industri penunjang konstruksi, seperti industri yang mendukung bahan dan peralatan konstruksi, perbankan dan asuransi, serta melibatkan berbagai profesi dan aktivitas lainnya. Pada tahun 2023, industri konstruksi berkontribusi cukup besar terhadap PDB nasional, yaitu sekitar 9,92%, dan juga membuka kesempatan kerja bagi lebih 1,15 juta tenaga kerja (BPS, 2024).

Industri konstruksi nasional mengalami ketimpangan antara struktur usaha dan struktur pasar. Pada tahun 2024, berdasarkan data DJBK (2024), jumlah badan usaha konstruksi mencapai 57.070, yang 89,2% merupakan kontraktor, 10,7% merupakan konsultan konstruksi, dan sisanya 0,1% merupakan kontraktor terintegrasi. Terdapat 93% badan usaha tersebut bersifat umum, kemudian 6,9% bersifat spesialis, dan sisanya 0,1% bersifat terintegrasi. Adapun jumlah sertifikat badan usaha telah dikeluarkan oleh Lembaga Sertifikasi Badan Usaha (LSBU) sebanyak 174.041, dengan kualifikasi badan usaha besar sebanyak 1,6%, sedangkan badan usaha kualifikasi menengah 4,5%, dan yang terbesar 93,9% adalah badan usaha kualifikasi kecil. Sebanyak 50.883 kontraktor memperebutkan pasar konstruksi di Indonesia dengan nilai konstruksi nasional sebesar Rp1.523 Trilyun pada tahun 2022, yang 57,3% nya merupakan bangunan sipil, 33,4% bangunan gedung, dan sisanya 9,3% bangunan khusus (BPS, 2024). Persaingan usaha pada dasarnya dapat dikatakan masih baik; contoh pada pasar kontraktor besar, rasio konsentrasi untuk 8 perusahaan kontraktor terbesar atau CR8 bernilai 0,2. Namun demikian, memang dominasi pasar pada kontraktor masih dimiliki oleh kontraktor besar BUMN, termasuk di daerah-daerah di seluruh Indonesia. Selain itu, para kontraktor yang berada di daerah, dan terutama kontraktor kecil, masih memiliki berbagai kelemahan untuk bersaing, terutama berupa akses permodalan, SDM dan teknologi (Abduh dkk., 2020).

Konstruksi Indonesia masih sangat tergantung kepada kebijakan pemerintah (*government-led*), dengan ciri bahwa beberapa inisiatif tidak akan berjalan dengan baik, jika tidak ada kebijakan pemerintah yang mendorognya. Contohnya, pada UU Jasa Konstruksi No. 2 tahun 2017 (UUJK), konsep-konsep seperti penyelenggaraan konstruksi terintegrasi, rantai pasok konstruksi, konstruksi ramping, dan konstruksi berkelanjutan telah diperkenalkan, tetapi beberapa konsep tersebut masih memerlukan pendefinisian lebih lanjut untuk bisa efektif dilaksanakan oleh praktisi di lapangan. Dalam UUJK ini, terlihat adanya upaya untuk memperluas

pengelolaan dan pengaturan lebih luas dari hanya jasa konstruksi, mengarah kepada lingkup industri konstruksi. Ke arah hulu dengan mengikutsertakan pihak supplier dengan istilah sub-penyedia dan juga asosiasi penyedia rantai pasok. Kemudian, ke arah hilir dengan mengikutsertakan pihak *owner* dan *developer* dengan istilah Penyelenggaraan Usaha Jasa Konstruksi dan Penyelenggaraan Usaha Penyediaan Bangunan (Gambar 8). Semua ini memerlukan komitmen dan konsistensi pemerintah untuk melakukan perannya lebih lanjut agar UUK dapat terimplementasi dengan efektif.



Gambar 8 Lingkup UUK No. 2 tahun 2017

Sebagai ilustrasi permasalahan yang ada di Indonesia, terkait dengan kebijakan rantai pasok konstruksi, Abduh & Rahardjo (2013) dan Abduh & Pribadi (2014) menyampaikannya sebagai berikut.

- a. Kompetisi antar-rantai pasok yang dimiliki oleh kontraktor belum terjadi di Indonesia. Hal ini terjadi karena:
 - Kompetisi yang ada dalam pelelangan masih semu. Kompetisi yang semu ini tidak memberi insentif untuk terjadinya kerja sama yang berjangka panjang pada tingkatan kontraktor dengan pemasok serta subkontraktornya.
 - Pengelolaan rantai pasok masih belum menjadi kriteria penilaian pemilihan kontraktor oleh pemilik proyek. Untuk beberapa pemilik proyek, terutama pemerintah, bahkan terdapat pembatasan nilai pekerjaan yang dapat disubkontrakkan, meskipun pada kenyataannya, sebagian besar disubkontrakkan oleh kontraktor.

- Hubungan antarpihak pada rantai pasok yang ada belum berjangka panjang. Hubungan jangka panjang hanya akan ada jika ada kepercayaan dan kepastian pekerjaan. Jika ada kepercayaan yang dibina dalam hubungan antarperusahaan lebih ditekankan kepercayaan yang tidak berdasarkan profesionalisme, misalnya hubungan keluarga. Sedangkan ketidakpastian pekerjaan menunjukkan terdapatnya informasi kebutuhan atau *demand* yang jelas dari calon pengguna.
 - Tidak ada loyalitas dalam rantai pasok. Rantai pasok konstruksi di Indonesia berbentuk *interlocking network sourcing* dan *the alps*. Sangat sedikit perusahaan konstruksi yang dapat membina hubungan dengan baik dengan pemasoknya hanya berdasarkan pada profesionalisme. Yang banyak terjadi, loyalitas diciptakan karena adanya *vertical integration* (dengan melakukan *acquisition*) yang pada suatu saat akan sangat tidak efisien. Loyalitas yang diharapkan adalah loyalitas yang berdasarkan pada kepercayaan profesional.
- b. Terdapat perbedaan hubungan antara tahap lelang dan tahap pelaksanaan yang disebabkan oleh:
- Kebanyakan kontraktor belum memiliki rantai pasok yang loyal dan stabil sehingga pada saat proses pelelangan belum ada rantai pasok yang mendukung proses penawaran dan ketika akan melaksanakan pekerjaan maka kontraktor tersebut mengembangkan rantai pasoknya.
 - Masih terdapatnya aturan pengadaan yang meminta untuk tidak mencantumkan keseluruhan rantai pasok yang dimiliki, yaitu dengan membatasi pekerjaan yang dapat disub-kontrakkan hanya dengan nilai tertentu.
 - Tidak ada keharusan dari pihak pemilik proyek atau pengawas yang dalam pelaksanaannya kontraktor melakukan pengelolaan rantai pasok di proyek.
 - Tidak adanya insentif untuk melakukan hubungan yang berjangka panjang dalam rantai pasok, karena sifat proyek konstruksi yang temporer dan tidak berkelanjutan.
- c. Lokalisasi kontraktor, dalam arti kontraktor lokal melakukan pekerjaan untuk pekerjaan lokal, masih belum banyak terjadi di Indonesia. Kondisi ini disebabkan oleh:

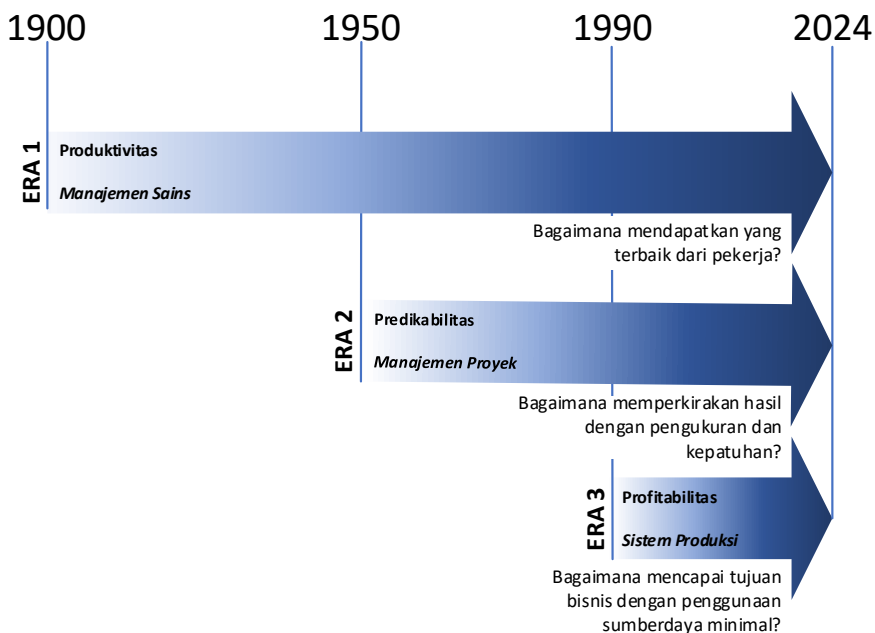
- Intervensi kontraktor nasional ke daerah masih banyak terjadi dan kontraktor lokal tidak bisa bersaing dengan kontraktor nasional. Ketika kontraktor nasional mengerjakan pekerjaannya, maka rantai pasok bawaanya akan diupayakan untuk diikutsertakan ke lokasi proyek.
- Kontraktor lokal belum terbina dengan baik. Kekalahan persaingan dengan kontraktor nasional karena kontraktor lokal belum dibina dengan semestinya. Beberapa pemerintah daerah telah menggunakan aksi afirmatif dengan memaksa kontraktor nasional bermitra dengan lebih dari satu kontraktor lokal untuk pekerjaan konstruksi yang bernilai besar di daerah tersebut. Namun tetap isu profesionalitas masih ada, sehingga perlu tambahan biaya untuk mengakomodasi aksi afirmatif ini bagi kontraktor nasional.
- Terjadi *vertical integration* yang dilakukan oleh kontraktor BUMN, meskipun kontraktor BUMN memiliki alasan profesionalitas yang valid pula dalam hal ini, yaitu sulit mendapatkan mitra kerja lokal yang memenuhi standar kualitas yang sudah ditetapkan oleh kontraktor BUMN.

3 MANAJEMEN PROYEK DAN OPERASI KONSTRUKSI

Bagian berikut ini akan membahas perkembangan penyelenggaraan proyek konstruksi dari waktu ke waktu, yang sebenarnya banyak mengadopsi ilmu pengetahuan dari manajemen sains. Setelah itu akan dibahas apa perbedaan antara manajemen proyek konstruksi (MPK) dan manajemen operasi konstruksi (MOK) serta keterkaitannya satu dengan lainnya. Pada bagian akhir akan disampaikan sains operasi yang merupakan ilmu dasar pendukung pelaksanaan MOK.

3.1 Perkembangan Penyelenggaraan Proyek Konstruksi

Shenoy & Zabelle (2016) mendefinisikan adanya 3 era dalam penyelenggaraan proyek konstruksi, sejak diperkenalkannya manajemen sains tahun 1900-an, sebagaimana digambarkan pada **Gambar 9** berikut.



Gambar 9 Era perkembangan penyelenggaraan proyek konstruksi

Era 1 dapat dikatakan sebagai era awal manajemen sains berkembang dengan tokohnya Federick Taylor pada awal tahun 1900-an. Taylor, karena didorong oleh industri manufaktur, aktif melakukan studi terkait pengorganisasian dan pengelolaan pekerjaan buruh di pabrik. Studi ini

bertujuan untuk memaksimalkan pekerja yang ada untuk peningkatan produktivitas secara keseluruhan, dengan mengatur tugas-tugas yang dilakukan oleh pekerja, melalui kajian gerak dan waktu (*time-motion study*). Berdasarkan kajiannya tersebut, pekerjaan buruh menjadi tugas-tugas kecil yang dibakukan sehingga mudah dilatihkan dengan tujuan untuk mempercepat siklus kerjanya. Sejak saat itu, terjadi pemisahan antara perencanaan pekerjaan dan pelaksanaan pekerjaan, dengan adanya departemen fungsional dan studi produktivitas, dan juga inovasi lainnya. Hingga kini, praktik yang diwariskan Taylor masih ditemukan di pabrik-pabrik dan juga proyek konstruksi, apalagi setelah pada tahun 1918, Daniel J. Hauer menerjemahkan konsep Taylor dari rantai pabrik ke lokasi proyek konstruksi. Selain itu, Henry Gantt, menjadi tokoh di Era 1 ini pula dengan menambahkan alat perencanaan dan pengendalian, termasuk *Gantt Chart* yang sangat terkenal. Beberapa tokoh lain di Era 1 ini yang pantas untuk disebutkan adalah suami istri Frank dan Lillian Gilberth yang menyarankan kepada pekerja pembangunan rumah untuk melakukan gerakan yang efektif dan efisien untuk pemasangan batu bata.

Dimulai pada tahun 1950-an, terasa bahwa praktik-praktik berdasarkan ilmu manajemen sains pada Era 1 kurang memadai untuk mengelola proyek-proyek pada masa itu yang semakin kompleks sehingga terjadi pembengkakan biaya dan waktu, di mana tantangannya adalah bagaimana mendapatkan hasil yang lebih dapat diprediksi melalui pengukuran dan pengendalian. Pada Era 2 inilah muncul metode *Critical Path Method* (CPM) pada sekitar tahun 1959 dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dari kalangan militer di Amerika Serikat, yang menjadi dasar dari peramalan dan pengendalian proyek modern. Selain itu *Earned Value Management* (EVM) pun menjadi ukuran untuk kinerja proyek konstruksi. Namun demikian, disayangkan, dengan adanya metode ini, maka semakin terjadi pemisahan kegiatan perencanaan dari kegiatan pelaksanaan pekerjaan di lapangan atau operasi konstruksi. Bahkan, dengan sistem kontraktual yang transaksional antara pemilik dengan kontraktor dan juga antara kontraktor dengan sub-kontraktor atau *supplier*, alat peramalan tersebut sering digunakan sebagai dasar untuk melindungi atau mencari klaim terkait jadwal percepatan atau penundaan. Perdebatan seperti siapa yang memiliki *float* dari hasil perencanaan jadwal dan durasinya, dan juga bagaimana hal itu harus dialokasikan sering terjadi; hal ini menjadi lebih bermasalah ketika spesifikasi

atau waktu pelaksanaannya ketat, seperti di proyek-proyek pemerintah. Sering ditemukan di lapangan adanya dua atau lebih jadwal untuk suatu proyek, yang satu untuk pemilik, terkait administrasi kontrak, dan satunya lagi untuk mengelola proyek. Di lain pihak, pada era ini telah berkembang banyak ilmu manajemen untuk mendukung pengelolaan proyek, yang juga diadopsi oleh konstruksi seperti: *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), aspek legal, pengadaan, penjadwalan, *human resource*, penganggaran, manajemen risiko, dan lainnya, yang dinilai lebih memperbanyak beban berkaitan dengan administrasi proyek. Pada Era 2 ini pula, hal-hal tersebut banyak diajarkan di perguruan tinggi seluruh dunia, dan juga munculnya profesi manajemen konstruksi atau *construction management* (Zabelle, 2024), yang mencoba membantu pemilik dalam pengelolaan proyeknya.

Pada saat ini, dapat dikatakan bahwa praktik manajemen proyek konstruksi sudah terbiasa menggunakan semua perkembangan ilmu pada Era 1 dan Era 2, serta kombinasinya. Namun demikian, praktik ini dapat dikatakan sebagai manajemen proyek konvensional, karena masih memiliki kekurangan mendasar untuk pengelolaan proyek masa kini yang semakin kompleks dan dinamis; dampaknya adalah tidak tepatnya waktu pelaksanaan, membengkaknya biaya, dan juga buruknya kualitas produk konstruksi. Berdasarkan Shenoy & Zabelle (2016), terdapat dua kekurangan yang nyata pada Era 1 dan Era 2, yaitu:

- a. Fokus pada perencanaan dan peramalan, tetapi melupakan manajemen operasi di lapangan. Hasil perencanaan tidak mencakup aktivitas kerja secara rinci di lapangan proyek yang sebenarnya, yaitu proses produksi, yang juga pada akhirnya akan berdampak pada keseluruhan kinerja proyek.
- b. Hanya sedikit atau bahkan tidak mempertimbangkan dampak variabilitas dan persediaan (*inventory*) pada penyelenggaraan proyek secara keseluruhan. Karena itu, maka manajer proyek tidak mengenali efek eksponensial gabungan variabilitas dan persediaan terhadap total kinerja proyek.

Berdasarkan pada kegundahan kepada belum efektifnya praktik pengelolaan proyek konstruksi pada awal tahun 1990-an di *Stanford Center for Integrated Facility Engineering* (CIFE), Lauri Koskela (1992), peneliti tamu dari Finlandia, mempertanyakan kebutuhan akan paradigma produksi yang baru

yang sebaiknya diterapkan untuk penyelenggaraan proyek konstruksi. Dibantu oleh beberapa peneliti seperti Luis F. Alarcon, Sven Bertelsen, Glenn Ballard, Martin Fischer, Greg Howell, Iris Tommelein, dan lain-lain, mulai mengembangkan pendekatan yang berfokus pada produksi untuk pelaksanaan proyek; dan menamakan inisiatif tersebut sebagai *Lean Construction* atau Konstruksi Ramping, dengan hadirnya konferensi tahunan *International Group for Lean Construction* pada tahun 1993 (IGLC, 2024), dan juga kemudian terbentuk *Lean Construction Institute* pada tahun 1997 (LCI, 2024). Kelompok ini mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang hilang dalam konstruksi Era 1 dan Era 2, termasuk ukuran dan lokasi penyangga (*buffer*), sumber dan implikasi variabilitas serta kurangnya pengendalian produksi yang efektif.

Belakangan muncul pula inisiatif yang lebih fokus kepada manajemen produksi di lapangan, karena Konstruksi Ramping belakang ini lebih mengarah kepada aspek yang lebih luas untuk dukungan kepada produksi, seperti organisasi dan komersial, tetapi tidak masuk lebih detail kepada sistem operasinya sendiri, yaitu produksi, dan bahkan meninggalkannya. Inisiatif ini disebut *Project Production Management* (PPM) atau Manajemen Produksi Proyek (MPP) yang dikembangkan oleh sebuah konsorsium akademisi dan industri, disebut *Project Production Institute* pada tahun 2013 (PPI, 2024), dengan tokoh-tokohnya seperti Todd R. Zabelle, Glenn Ballard, H.J. James Choo, Martin Fischer, Gary Fischer, Phil Kaminsky, Mark L. Spearman, dan Iris D. Tommelein. Pendekatan yang digunakan oleh PPM lebih ditujukan untuk mengoptimalkan biaya, waktu, dan ruang lingkup dengan memanfaatkan desain proses, kapasitas, persediaan dan variabilitas. Adapun ilmu dasar yang digunakan adalah sains operasi yang sudah dikembangkan sejak tahun 1950-an, berkaitan dengan waktu siklus (*cycle time*), persediaan (*inventory*), pekerjaan dalam proses (*work in process* atau WIP), dan hasil (*throughput*), yaitu oleh Philip M. Morse, John D.C. Little, John Kingman, Wallace J. Hopp, dan Mark L. Spearman, dan telah diterapkan di industri manufaktur, tetapi belum sepenuhnya dipahami dan diterapkan di proyek konstruksi. Perkembangan ini diklaim sebagai Era 3 dengan penekanan pada sistem produksi untuk meningkatkan nilai yang ingin dicapai dengan penggunaan sumber daya yang minimal, sehingga profitabilitas sebuah proyek konstruksi dapat dicapai.

3.2 Hubungan Manajemen Proyek dan Operasi Konstruksi

Dengan melihat kembali beberapa gambar, yaitu Gambar 3 hingga Gambar 7, beserta penjelasannya, dapat disampaikan bahwa ilmu manajemen proyek konstruksi (MPK) mengantarkan kebutuhan akan adanya ilmu manajemen operasi konstruksi (MOK), yang memang harus digunakan dalam produksi konstruksi. Jika perusahaan kontraktor ingin mendapatkan profit dari bisnis konstruksinya, maka produksi konstruksi di lapangan harus dikelola dengan baik dan dalam pengendaliannya, tidak dilepas kepada pihak lain, sebagaimana yang sekarang terjadi.

Keilmuan manajemen proyek (MP) telah lama ada dan berkembang hingga saat ini. *Project Management Institute* (PMI), adalah lembaga yang paling berpengaruh dalam pengembangan dan penyebaran keilmuan ini, termasuk penerapannya di konstruksi. *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) telah menjadi acuan banyak pengelola proyek hingga ada skema sertifikasinya sebagai sebuah profesi yang sudah mapan, bahkan ada ekstensi khusus untuk konstruksi (PMI, 2024). Sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya, keberadaan ilmu manajemen proyek ini menjadikan proyek lebih bisa diprediksi dengan perkakas manajemen proyek yang ada, seperti CPM, PERT, dan EVM. Selain itu telah banyak pula berkembang keilmuan manajemen sains lainnya seperti terkait dengan pengadaan, administrasi kontrak, aspek legal, manajemen sumber daya manusia, manajemen kualitas, manajemen keselamatan dan kesehatan, dll. Semua keilmuan tersebut ditujukan untuk mencapai tujuan dari proyek yaitu biaya, mutu, dan waktu yang diinginkan oleh pemilik proyek.

Kembali kepada Gambar 4, di mana terlihat bahwa untuk mengelola tahap proyek konstruksi, keilmuan manajemen proyek digunakan hingga tahapan konstruksi (produksi). Keilmuan inilah yang diterapkan oleh kontraktor dalam mengelola proyeknya, tetapi tidak sampai pada mengelola operasi konstruksi atau produksinya. Hal ini terjadi karena bagian operasi konstruksi atau produksinya diberikan kepada pihak lain, dalam hal ini sub-kontraktor ataupun tim kerja dengan kontrak borongan dengan mandor. Dalam hal ini, manajemen proyek digunakan untuk mengelola pihak-pihak yang berkontrak dengan kontraktor saja, dengan target kinerja waktu, biaya, dan mutu sesuai dengan yang tercantum pada kontrak.

Ketidakpedulian kontraktor dalam mengelola operasi konstruksi ini kemungkinannya diakibatkan karena terdapatnya pernyataan PMI pada PMBOK bahwa manajemen operasi tidak masuk dalam lingkup bahasan manajemen proyek (Shenoy & Zabelle, 2016). Padahal yang dimaksud tidak masuk dalam cakupan manajemen proyek adalah manajemen operasi yang digunakan untuk mengelola aset tersebut setelah terbangun, yang masuk dalam tahap pemanfaatan, atau sering juga disebut sebagai *facility management*.

Berdasarkan hal ini, maka lingkup pengelolaan yang harus dilakukan oleh kontraktor, sebagai produsen, adalah termasuk manajemen produksi, bukan hanya pengelolaan kontrak proyek yang didapatkannya dari pemilik dan memindahkannya risiko dan pekerjaan inti manajemen produksi kepada pihak lain, yaitu subkontraktor dan tim kerja. Dengan demikian, sudah saatnya, pengelolaan yang dilakukan oleh kontraktor di lapangan dilanjutkan hingga manajemen operasi konstruksi, yaitu untuk melakukan proses produksi sehingga produk konstruksi terealisasi sesuai dengan keinginan pemilik proyek dan di lain pihak memberikan keuntungan finansial bagi kontraktor itu sendiri.

Tentunya dengan catatan, bahwa konsekuensinya jika kontraktor melakukan manajemen operasi konstruksi (MOK) maka lingkup yang tadinya biasa dikelola akan menjadi lebih banyak dan kompleks daripada melakukan hanya manajemen proyek konstruksi (MPK). Dalam MPK, tujuan berupa mutu, waktu dan biaya dicapai dengan melakukan pengelolaan pada lingkup (*scope of works*), kualitas, jadwal, dan penggunaan sumber daya. Adapun untuk MOK, tujuan berupa mutu, waktu dan biaya hanya dapat dicapai jika dilakukan pengelolaan lingkup (*scope of works*), mutu, desain proses, kapasitas, persediaan, dan variabilitas (Shenoy & Zabelle, 2016). Untuk itu, maka pengetahuan mengenai sains operasi diperlukan.

3.3 Sains Operasi

Berkaitan dengan manajemen operasi konstruksi, maka sebaiknya dibahas beberapa dasar teori atau ilmu dari manajemen sains yang terkait dengan produksi, yang disebut sebagai sains operasi. Sains operasi adalah studi tentang transformasi sumber daya untuk menciptakan dan mendistribusikan barang dan jasa (OSI, 2024). Ilmu ini berfokus pada interaksi antara

permintaan dan produksi serta variabilitas yang terkait dengan salah satu atau keduanya. Sains operasi ini merupakan istilah baru dari berbagai ilmu dari manajemen sains yang khusus terkait produksi terutama di pabrik manufaktur, seperti ilmu terkait *station*, *line*, dan *network* atau *supply chains* (Hopp, 2008). Beberapa menyebutnya sains operasi ini sebagai Fisika Pabrik (*Factory Physics*) seperti disebutkan pada Hopp & Spearman (2008) dan Pound dkk. (2014), atau Sains Rantai Pasok (*Supply Chain Science*) seperti disampaikan oleh Hopp (2008).

Dalam sains operasi, variabilitas selalu menurunkan kinerja suatu sistem produksi. Hal ini tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, tetapi dapat dimitigasi melalui desain proses (*process design*). Variabilitas harus dimitigasi melalui kombinasi penyangga (*buffer*) berupa persediaan (*inventory*), kapasitas, atau waktu. Memahami bagaimana variabilitas, disengaja atau tidak, mengakibatkan tingkat pekerjaan dalam proses (WIP) yang berlebihan dan hilangnya kapasitas adalah penting untuk memahami dampaknya terhadap kinerja proyek, termasuk kemampuan untuk memampatkan jadwal dan mengurangi biaya.

Untuk memahaminya, maka perlu ditinjau hubungan dasar antara waktu siklus atau *cycle time* (CT), hasil atau *throughput* (TH), dan pekerjaan dalam proses atau *work in process* (WIP), baik ada maupun tidak ada variabilitas. Berdasarkan *Little's Law*, maka hubungan tersebut dinyatakan sebagai berikut (Little, 2011):

$$WIP = TH \times CT \quad (1)$$

Dalam hal ini, WIP didefinisikan sebagai total persediaan yang ada di antara titik awal dan titik akhir suatu proses atau operasi. Dengan demikian, WIP ini terdapat di antara operasi satu dengan lain (misalnya, persediaan yang harus diselesaikan) atau di dalam suatu operasi (pekerjaan yang sedang dilakukan). Dikarenakan laju TH adalah laju pelepasan atau laju kemacetan, mana saja yang lebih kecil, WIP dan CT pada dasarnya berbanding lurus. Dengan kata lain WIP dan CT merupakan hal yang sama dengan dimensinya berbeda. Akan menjadi masalah jika mencoba mengontrol TH dan terlalu menekan sistem untuk menerimanya, maka WIP dan CT akan tiba-tiba membesar, meski terjadinya dalam waktu yang tidak segera. Ketika itu terjadi, sudah terlambat untuk melakukan apa pun untuk mengatasinya, dan dengan

demikian semua masalah yang menyertainya seperti pembengkakan biaya dan penundaan jadwal akan dengan senditinya terjadi (Zabelle dkk., 2018).

Di lain pihak, jika dilihat dari perspektif satu subkontraktor atau tim kerja, strategi memiliki banyak WIP sangat masuk akal. Faktanya, sangat umum bagi vendor dan kontraktor untuk meminta persediaan dalam jumlah besar sebelum beroperasi, dalam bentuk informasi, material, dan penyelesaian pekerjaan pendahulunya. Memiliki WIP dalam jumlah besar berguna untuk menjaga kontraktor tetap sibuk pada tingkat pemanfaatan atau utilisasi yang tinggi. Kontraktor menyukai ini karena mereka terlihat lebih efisien dan mendapatkan bayaran lebih cepat. Namun dari sudut pandang pemilik, ini bisa menjadi strategi yang buruk. Apa yang selalu terjadi pada proyek dengan WIP dalam jumlah besar adalah kontraktor sibuk, tetapi mereka tidak bekerja dalam urutan yang benar. Kontraktor menyelesaikan banyak pekerjaan, tetapi sering kali bukan pekerjaan yang dibutuhkan pada saat itu. WIP dalam jumlah besar berarti sejumlah besar upaya yang terkait dengan pengumpulan, penanganan, penyimpanan, pelestarian dan pencarian WIP dan, dalam banyak kasus, risiko keuangan yang besar bagi pemilik dari keusangan WIP karena perubahan teknis, kerusakan karena cuaca, pencurian dan lainnya. Hal ini menjadi lebih buruk pada proyek besar yang terdiri dari banyak operasi paralel di mana penggunaan WIP untuk melindungi pekerjaan dari variabilitas adalah resep yang sangat mahal.

Untuk memahami bagaimana mengurangi waktu siklus (CT) sebagai cara untuk mempersingkat jadwal, beberapa komponen CT harus dipahami dengan baik. Menurut Hopp & Spearman (2008) waktu siklus terdiri dari waktu proses (PT), waktu batch (BT), waktu pengaturan (ST), waktu perpindahan (MT) dan waktu antrean (QT), dengan rumus:

$$CT = PT + MT + ST + BT + QT \quad (2)$$

Lebih lanjut, PT adalah durasi setiap unit produksi yang dikerjakan dalam suatu operasi. MT adalah durasi yang dihabiskan setiap unit produksi untuk dipindahkan dari satu operasi ke operasi lainnya. ST adalah durasi setiap unit produksi menunggu suatu operasi dilakukan (seperti menambah ketinggian *tower crane* sebelum mengerjakan lantai atas). BT adalah durasi tambahan yang diperlukan untuk memproses sekelompok unit yang diperlakukan sebagai *batch*, di mana BT terdiri dari waktu tunggu untuk *batch*, waktu tunggu dalam *batch* dan waktu untuk penyesuaian.

BT dapat dikurangi dengan mengerjakan *batch* pekerjaan yang lebih kecil. Artinya, alih-alih mengerjakan kelompok tugas satu bulan sebelum melanjutkan ke kelompok kedua, pekerjaan dibagi menjadi kelompok tugas dua hari. Jadi, tugas ketiga bisa dimulai setelah empat hari, bukan setelah dua bulan. Dengan kata lain, sebaiknya dilakukan lebih banyak tugas secara paralel jika memungkinkan secara fisik.

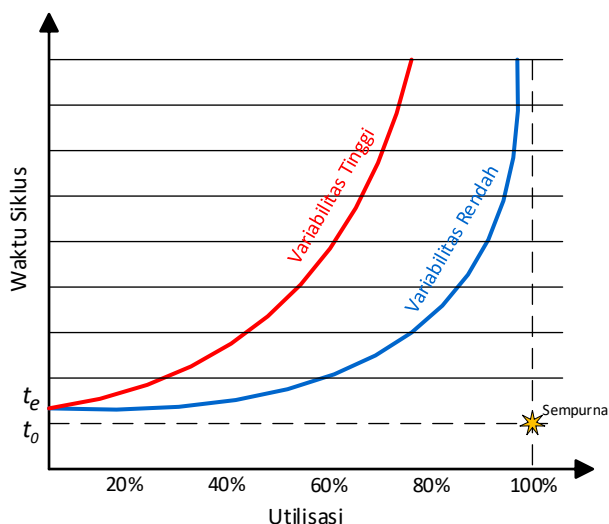
QT adalah jumlah waktu agregat pekerjaan yang tersisa di antara operasi yang menunggu untuk dieksekusi. Persamaan VUT, dikenal dengan nama *Kingman's Formula* (Hopp & Spearman, 2008), di bawah ini menunjukkan bahwa besarnya QT berbanding lurus dengan tiga faktor perkalian: (1) besarnya variabilitas pada permintaan, yaitu $\left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right)$, (2) kapasitas non-linier faktor pemanfaatan, yaitu $\left(\frac{u}{1-u}\right)$ dan (3) waktu proses, PT atau t_e . Dalam praktiknya, jika kita melaksanakan pekerjaan dalam sistem produksi tertentu yang terkena variabilitas tingkat tinggi, QT pasti akan lebih tinggi, dan oleh karena itu meningkatkan waktu siklus secara keseluruhan.

$$QT \approx V \times U \times T \approx \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right) \left(\frac{u}{1-u}\right) t_e \quad (3)$$

Jika kita mencoba meningkatkan utilisasi kapasitas menuju 100%, QT akan meningkat secara eksponensial seperti digambarkan pada Gambar 10 (adopsi dari Pound dkk., 2014). Artinya keinginan untuk mencapai utilisasi kapasitas 100%, terutama dalam lingkungan yang sangat bervariasi, adalah kontra produktif terhadap kinerja sistem produksi secara keseluruhan jika tujuannya adalah untuk menyelesaikan proyek sesuai jadwal dan sesuai anggaran. Dari gambar terlihat bahwa semakin tinggi variabilitas, maka kurva akan semakin ke sebelah kiri (kurva merah dibandingkan kurva biru). Ini berarti jika variabilitas tinggi upaya untuk memaksimalkan kapasitas menjadi lebih buruk, waktu tunggu (QT) menjadi lebih tinggi demikian pula waktu siklusnya (CT), dibandingkan kondisi di mana variabilitas lebih rendah. Untuk itu adalah suatu kunci bagi produksi untuk merencanakan dan juga mengendalikan variabilitas ini, dengan tetap memperhatikan natur bahwa tidak mungkin kapasitas maksimal dicapai, tidak mungkin tercapai kesempurnaan.

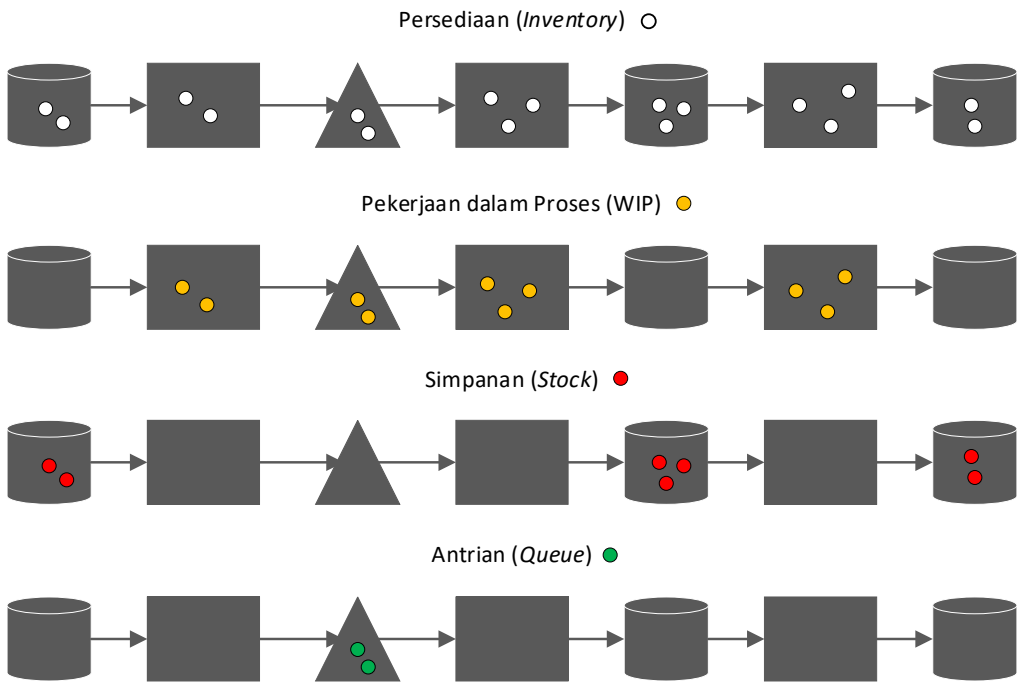
Untuk dapat mengurangi variabilitas, maka penyangga (*buffer*) harus dibuat baik berupa persediaan (*inventory*), kapasitas atau pun waktu. Terkait persediaan, Choo & Spearman (2019), menjelaskan bahwa persediaan pada

dasarnya berbentuk pekerjaan dalam proses (WIP), simpanan (*stock*), dan antrean (*queue*). Adapun pekerjaan dalam proses atau WIP merupakan persediaan yang terjadi pada saat operasi dilakukan, sehingga perlu diperhatikan perencanaan dan juga pengendaliannya. Berbagai bentuk persediaan dapat dijelaskan pada Gambar 11 berikut. Terlihat di sini bahwa persediaan itu dapat berbentuk pekerjaan dalam proses (WIP), atau dalam bentuk simpanan (*stock*), atau dalam bentuk antrean (*queue*).

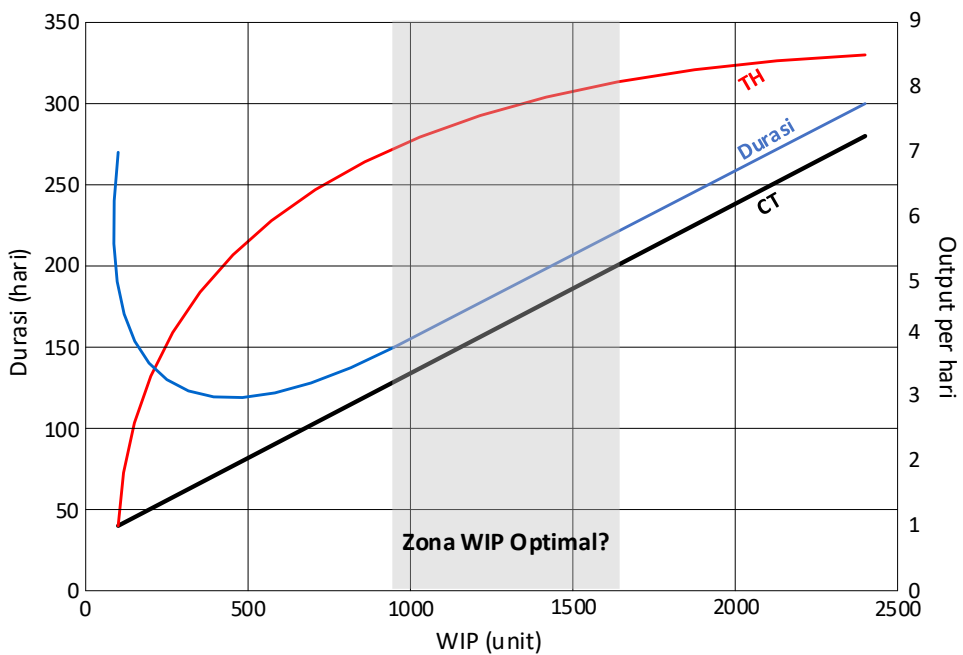


Gambar 10 Hubungan antara tingkat utilisai dengan waktu siklus

Meskipun demikian, besarnya persediaan, terutama WIP harus juga dikendalikan, karena akan berdampak kepada kinerja produksi secara keseluruhan atau *throughput* (TH), yang juga menggambarkan banyaknya pemborosan nonfisik (*waste*), sehingga tidak *lean*. Diadopsi dari Pound dkk. (2014) dan Zabelle (2024), gambaran hubungan antara besarnya WIP dengan durasi operasi serta hasil atau *throughput* disampaikan pada Gambar 12 berikut. Terlihat di sini bahwa diperlukan upaya perencanaan awal untuk menetapkan WIP yang masih bisa ditolerir dengan harapan durasi cukup cepat dan juga menghasilkan produk yang cukup banyak; disebut sebagai zona WIP yang optimal. Pemahaman gambar ini penting bagi kontraktor yang sering menumpuk material hanya untuk mendapatkan kredit progress pekerjaan karena dalam kontrak diperbolehkan material *on site* sebagai bagian dari progress untuk pembayaran. Jumlah WIP ini lah yang perlu dirancang sehingga tidak menimbulkan permasalahan terkait waktu siklus operasi dan juga durasinya.



Gambar 11 Berbagai bentuk persediaan (*inventory*)



Gambar 12 Hubungan antara WIP dan durasi pekerjaan serta hasil

Dari gambar di atas, terlihat bahwa dengan meningkatkan WIP, maka akan meningkat pula waktu siklus dan durasi pekerjaannya. Jika WIP kurang, maka proyek akan terlambat karena hasil atau *throughput* yang rendah. Namun di lain pihak, jika WIP terlalu banyak, proyek pun akan terlambat karena kapasitas keseluruhan berkurang karena penyumbatan dan operasinya memakan waktu yang lebih lama.

4 PERKEMBANGAN MANAJEMEN OPERASI KONSTRUKSI

Untuk mendukung pelaksanaan manajemen operasi konstruksi yang efektif, beberapa contoh perkembangan ilmu dan teknik terkait manajemen operasi konstruksi berikut dapat diterapkan pada proyek konstruksi di Indonesia, yaitu: Kontruksi Ramping, Manajemen Produksi Proyek, Rantai Pasok Konstruksi, dan Konstruksi 4.0.

4.1 Konstruksi Ramping

Konstruksi Ramping atau *Lean Construction* adalah sebuah pendekatan yang diperkenalkan oleh Lauri J. Koskela, dari *VTT Building and Transport* di Finlandia, pada tahun 1992 dalam upayanya mencoba memperbaiki kinerja industri konstruksi dengan mengacu kinerja yang dapat dicapai oleh industri manufaktur dengan pendekatan *Lean Production*-nya. Secara konseptual kemudian Koskela mengembangkan filosofi dari Konstruksi Ramping ini dan dikembangkan lebih lanjut oleh masyarakat peneliti dan praktisi konstruksi yang tergabung dalam *International Group for Lean Construction* (IGLC) pada tahun 1993. Tujuan dari pendekatan Konstruksi Ramping ini adalah memaksimalkan nilai (*value*) yang ingin dicapai oleh pengguna akhir, tetapi dengan proses yang menghasilkan pemborosan (*waste*) minimal. Koskela dan kawan-kawan menitik beratkan awalnya pada sistem operasi (*operation system*) atau pada proses produksi di lapangan, dengan adanya antara lain *the Last Planner System* (LPS) (Ballard, 2000), dan hingga saat ini sudah merambah kepada berbagai aspek yang diperlukan untuk mendukungnya, bukan saja pada aspek sistem operasi, tetapi juga organisasi (*organization*) dan komersial (*comercial*) sebagaimana dipromosikan oleh *Lean Construction Institute* (LCI, 2004) segitiga aspek konstruksi ramping. Saat ini penyelenggaraan konstruksi secara holistik dengan pendekatan konstruksi ramping dikenal dengan *lean project delivery system* (LPDS), *Virtual Design and Construction* (VDC) dan juga dikembangkan pendekatan baru dalam kontraktual yang mulai populer yang disebut *Integrated Project Delivery* (IPD) (Fischer dkk., 2017) ; namun IPD ini berbeda dengan istilah penyelenggaraan terintegrasi yang ada di UUJK kita (Abduh, 2021).

Konstruksi ramping mencoba menerapkan *lean principles* yang sudah dilaksanakan di industri manufaktur ke dalam konteks konstruksi dengan tujuan untuk meningkatkan *value* dan mengurangi *waste*. Prinsip-prinsip *lean* adalah sebagai berikut (Womack & Jones, 1996):

- c. *Specify Value*. Pendefinisian *value* atau nilai harus sangat spesifik dan dilakukan oleh pengguna akhir; nilai adalah yang diinginkan oleh pengguna akhir.
- d. *Identify the Value Stream*. Harus didesain sedemikian rupa sehingga terdapat perpindahan nilai yang terdefinisi dari suatu kegiatan ke kegiatan yang lain, mulai dari kegiatan *problem-solving* di awal, kemudian ke kegiatan pengelolaan informasi, dan kepada kegiatan transformasi dari material mentah hingga produk akhir.
- e. *Make Value-creating Steps Flow*. Perpindahan nilai tersebut harus dilakukan secara mengalir, tidak ada hambatan, dengan demikian maka akan meminimalisasi pemborosan (*waste*).
- f. *Customers Pull Products or Services from the Value Stream*. Untuk menghindari produk yang tidak terpakai, dan mengurangi *waste*, maka produk sebaiknya diproduksi ketika diminta oleh pengguna atau pihak pada tahapan selanjutnya.
- g. *Perfection*. Selalau ada upaya untuk memperbaiki semua proses dan produk secara terus menerus untuk mencapai kesempurnaan.

Untuk mencapai prinsip-prinsip tersebut, kontribusi yang besar dari Lauri Koskela (Koskela, 1999) adalah usulan untuk merubah paradigma terhadap produksi di proyek konstruksi, yang selama ini lebih didominasi oleh pandangan bahwa produksi adalah semata sebagai transformasi dari masukan (*input*) menjadi keluaran (*output*) yang berbeda dan bersifat fisik semata; pandangan ini disebut sebagai '*transformation*' atau dinotasikan sebagai T. Koskela selanjutnya menyampaikan bahwa produk hasil transformasi tidak bisa begitu saja diterima jika tidak ada nilainya (*value*) yang sesuai dengan tujuan atau diminta oleh pihak selanjutnya atau pemilik; pandangan seperti ini kemudian disebut sebagai pandangan '*value*' dan dinotasikan sebagai V. Kedua pandangan ini pun tidak cukup, tanpa adanya pandangan ketiga, yaitu pandangan '*flow*' biasa dinotasikan dengan F. Artinya upaya yang dikeluarkan untuk melakukan transformasi dari masukan menjadi keluaran, selain harus memberikan nilai, juga harus mengalir,

dengan minimal pemborosan (*waste*), hal ini sering diistilahkan dengan pandangan produksi TFV (*Transformation, Flow, Value*).

Untuk melaksanakan konstruksi ramping pada setiap tahap, terdapat aspek-aspek yang perlu diperhatikan dan menjadi antarmuka antartahapan, serta terdapat pula beberapa teknik dan alat (*tools*) yang dibutuhkan untuk menciptakan rangkaian *value* dan *flow* yang baik terkait dengan produksi di lapangan, seperti *Work Structuring*, *Takt Planning*, dan *Production Control*. Tentunya ada pula banyak aspek, metode, teknik, dan alat lain, yang dikembangkan dari tahun 1992 hingga kini, agar setiap tahap dapat mendukung penciptaan *value* yang diinginkan, menciptakan *flow* yang baik serta mengurangi *waste*. Beberapa alat yang dimaksud bahkan merupakan alat manajemen yang sudah ada sejak lama di industri manufaktur dan telah diterapkan dengan berhasil, seperti *supply chain management*, *pre-fabrication*, *pre-assembly*, *standardization*, *constructability*, *just in time*, *takt time planning*, dan lain-lain.

Konstruksi ramping (KR) merupakan konsep dan pendekatan yang relatif baru sehingga membutuhkan usaha sosialisasi dan pembelajaran yang besar dan luas agar dapat diaplikasikan oleh para praktisi konstruksi di Indonesia. Sosialisasi terkait KR sudah dimulai tahun 2005, dimotori oleh Kelompok Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi (KK MRK) di ITB yang mengusung Agenda Penelitiannya berupa “Menuju Konstruksi Ramping di Indonesia” (Abduh dkk., 2005), yang selanjutnya ditindaklanjuti dengan kegiatan penelitian sejauh mana kesiapan kontraktor Indonesia untuk mengimplementasikan KR, kelemahan ada pada perencanaan produksi dan pengendaliannya, dan juga agenda yang perlu ditindaklanjutinya (Abduh & Roza, 2006a, 2006b). Namun demikian, adopsi praktisi konstruksi di Indonesia terhadap KR ini berjalan lamban. Sejak diperkenalkan pertama, baru pada tahun 2019 kontraktor BUMN mulai berani untuk mengadopsi KR ini dengan adanya dorongan pemerintah, dalam hal ini Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, khususnya Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, dengan hadirnya Permen PUPR No. 5 tahun 2015 dan ditegaskan lagi pada perubahannya, yaitu Permen PUPR No. 9 Tahun 2021 di mana konstruksi ramping merupakan praktik yang harus diadopsi oleh kontraktor di Indonesia dalam implementasi konstruksi berkelanjutan.

Beberapa penelitian selanjutnya dilakukan terkait dengan bagaimana konsep-konsep yang ada pada KR dijadikan sebagai kajian akademik pada proyek nyata, bekerja sama dengan pemerintah, dan beberapa kontraktor, terutama BUMN Karya, misalnya kajian terkait dengan perbaikan *flow* pada pekerjaan sederhana memasang berbagai jenis batu bata untuk dinding rumah (Abduh & Pratama, 2014). Penggunaan simulasi banyak dilakukan untuk mengidentifikasi pemborosan serta peningkatan produktivitas operasi konstruksi, seperti pada Abduh dkk. (2017a) untuk pekerjaan jembatan Cinapel di proyek tol Cisumdawu dan juga untuk metode *tunneling* dan juga untuk di proyek tol yang sama (Abduh dkk., 2017b), dan pada Abduh & Setyowati (2017) untuk konstruksi dermaga terminal Kalibaru.

Beberapa metode penting dalam KR, tentunya masih banyak teknik dan metode lainnya, disampaikan selanjutnya pada subbab di bawah ini yang terkait dengan manajemen operasi konstruksi, yaitu *work structuring*, *takt time planning*, dan *production control* menggunakan *the Last Planner System* (LPS) atau Sistem Perencana Akhir (SPA).

4.1.1 Work Structuring

Work Structuring (WS) adalah terminologi yang dikemukakan oleh Glenn Ballard untuk kegiatan pengembangan rancangan proses dan operasi yang dilakukan bersamaan seiring dengan perancangan produk, penentuan struktur rantai pasok, pengalokasian sumber daya dan usaha perancangan untuk pelaksanaan (Ballard, 1999). Tujuan dari WS ini adalah untuk membuat aliran kegiatan yang lebih andal dan cepat tanpa mengurangi *value* kepada *customer*. Dalam perancangan proses tersebut, variasi produktivitas antar pekerjaan dan juga interaksi antar pekerjaan harus dipertimbangkan. Dengan demikian akan diharapkan dapat meminimalkan *waste* baik berupa *inventory* terutama *work in process* (WIP). WS ini ditempatkan sebagai bagian penting dari *Lean Project Delivery System* (Ballard dkk., 2001).

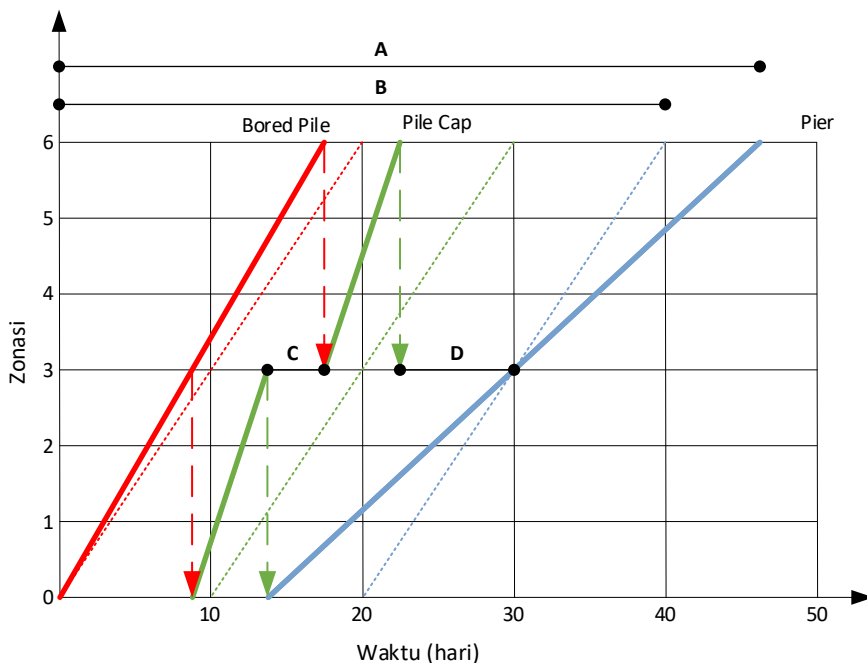
WS ini merupakan hal yang biasanya tidak banyak dilakukan pada saat tahapan perancangan (*design*) berlangsung. Karena biasanya perancang (*designer*) hanya melakukan desain produk (*product design*) saja yang harus sesuai dengan kebutuhan *customer* atau *owner*, tetapi tidak merancang bagaimana proses produksinya (*process design*). Biasanya diasumsikan bahwa pihak kontraktor yang akan melakukannya. Ini merupakan praktik dan

permasalahan fragmentasi di dunia konstruksi yang terpecah belah menjadi banyak pihak yang terlibat pada seluruh daur hidup proyek konstruksi. *Waste* banyak terjadi karena hasil rancangan tidak dapat dilaksanakan oleh pihak pelaksana karena terjadinya miskomunikasi.

Melalui enam langkah metode penataan kerja WS berfokus pada definisi aktivitas, pengurutan, dan penugasan: (1) memecah pekerjaan menjadi unit-unit yang dapat ditugaskan spesialis (definisi aktivitas); (2) mengurutkan aktivitas; (3) memahami bagaimana pekerjaan akan dilakukan diserahkan antarspesialis; (4) pemahaman apakah pekerjaan akan dilaksanakan terus menerus antar lokasi; (5) menempatkan dan mengukur *buffer decoupling*, dan (6) penjadwalan kegiatan. Alur prioritas dan ruang kerja sepenuhnya terstruktur dengan menentukan urutan aktivitas dan ruang kerja. Arus tenaga kerja sebagian terstruktur dengan menugaskan pekerjaan ke spesialis tertentu (yaitu, kelas aliran tenaga kerja) dan memahami bagaimana spesialis berpindah antarruang kerja, namun mobilisasi tenaga kerja (arus keluar lokasi) tidak termasuk (Ballard dkk., 2001).

Sebagai gambaran akan kebutuhan dan hasilnya dari WS ini, telah disampaikan oleh Abduh (2005, 2010), sebagai contoh, dapat dilihat kembali pada Gambar 13. Pada gambar tersebut terlihat jadwal yang disusun dengan menggunakan metode *linear scheduling* (hanya terbatas 3 pekerjaan, yaitu *bored pile*, *pile cap*, dan *pier*) yang dapat menggambarkan perlunya WS dilakukan. Pada gambar ini, dilakukan usaha perubahan penjadwalan dengan memperhatikan keseimbangan produktivitas antar pekerjaan untuk menciptakan aliran yang baik. Garis yang utuh pada gambar tersebut menunjukkan jadwal awal yang hanya direncanakan dengan menggunakan perkiraan produktivitas masing-masing pekerjaan tanpa melihat keterkaitannya dengan pekerjaan lain dan keseimbangan antarpekerjaan. Terlihat bahwa terdapat pemborosan karena sumber daya yang akan melakukan pekerjaan *pile cap* pada zonasi 4-6 harus menunggu lahan selesai digunakan oleh sumber daya yang mengerjakan pekerjaan *bored pile* yang belum selesai (garis C). Di lain pihak, pekerjaan *pile cap* meninggalkan tempat kerja yang kosong untuk beberapa lama (garis D) sebelum pekerjaan *pier* dapat dilaksanakan di zonasi 4-6. Konsep penyeimbangan (*balancing*) dilakukan untuk mengurangi pemborosan tersebut di atas yang digambarkan dengan penyeimbangan produktivitas seluruh pekerjaan. Tentunya penyeimbangan ini tidak hanya ada di atas kertas dalam bentuk perencanaan

jadwal, tetapi juga harus dibarengi dengan pembagian tim kerja yang baik, mempertimbangkan kondisi lapangan, perencanaan produktivitas yang ditentukan serta *supply chain* yang baik. Dengan demikian, diharapkan dengan melakukan penyeimbangan kecepatan kerja ketiga pekerjaan tersebut, maka waktu pelaksanaan yang sebelumnya lebih dari 45 hari kerja (garis A), dapat dikurangi menjadi hanya 40 hari kerja saja (garis B).



Gambar 13 Contoh kebutuhan dan hasil *work structuring*

Agar Gambar 13 bisa terjadi, di mana terjadi keseimbangan, dengan meminimalkan pemborosan, seperti *idleness* pekerja, tetapi malah menguntungkan dari segi waktu total proyek, maka *work structuring* ini sangat diperlukan. Jadi, WS adalah sebuah perancangan proses (*process design*), yang terjadi perulangan sesuai dengan kebutuhan juga. Tantangannya bagaimana keseimbangan (*balanced*) itu dirancang dengan memperhatikan persediaan dan kapasitas subkontraktor atau tim kerja yang ditugaskan melakukan suatu operasi, dan aliran antar operasi tersebut. Biasanya memang harus dibuat penyangga (*buffer*) agar tidak terjadi antrean atau *idleness*. Perancangan proses ini tentunya juga harus mengikutsertakan pihak-pihak yang terkait, subkontraktor atau tim kerja, sehingga kapasitasnya dapat dioptimalkan, tanpa

memengaruhi waktu siklus masing-masing operasi yang ditugaskan kepadanya.

4.1.2 Takt Time Planning

Selain *work structuring*, upaya untuk mengurangi pemborosan dengan menciptakan *flow* pada saat produksi di lapangan, dilakukan juga menggunakan *takt time planning* (TTP), dan dapat dipandang sebagai dasar kerangka kerja untuk perbaikan berkelanjutan. Yang dimaksud dengan *takt time* adalah waktu yang tersedia untuk menghasilkan setiap unit produk untuk memenuhi permintaan; dengan kata lain, *takt time* adalah kecepatan yang harus dicapai oleh produksi untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Perlu dicatat bahwa bahwa *takt time* berbeda dari *cycle time* atau waktu siklus, di mana *cycle time* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit produk mulai dari awal proses hingga proses yang paling akhir, sedangkan *takt time* fokus pada kecepatan yang harus dicapai untuk memenuhi permintaan pelanggan. Manfaat dari jelasnya rencana *takt time*, tim produksi dapat mengidentifikasi dan mengatasi hambatan sebelum mulai bekerja, mengenali dan bereaksi terhadap variasi dalam alur kerja selama pelaksanaan rencana, dan menerapkan tindakan pencegahan (Tommelein & Emdanat, 2022).

Secara bahasa, asal usul istilah “*takt*” berasal dari bahasa Latin “*tactus*” yang berarti “sentuhan, indra peraba, perasaan”. Pada abad ke-16, *takt* dalam bahasa Jerman didefinisikan sebagai ketukan yang dilakukan melalui kontak teratur, atau dalam bahasa Inggris disebut “*beat*”. Bahkan selanjutnya lebih didefinisikan dalam bahasa Jerman mengacu pada ‘irama’, yaitu keteraturan dalam melakukan sesuatu (Haghsheno dkk., 2016). Secara keilmuan, *takt* (atau *takt time*) adalah satuan waktu di mana suatu produk harus diproduksi (*supply rate*) agar sesuai dengan tingkat kebutuhan produk tersebut (*demand rate*) (Hopp & Spearman 2011). Dalam manufaktur, *takt* dihitung sebagai berikut:

$$\text{Takt} = (\text{Waktu produksi yang tersedia}) / (\text{Permintaan pelanggan}) \quad (4)$$

Takt berlaku pada manufaktur bervolume tinggi, yang dapat diukur dalam hitungan detik atau menit, atau pada manufaktur bervolume rendah dengan variasi tinggi, atau *low volum high variability* (LVHV), yang mungkin lebih umum diukur dalam hitungan jam atau hari (Iriondo, dkk., 2016); dengan demikian *Takt* juga dapat berlaku untuk produksi konstruksi, karena

konstruksi adalah jenis manufaktur LVHV yang terstruktur secara khusus berdasarkan perakitan tata letak tetap (seperti halnya beberapa sistem manufaktur), yang berarti bahwa pekerja, peralatan, dan material mengalir untuk menyelesaikan pekerjaan di lokasi tetap, didukung oleh arus informasi berdasarkan keputusan yang dibuat selama desain dan berkaitan dengan rantai pasokan .

Takt memerlukan perhitungan yang menetapkan tingkat di mana sistem produksi harus memproduksi untuk memenuhi permintaan pelanggan. Permintaan dapat bersifat eksternal (permintaan pelanggan secara keseluruhan) atau internal terhadap sistem di mana setiap jalur perakitan (dalam manufaktur) atau tahapan pekerjaan (dalam proyek konstruksi) harus diatur sesuai dengan laju produksi dari jalur atau fase sebelumnya dan berikutnya. Dalam konstruksi, permintaan mengacu pada proyek sebagai satu produk yang diselesaikan dalam jangka waktu tertentu. Pekerja menyelesaikan pekerjaan dalam tahapan yang ditentukan dengan penyerahan yang jelas dan langkah standar untuk setiap tahapan di lokasi tertentu (sering disebut sebagai zona).

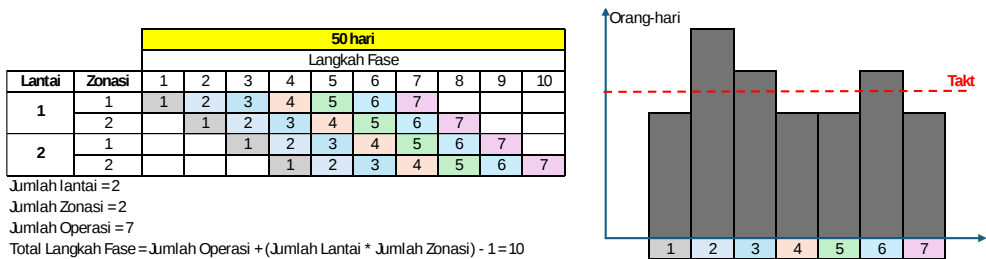
Saat perencanaan proyek konstruksi, ruang kerja proyek harus dibagi menjadi beberapa zona untuk memungkinkan terjadinya konkurensi pekerjaan dan meningkatkan manajemen tim kerja di lokasi kerja. Terdapat empat pendekatan untuk melakukan perencanaan ini. Pendekatan pertama adalah menggunakan *line of balance* atau *linear scheduling*, yaitu memulai dari atas ke bawah dengan menentukan struktur rincian lokasi (LBS) untuk suatu fase proyek atau keseluruhan proyek, menilai pekerjaan di setiap lokasi, dan kemudian memilih cara dan metode sambil mengukur jumlah tim kerja. Pendekatan lain adalah memulai dengan mengidentifikasi satuan ruang standar atau *standard space unit* (SSU), kemudian mengidentifikasi pekerjaan berdasarkan subkontraktor atau tim kerja untuk masing-masing unit, mengalikannya dengan laju produksi untuk mencari waktu yang dibutuhkan, dan kemudian menyesuaikan sumber daya untuk menemukan batas atas yang dapat diterima mengenai durasi setiap pekerja diperbolehkan menyelesaikan pekerjaannya di setiap SSU. Pendekatan ketiga mungkin disebut “perencanaan blok”, yang dimulai dengan memilih durasi tertentu antara serah terima dan membagi lokasi menjadi beberapa zona, sehingga menciptakan blok ruang-waktu. Dan pendekatan terakhir adalah metode kepadatan kerja atau *work density method* (WDM) yang didasarkan pada

identifikasi langkah-langkah kerja yang harus diselesaikan dalam suatu fase (atau proses) dan pada pemetaan waktu yang dibutuhkan setiap tim kerja ke jaringan sel yang relatif halus yang ditumpangkan di ruang kerja (Tommelein & Emdanat, 2022).

Takt konstruksi adalah jumlah waktu tetap yang dimiliki suatu tim kerja atau subkontraktor untuk menyelesaikan pekerjaannya untuk suatu langkah tertentu (lingkup pekerjaan tertentu) di suatu zona tertentu, dengan beberapa langkah yang membentuk suatu proses sehingga semua langkah proses di semua zona yang berlaku adalah diselesaikan dalam fase atau durasi proyek yang diperlukan. Dalam praktiknya, dan karena adanya variasi yang cukup besar antar tahapan pekerjaan, *takt* konstruksi merupakan hasil analisis yang dilakukan pada tingkat fase/tahap tertentu, misalnya pada tingkatan operasi; jarang dihitung pada tingkat proyek. Setiap fase mungkin memiliki langkah yang berbeda. Suatu fase mengidentifikasi pengelompokan aktivitas konstruksi yang sifatnya serupa, seperti pekerjaan bawah tanah, struktur, sistem dinding, penyelesaian akhir, atau pengujian. Untuk durasi fase tertentu dan jumlah langkah fase, *takt* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Takt Tahap Konstruksi} = (\text{Durasi Fase}) / (\text{Total Langkah Fase}) \tag{5}$$

Ilustrasi, diambil dari Tommelein & Emdanat (2022), pada Gambar 14 di bawah ini menggambarkan suatu tahapan pekerjaan bangunan dua lantai harus diselesaikan dalam waktu 50 hari. Pengembangan rencana *takt* dimulai dengan memetakan jumlah langkah yang harus dilakukan secara berurutan untuk menyelesaikan semua pekerjaan dalam fase tersebut, Total Langkah Fase. Analisis selanjutnya bergantung pada konteks, dengan memulainya mengidentifikasi langkah-langkah pekerjaan mana yang harus dilakukan secara berurutan dan mana yang dapat dilakukan secara paralel.



Gambar 14 Ilustrasi perencanaan dengan pendekatan *takt-time*

4.1.3 The Last Planner System

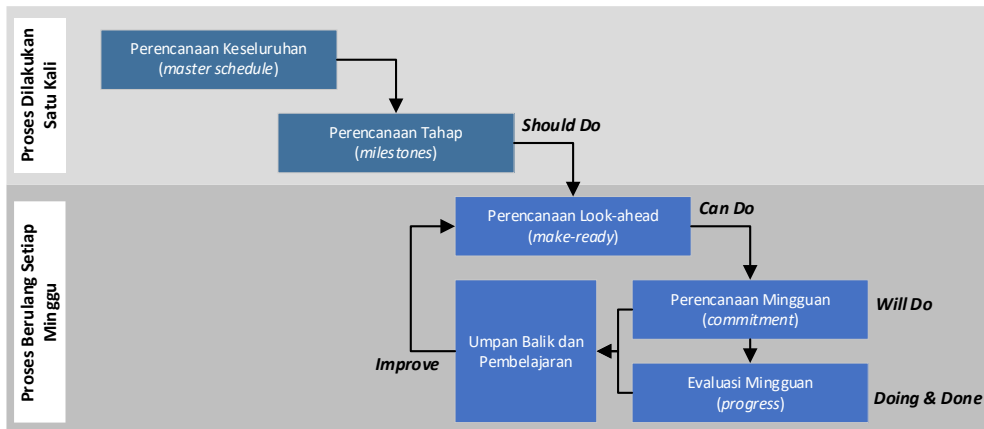
Pada praktik yang sering dilakukan, pengendalian hanya berupa penilaian pelaksanaan pekerjaan dan membandingkannya dengan perencanaan yang dilakukan. Padahal terkadang perencanaan yang dilakukan, misalnya dengan *work structuring* atau *takt time planning*, belum tentu dapat diandalkan. Sehingga ada kemungkinan deviasi yang terjadi bukan karena kinerja pelaksanaan yang buruk, tetapi lebih pada perencanaan yang tidak realistis. Dalam sistem pengendalian produksi dengan konsep konstruksi ramping, praktik tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan Sistem Perencana Akhir (SPA) atau *the Last Planner System* (LPS) (Ballard, 2000).

LPS ini merupakan usaha melihat kembali apa yang telah direncanakan sebelum dieksekusi oleh personil yang paling kompeten akan pekerjaan yang direncanakan dan akan melaksanakan pekerjaan tersebut. Personil tersebut selanjutnya sebagai *the last planner*; di Amerika yang menjadi *the last planner* adalah *foreman*, yang di Indonesia tidak sepadan dengan mandor. Namun demikian pimpinan subkontraktor ataupun pimpinan tim kerja dapat diupayakan untuk menjadi *the last planner* ini di Indonesia.

Dengan LPS, akan terdapat penilaian kondisi lapangan yang ada baik sumber daya maupun lokasi yang akan memberikan *input* untuk evaluasi perencanaan yang sudah ada sebelum perencanaan tersebut dilaksanakan. Hasil koreksi tersebut kemudian yang akan dilaksanakan di lapangan. Dengan adanya sistem *the Last Planner*, maka prinsip *push* (di mana pekerja lapangan harus melaksanakan apa yang direncanakan) yang biasa dilakukan akan digantikan dengan sistem *pull* sesuai dengan konsep konstruksi ramping.

Dalam LPS, terdapat indikator kinerja yang digunakan untuk mengukur sejauh mana aliran pekerjaan dapat tercapai dengan baik, yaitu *Percent Planned Completed* (PPC). PPC merupakan ukuran sejauh mana *flow* yang direncanakan dapat berjalan. LPS akan berhasil jika PPC-nya tinggi, namun tidak lebih dari 100%. Untuk mendukung sistem ini terdapat penambahan detail perencanaan sebagai alat untuk dapat mendeteksi keandalan rencana dan kemungkinan terjadinya aliran yang diharapkan di lapangan. Jadwal detail mingguan, jadwal bulanan atau 6 mingguan (*look ahead plan*), jadwal fase atau *milestones* dan jadwal utama (*master schedule*) menjadi kombinasi yang dinamis dan penting dalam sistem ini. Upaya perencanaan kolaboratif

merupakan ciri dari LPS ini yang dilakukan dengan pendekatan *pull*. Secara umum, LPS ini dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.



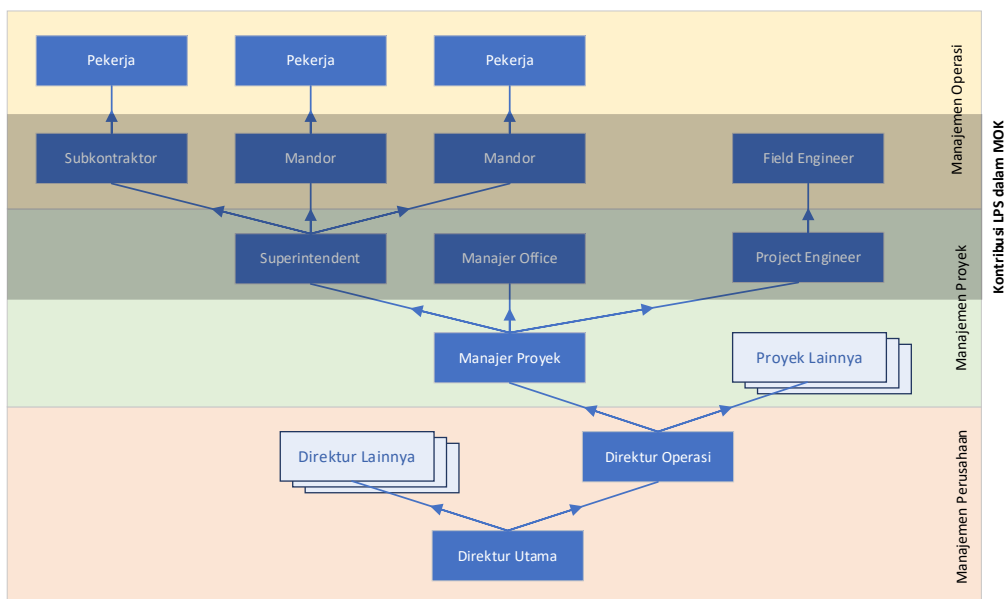
Gambar 15 Konsep sistem perencana akhir atau *the last planner system*

LPS pada awalnya dirancang sebagai sistem untuk perencanaan dan pengendalian produksi berdasarkan proyek, yaitu melakukan apa yang diperlukan untuk mencapai target yang ditetapkan. Awalnya, LPS hanya terdiri dari perencanaan melihat ke depan (Ballard, 2000), perencanaan kerja mingguan, dan belajar dari kegagalan. Pada awal tahun 2000-an, fase perencanaan dan penjadwalan proyek (yang memberikan masukan untuk perencanaan ke depan) telah ditambahkan ke dalam cakupannya, sebagaimana dijelaskan dalam Ballard & Tommelein (2016). Hasil *benchmarking* pada tahun 2000 semakin memperluas LPS prinsip untuk produksi, yaitu berjuang untuk mencapai target, dan perencanaan dan pengendalian proyek, yaitu menetapkan sasaran (Ballard & Tommelein, 2021).

Pengendalian produksi (*production control*) dianggap sebagai bagian yang hilang dari perangkat manajemen proyek, yang didominasi oleh pengendalian proyek (*project control*). Tugas pengendalian proyek adalah menetapkan target biaya dan jadwal sejalan dengan ruang lingkup proyek, dan memantau kemajuannya target-target tersebut. Sebaliknya, tugas pengendalian produksi adalah mengarahkan sasaran; untuk melakukan apa yang bisa dilakukan dilakukan untuk bergerak sepanjang jalur yang direncanakan, dan ketika hal itu menjadi tidak mungkin, untuk mencari tahu cara alternatif untuk mencapai target. Jadi keduanya memang dibutuhkan, dua sisi mata uang yang sama. Pengendalian proyek tanpa pengendalian

produksi itu seperti mengemudi sambil melihat ke kaca spion. Pengendalian produksi tanpa pengendalian proyek itu seperti mengemudi tanpa tujuan dan tidak sadar akan sisa jarak atau bahan bakar.

Berdasarkan itu, maka, sebagaimana terlihat di Gambar 16, maka LPS sangat membantu menjembatani fragmentasi yang terjadi antara tim kontraktor dengan subkontraktor maupun tim kerja yang dipimpin oleh mandor, karena pada intinya LPS menjembatani pengendalian proyek yang dilakukan oleh kontraktor dengan pengendalian produksi yang saat ini diberikan kepada subkontraktor atau tim kerja. Dengan LPS ini pula, ikatan kontraktual antara kontraktor dengan subkontraktor atau dengan mandor dapat diperbaiki, karena pada intinya pada sisi merekalah terdapat yang disebut sebagai perencana akhir (*last planner*); yang ada pada sisi kontraktor dapat disebut sebagai perencana pertama atau *first planner* pada konteks manajemen operasi konstruksi (MOK). Jembatan yang dilakukan LPS adalah dengan melakukan perencanaan dari mulai perencanaan tahap (*milestone*) yang dilakukan secara kolaboratif sehingga dapat diyakinkan bahwa yang direncanakan menggambarkan pula komitmen subkontraktor atau tim kerja yang akan mengerjakannya di lapangan. Kepastian kapasitas dan variabilitas yang mungkin terjadi di lapangan dengan sumber daya yang dimiliki akan lebih baik, dan hal ini merupakan juga komitmen subkontraktor atau tim kerja yang akan bekerja nantinya.

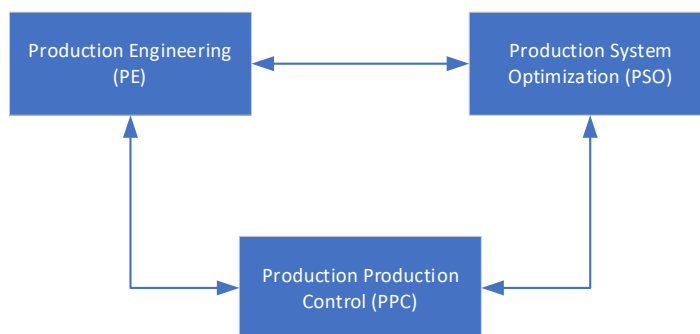


Gambar 16 Upaya integrasi yang dilakukan oleh sistem perencana akhir

4.2 Manajemen Produksi Proyek

Menurut Zabelle (2024), munculnya inisiatif manajemen produksi proyek (MPP) atau dalam bahasa Inggrisnya *Project Production Management* (PPM), adalah karena terjadi kecenderungan saat ini topik-topik Konstruksi Ramping (KR) sudah tidak lagi fokus kepada sistem operasi atau produksi di lapangan, tetapi sudah menjadi lebih melebar dan bersifat umum, dengan munculnya tiga aspek yang menjadi ranah *Lean Construction Institute* (LCI), yaitu sistem operasi, organisasi, dan komersial. Di lain pihak, tantangan proyek konstruksi semakin tinggi dengan tingkat kompleksitasnya dan juga variabilitasnya. Pada kenyataannya, PPM ini adalah upaya lebih lanjut (*advanced*) dari sistem operasi yang ada pada KR. Mengapa PPM ini tidak banyak diminati untuk dikaji lebih lanjut dan bahkan diimplementasikan, mungkin karena sangat berkaitan dengan keilmuan sains operasi yang membutuhkan pemahaman yang lebih dan terkait dengan beberapa formula matematik, yang bagi praktisi konstruksi kurang praktis, dan berharap ada contoh implementasi yang mudah dari formula matematik tersebut.

PPM didasarkan pada konsep bahwa proyek adalah sistem produksi, dan oleh karena itu, sains operasi dapat diterapkan untuk memahami dan memengaruhi hasil proyek secara efektif. Jika suatu perusahaan ingin mencapai kinerja proyek yang lebih baik, fokus pada bagaimana tepatnya pekerjaan produksi di lapangan direncanakan dan dilaksanakan adalah suatu keharusan. Dalam hal ini, PPM digunakan untuk memetakan, memodelkan, menganalisis, mensimulasikan, mengoptimalkan, mengendalikan dan meningkatkan sistem produksi proyek (Shenoy & Zabelle, 2016).



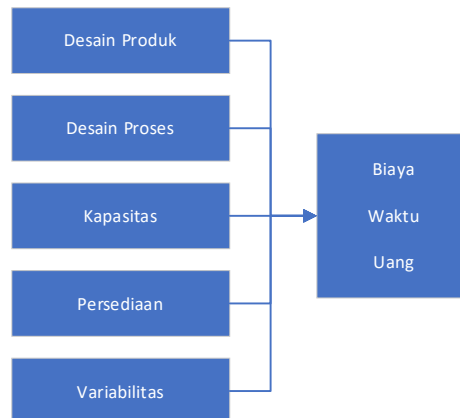
Gambar 17 Komponen besar PPM

PPM terdiri dari tiga elemen utama untuk mengkonfigurasi, mengoptimalkan, dan mengendalikan produksi berdasarkan lima pengungkit (*lever*). Ketiga

elemen utama itu adalah (lihat **Gambar 17**): 1) Optimasi Sistem Produksi atau *Production System Optimization* (PSO), 2) Rekayasa Produksi atau *Production Engineering* (PE), dan 3) Pengendalian Produksi Proyek atau *Project Production Control* (PPC).

Adapun kelima pengungkit yang dimaksud, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 18, adalah sebagai berikut.

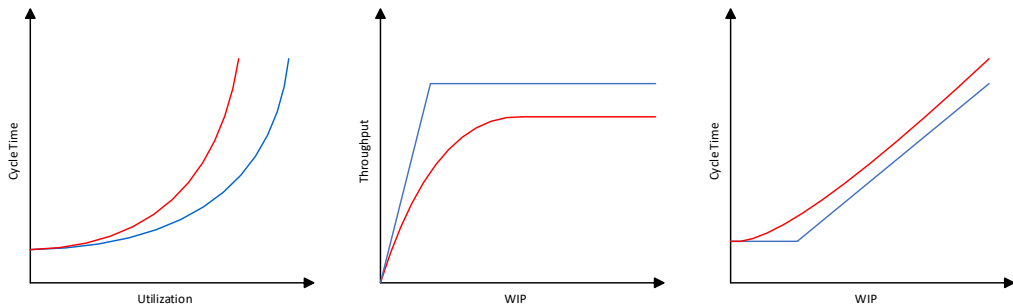
- Desain produk atau aset yang diproduksi (*product design*);
- Desain proses kerja yang digunakan untuk membangun produk yang diproduksi (*process design*);
- Bagaimana persediaan yang dibutuhkan untuk membangun produk tersebut akan dikelola (*inventory*);
- Bagaimana kapasitas yang diperlukan untuk membangun produk akan dialokasikan termasuk kontributor seperti peralatan konstruksi, perkakas (*tools*), tenaga kerja dan ruang (*capacity*); dan
- Bagaimana variabilitas akan dikelola (*variability*).



Gambar 18 Lima hal penting yang dapat mengungkit kinerja dalam PPM

Tujuan dari setiap sistem produksi adalah untuk memberikan hasil produksi yang diinginkan sesuai dengan strategi sumber daya, yaitu didefinisikan sebagai kapasitas (peralatan, tenaga kerja, dan ruang) dan persediaan (cadangan, antrean, dan pekerjaan dalam proses). Sains operasi menyatakan bahwa ada hubungan antara variabilitas dan penggunaan sumber daya, yaitu semakin besar variabilitasnya, semakin banyak sumber daya (kapasitas, persediaan, atau kombinasi keduanya) yang diperlukan untuk memperoleh hasil atau *throughput* yang sama. Oleh karena itu, teknologi apa pun yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain

produk, desain proses, dan penggunaan sumber daya serta pengelolaan variabilitas memiliki nilai tinggi dalam penerapan PPM. Berkaitan dengan hal tersebut, maka PPM sangat mengandalkan tiga buah kurva untuk menjelaskan fenomena hubungan antara CT, WIP, dan *Throughput*, seperti pada Gambar 19 berikut.



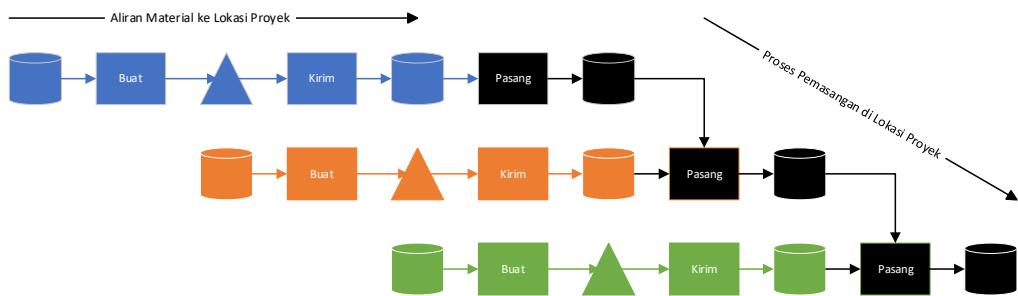
Gambar 19 Tiga kurva penting dalam sains operasi

Ketiga kuva tersebut terkait dengan sains operasi yang diadopsi oleh PPM dalam semua elemennya. Penjelasannya sebagai berikut.

- Kurva antara utilisasi dengan waktu siklus (CT). Kurva ini menggambarkan semakin tinggi penggunaan *resource* (utilisasi) hingga mendekati kapasitasnya, maka akan semakin lama waktu siklusnya. Kurva berwarna merah adalah kurva yang memiliki variabilitas lebih tinggi dibandingkan dengan kurva yang berwarna biru.
- Kurva antara pekerjaan dalam proses (WIP) dengan hasil atau *throughput* (TH). Sebagaimana terlihat bahwa meningkatkan WIP akan meningkatkan TH pada awal-awal, tetapi pada suatu saat TH akan tetap, tidak naik lagi. Kurva warna merah adalah kurva yang realistis dengan adanya variasi, sedang kurva yang biru adalah kurva teoretis, ketika tidak ada variasi.
- Kurva antara pekerjaan dalam proses (WIP) dengan waktu siklus (CT). Semakin banyak WIP, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus akan semakin lama. Kurva berwarna merah adalah kurva dengan variasi, sedangkan kurva dengan warna biru adalah kurva teoretis.

Terdapat pekerjaan penting yang digeneralisasi pada PPM, agar mudah melakukan pemodelannya, dan juga merupakan pekerjaan yang ada pada setiap jenis operasi, yaitu membuat (*make*), mengirim (*deliver*), dan memasang (*install*). Pekerjaan membuat (*make*) termasuk di dalamnya ada kebutuhan merancangya terlebih dahulu (*design*). Dengan menggunakan pemodelan

blok berupa segitiga, persegi panjang, simpanan (*stock*), dan panah (*arrow*), maka setiap operasi dapat digambarkan sebagai rangkaian model blok tersebut, yang digambarkan sebagai aliran material ke lokasi proyek, sebagaimana terlihat pada Gambar 20 yang diadopsi dari Zabelle (2024). Selain itu, terlihat pula hubungan antara satu operasi dengan operasi lainnya dalam aliran proses pemasangan di lokasi proyek. Kebanyak kontraktor di lapangan, hanya mengelola penjadwalan untuk pekerjaan memasang (*install*) setiap subkontraktor atau tim kerja. Dengan gambar tersebut, maka terlihat jelas kebutuhan akan koordinasi antara satu operasi yang dikerjakan oleh satu subkontraktor atau tim kerja dengan operasi lain yang dikerjakan subkontraktor atau tim kerja lain. Selain itu jelas juga bahwa proses di dalam setiap operasi harus dipertimbangkan pula mulai dari perancangan, pembuatan, dan pengiriman.



Gambar 20 Aliran material ke lokasi proyek dan proses pemasangannya

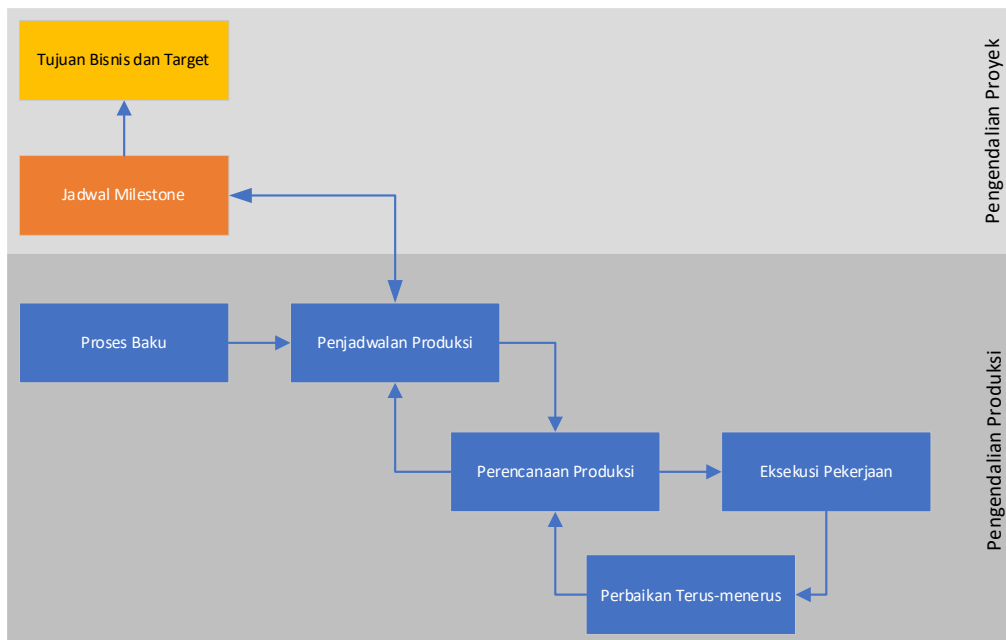
Kegiatan *Production Engineering* (PE) merupakan kegiatan awal yang harus dilakukan dengan kegiatan penting berupa desain produk (*product design*). Namun demikian, desain produk ini tidak bisa berdiri sendiri, harus dilakukan secara bersamaan, disebut juga sebagai *concurrent engineering*, dengan desain proses (*process design*). Dukungan dari *computer-aided production engineering* (CAPE) sangat diperlukan untuk melakukan visualisasi produk secara 3D, dan juga dikaitkan dengan proses sehingga terbentuk visualisasi 4D-nya. Hasil dari CAPE ini kemudian diuji coba dengan pendekatan *first-run study*, sehingga siap untuk dilaksanakan di lapangan. Namun demikian, sistem PE ini tidak kaku, misalnya yang sering dilakukan dengan mengadopsi pembekuan desain (*freeze*), tetapi harus menjadi mengalir sesuai dengan dinamika yang terjadi di lapangan, karena nanti dikaitkan juga dengan modul pengendalian produksi atau PPC. Keniscayaan bahwa desain tidak pernah selesai adalah yang diadopsi dalam sistem PE ini,

dan merupakan realitas yang terjadi di lapangan nanti, namun harus dapat dikendalikan dengan baik, sehingga harus terkait erat dengan PPC.

Production System Optimization (PSO) adalah bagian dari sistem PPM yang mencoba memetakan, memodelkan, menganalisis, dan menyimulasikan sistem produksi untuk mencapai kinerja terbaik. Ketika melakukan optimasi, fokus utamanya adalah hasil, waktu siklus, dan penggunaan sumber daya (kapasitas dan persediaan), dengan mempertimbangkan dampak dari variabilitas. Berdasarkan hasil PSO ini, maka perilaku dari sistem produksi akan dapat dikenali dengan baik, dan dapat ditetapkan untuk pelaksanaan di lapangan. Representasi dari model sistem produksi digambarkan dengan model blok sebagaimana digambarkan pada gambar di atas.

Karena kompleksitas yang melekat pada produksi proyek (banyak pemangku kepentingan, lokasi berbeda, opsi sumber alternatif, dll.), cara-cara produksi direncanakan, dilaksanakan, dikendalikan, dan ditingkatkan harus disesuaikan dengan jenis pekerjaan dan pekerja yang melaksanakannya. Untuk meminimalkan perbedaan antara bagaimana pekerjaan direncanakan dan bagaimana pelaksanaannya, pengendalian produksi atau *project production control* (PPC) menggabungkan pendekatan terdistribusi untuk merencanakan pekerjaan yang akan dilaksanakan, dengan pendekatan *pull*, di mana mereka yang bertanggung jawab untuk melaksanakan pekerjaan adalah yang merencanakan pekerjaan mereka, terlihat pada Gambar 21 (diadopsi dari Zabelle, 2024). Hal ini berbeda dengan pendekatan terpusat dengan pendekatan *push* di mana penjadwal membuat jadwal atau rencana induk, dan kemudian mendistribusikan rencana tersebut kepada anggota tim proyek untuk dieksekusi.

Penjadwalan produksi menentukan sumber daya apa, termasuk kapasitas, persediaan, atau waktu, yang akan diperlukan untuk melakukan pekerjaan guna mencapai *milestone* proyek yang disepakati. Namun, meskipun jadwal produksi telah dikembangkan oleh mereka yang bertanggung jawab langsung atas pekerjaan tersebut, jadwal tersebut masih harus terus diperbarui, dilaksanakan, dan oleh karena itu, dikendalikan. Pengendalian pekerjaan selama pelaksanaan, melalui penerapan mekanisme pengendalian produksi proyek, menyediakan sarana untuk memasukkan atau meminimalkan variabilitas (baik disengaja atau tidak disengaja) untuk menghasilkan prediktabilitas dan keandalan yang lebih besar pada pekerjaan di masa depan.



Gambar 21 Hubungan pengendalian proyek dan pengendalian produksi

Perencanaan produksi adalah mekanisme di mana penjadwalan produksi dilaksanakan dan dikendalikan. Proses perencanaan produksi berfokus pada optimalisasi penggunaan sumber daya yang diterapkan (kapasitas dan persediaan) untuk jangka waktu atau siklus pengendalian tertentu, baik itu *shift*, sehari, atau seminggu melalui pembuatan dan pembaruan rencana produksi untuk siklus tersebut. Hal ini mengharuskan tim proyek bertemu secara teratur, sesuai dengan siklus pengendalian yang disepakati, untuk membuat komitmen tentang pekerjaan apa yang akan dilaksanakan pada siklus berikutnya. Dengan membuat rencana produksi untuk siklus kerja berikutnya, pengendalian diperkenalkan secara sistematis ke dalam proses perencanaan.

Salah satu teknik penjadwalan yang digunakan adalah *last responsible moment* (LRM), yaitu strategi menunda suatu keputusan untuk memulai pekerjaan hingga biaya yang timbul karena tidak mengambil keputusan lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan untuk mengambil keputusan (Zabelle, 2024); metode LRM ini banyak diterapkan dalam implementasi kerangka *agile* dan *scrum*.

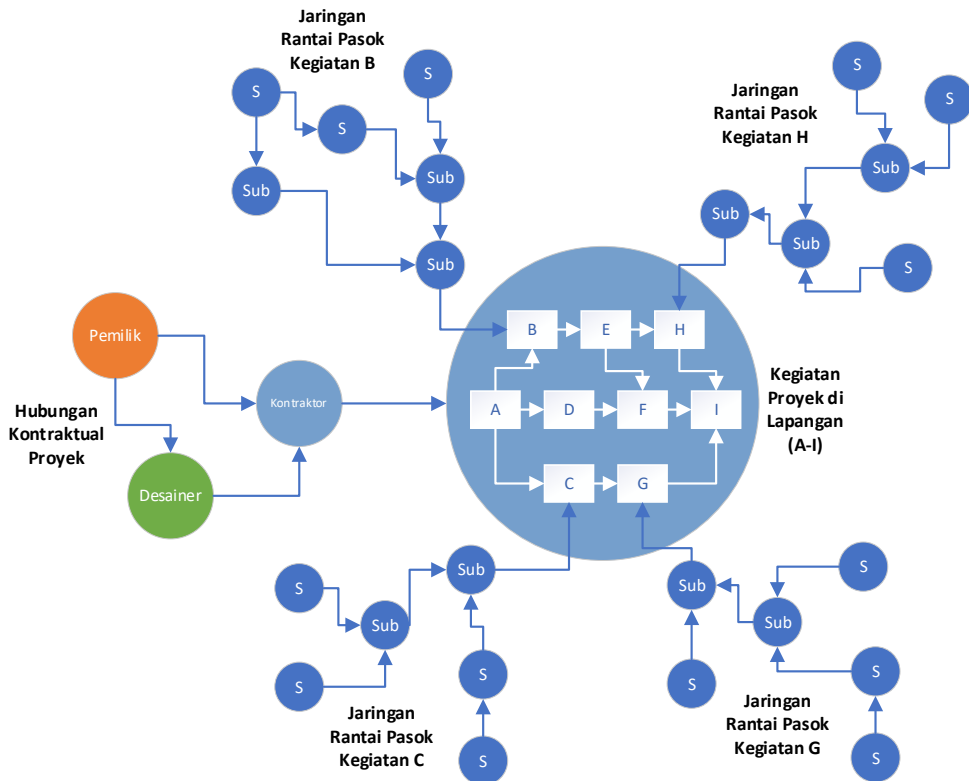
4.3 Rantai Pasok Konstruksi

Supply chain atau rantai pasok merupakan suatu konsep yang relatif baru, yang awal perkembangannya berasal dari industri manufaktur. Dijelaskan bahwa pada dasarnya *supply chain* merupakan sekumpulan *supplier* dan *customer* yang terhubung, setiap *customer* pada gilirannya akan menjadi *supplier* bagi organisasi hilir selanjutnya. Rangkaian hubungan *customer-supplier* tersebut terjadi dalam suatu rentang proses perubahan material, dimulai dari tahapan material alam hingga produk akhirnya mencapai pengguna akhir, bagaikan suatu rangkaian mata rantai yang terhubung secara linier. Namun bentuk jaringan *supply chain* dalam konteks bisnis yang sesungguhnya memiliki bentuk yang kompleks. Kompleksitas hubungan tersebut terjadi karena suatu perusahaan memiliki hubungan ke hulu dengan beberapa pemasok (*multiple suppliers*) dan ke hilir dengan beberapa *customer* (*multiple customers*). Secara lebih luas lagi terdapat pula hubungan antara *supplier* dengan *supplier*-nya *supplier* serta hubungan antara *customer* dengan *customer*-nya *customer*. Hal ini membentuk satu sistem pola jaringan yang kompleks. Pada jaringan ini terdapat ketergantungan antar berbagai pihak, sehingga hubungan ini lebih tepat digambarkan dengan suatu jaringan (*network*) dari pada rantai (*chain*).

Sejalan dengan pengertian *supply chain* dalam konteks manufaktur, maka dalam konteks konstruksi, *supply chain* dapat didefinisikan sebagai suatu proses dari sekumpulan aktivitas perubahan material alam hingga menjadi produk akhir (misalnya jalan, bangunan, dan jasa perencanaan), untuk digunakan oleh pengguna jasa dengan mengabaikan batas-batas organisasi yang ada. Tambahan dalam definisi O'Brien dkk. (2002) yang menyatakan bahwa dalam jaringan yang terstruktur tersebut dilakukan selain untuk memenuhi kebutuhan *owner*, juga untuk memenuhi kebutuhan seluruh anggota *supply chain* tersebut.

Pada Gambar 22, yang diadopsi dari O'Brien dkk. (2002), yang merupakan gambaran rantai pasok konstruksi (RPK), terlihat keterlibatan beberapa pihak dalam proses produksi yang terjadi di lapangan (*on-site production*), juga menunjukkan adanya rangkaian pihak yang menunjukkan proses produksi yang terjadi luar site (*off-site production*). Rangkaian aktivitas subkontraktor sebagai pihak yang memberikan *input* pada lokasi proyek konstruksi dipahami sebagai pihak yang dapat melakukan proses produksinya diluar

lokasi proyek. Untuk produk konstruksi, seperti bangunan atau infrastruktur, agar pengguna akhirnya dapat menikmatinya sesuai dengan yang diinginkannya (*value*), maka rantai pasok sangat berperan penting dalam berkontribusi menciptakan apa yang diinginkan tersebut. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa rantai pasok (*supply chain*) merupakan alat untuk terealisasinya rantai nilai (*value chain*).



Gambar 22 Konsep rantai pasok di proyek konstruksi

Ketika rantai pasok yang ada sangat kompleks, banyak pihak terkait dengan variasi layanannya, maka suatu upaya sadar harus dilakukan untuk mengelolanya; dengan demikian muncul kebutuhan untuk mengelola rantai pasok, atau disebut Manajemen Rantai Pasok (MRP) atau *Supply Chain Management* (SCM); untuk konstruksi, hal ini berlaku pula sehingga muncul istilah manajemen rantai pasok konstruksi (MRPK). Pengelolaan rantai pasok ini memiliki tantangan sendiri, karena kompleksnya rantai pasok yang ada, terutama untuk produk yang sudah umum sifatnya, dengan banyaknya lapisan (*tier*) dari hulu (*upstream*) ke hilir (*downstream*) yang harus dikelola, sedangkan pengelolaan biasanya hanya bisa dilakukan secara langsung

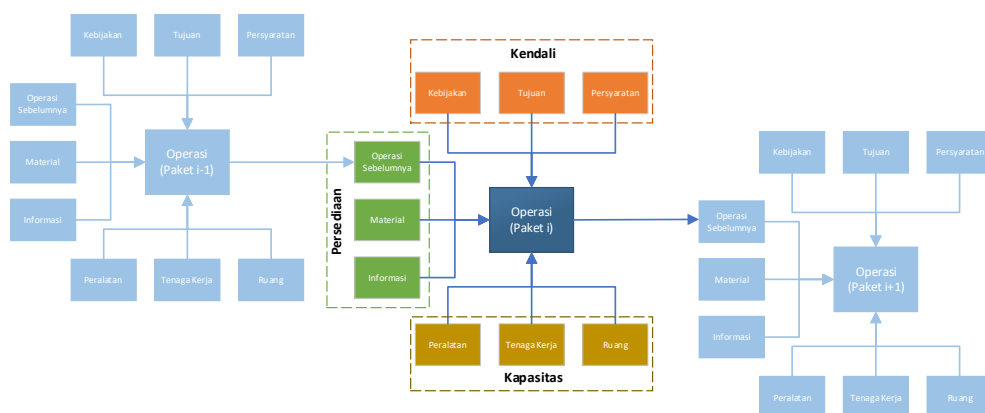
kepada pihak terdekat saja dari pengelola (*focus firm*); hanya satu lapis terdekat. Manajemen rantai pasok dikatakan berhasil jika upaya tersebut dilakukan dengan mengikutsertakan semua pihak yang terkait dalam kolaborasi rantai nilai dan menjadikannya sebagai bagian dari *competitive advantage* dan berkelanjutan bagi semua pihak pula.

Pada dasarnya MRPK masih menjadi masalah pada beberapa perusahaan yang ingin mencapai efisiensi biaya dan memaksimalkan keuntungan mereka, tetapi mereka mengorbankan rantai pasok mereka karena mereka beranggapan bahwa tanpa rantai pasok maka mereka dapat memperoleh keuntungan lebih besar. Perusahaan seperti ini tidak menyadari bahwa hal tersebut hanya akan mentransfer biaya ke hulu atau hilir, tetapi tidak membuat mereka lebih untung secara relasi ataupun harga. Alasannya adalah bahwa pada akhirnya semua biaya akan sampai ke pasar akhir tercermin dalam harga yang dibayarkan oleh konsumen.

Terkait dengan manajemen operasi konstruksi (MOK), maka posisi rantai pasok ini sangat krusial, karena yang akan mendukung terjadinya produksi di lapangan. Jika mengacu kepada sains operasi, fokus untuk menerapkan ilmu berupa prinsip, metode, dan alat diperlukan untuk memahami dan mengelola pekerjaan pada titik instalasi. Ini adalah bidang ilmu teknik yang sudah mapan dan berada di luar jangkauan manajemen proyek konvensional. Sementara manajemen proyek konvensional seperti yang digambarkan dalam Era 1 dan Era 2 berupaya membangun prediktabilitas dalam dunia yang dinamis, sains operasi menyediakan kerangka kerja untuk mengelola lingkungan yang kompleks dan dinamis yang terkait dengan titik instalasi (di lapangan).

Permasalahan utama yang terkait dengan pengelolaan pelaksanaan pekerjaan secara efektif adalah memahami sifat dinamis dari proses, masalah pencocokan, dan cara terbaik mengalokasikan kapasitas. Dengan dikaitkan dengan adanya rantai pasok untuk mendukung setiap operasi konstruksi di lapangan, maka digambarkan kebutuhan sinkronisasi antara satu operasi dengan operasi lainnya dalam konteks RPK, dalam hal ini terkait dengan kapasitas, sistem kendali dan persediaan yang ada pada setiap subkontraktor atau tim kerja yang terlibat (Gambar 23, diadopsi dari Zabelle, 2024, sangat berkaitan dengan Gambar 20 sebelumnya). Secara grafis tergambar kebutuhan integrasi untuk menjalankan satu operasi secara efektif. Hal ini

jelas menunjukkan perlunya menyediakan semua informasi, bahan, pekerjaan pendahuluan, peralatan, tenaga kerja dan ruang yang diperlukan jika operasi ingin diselesaikan. Jika salah satu dari item ini tidak tersedia, pengoperasian mungkin tidak dapat dimulai, dapat dimulai tetapi tidak selesai, dapat dilakukan dengan cara yang tidak aman, dapat mengakibatkan penurunan kualitas, memakan waktu lebih lama, mungkin membutuhkan biaya lebih atau beberapa kombinasinya.



Gambar 23 Kebutuhan sinkronisasi antara operasi

Di Indonesia, topik MPK ini relatif baru diperkenalkan pada sekitar tahun 2008, sebagaimana disampaikan oleh Abduh (2012). Disampaikan pula bahwa lingkup MPK ini setidaknya terdiri dari 3 ranah kajian:

- Intra-organizational*. Dalam tingkatan ini, rantai pasok yang dimaksud merupakan perpanjangan sistem logistik perusahaan konstruksi. Ini merupakan bagian dari pengelolaan operasi perusahaan konstruksi.
- Inter-organizational*. Ini merupakan rantai pasok proyek konstruksi di lapangan, di mana akan terjadi interaksi antara beberapa organisasi yang tergabung dalam suatu proyek konstruksi dan membawa rantai pasoknya masing-masing.
- Cross-organizational*. Pada tingkatan ini yang dibicarakan adalah rantai pasok yang melayani berbagai organisasi klien yang mungkin berbeda tingkatannya. Rantai pasok pada tingkatan ini biasa disebut sebagai rantai pasok industri konstruksi.

Pada ranah *intra-organizational*, banyak dikaji aspek pembelian (*purchasing*) atau pengadaan (*procurement*), baik organisasinya itu *owner*,

developer, maupun kontraktor, seperti pengembangan layanan logistik pihak ketiga untuk kontraktor kecil (Abduh, 2018a), dan sistem kematangan pengadaan pemerintah untuk proyek konstruksi (Abduh dkk, 2023). Pada ranah *inter-organizational*, kajian masih terbatas pada pemenuhan material pada tepat waktu, banyak telah dilaporkan misalnya terkait struktur biaya pengadaan besi tulangan di dua proyek konstruksi (Abduh dkk., 2012), dan upaya untuk menjadikan rantai pasok proyek konstruksi menjadi lebih hijau (Abduh, 2014a), tetapi belum sampai pada integrasi dengan proses produksinya itu sendiri. Pada ranah *cross-organizational*, banyak dikaji terkait kesiapan, persaingan, tata kelola perdagangan material strategis bagi lingkup konstruksi nasional, banyak telah dilaporkan terkait permasalahan rantai pasok konstruksi nasional yang ada di Indonesia (Abduh & Rahardjo, 2013), dan khususnya terkait material strategis (Abduh & Chan, 2022), serta bagaimana upaya harmonisasi yang harus dilakukan berbagai *stakeholder* untuk memperkuat rantai pasok konstruksi nasional (Abduh & Pribadi, 2014).

Dari pihak pemerintah Indonesia, dilaporkan pada Abduh dkk. (2020), terutama Badan Pembinaan Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum memulai kajian terkait rantai pasok di Indonesia pada awal tahun 2011, di lingkungan Pusat Pembinaan Sumber Daya Investasi saat dilakukan pengembangan Sistem Informasi Sumber Daya Investasi (SISDI); dalam hal ini lebih kepada lingkup rantai pasok industri konstruksi atau *cross-organization*, karena peran Kementerian PU sebagai *regulator*. Selain itu pada tahun 2012 telah dilakukan beberapa kajian identifikasi struktur dan perilaku rantai pasok untuk komoditas strategis konstruksi, seperti material baja, semen, aspal, dan peralatan berat konstruksi. Pada tahun 2012 diterbitkan Buku Konstruksi Indonesia 2012 dengan judul Harmonisasi Rantai Pasok Konstruksi dan juga dicanangkan Roadmap Harmonisasi Sumber Daya Konstruksi 2010-2030 oleh Kementerian Pekerjaan Umum. Kemudian pada tahun 2013 dibentuk suatu tim Perkuatan Rantai Pasok Konstruksi sebagai bagian dari tim Penyusunan Pengaturan/Kebijakan Struktur Industri Konstruksi Nasional, pendeknya disebut tim Restrukturisasi Konstruksi Nasional, oleh Menteri Pekerjaan Umum saat itu, yang banyak mengkaji lingkup *intra-organization* dan *inter-organization* juga, yang bekerja sama dengan LPJKN. Hasil dari kajian-kajian yang dilakukan pada masa tersebut menjadi masukan bagi revisi UU Jasa Konstruksi No. 18 tahun 1999, dengan pengenalan cara pandang rantai konstruksi sebagai dasarnya. Perubahan

organisasi dari di Kementerian PU, di mana Badan Pembinaan Konstruksi menjadi Direktorat Jenderal Bina Konstruksi pada tahun 2015 menekankan pentingnya rantai pasok konstruksi ini dengan adanya Direktorat Bina Kelembagaan dan Sumber Daya Jasa Konstruksi yang melingkupi berbagai kebijakan terkait dengan rantai pasok material, peralatan, dan teknologi; saat ini direktorat tersebut menjadi Direktorat Kelembagaan dan Sumber Daya Konstruksi, dan yang mengelola rantai pasok material dan peralatan adalah Sub-direktorat Kelembagaan, Material dan Peralatan, dan Usaha Jasa Konstruksi.

Terlepas dari itu semua, memang disadari bahwa integrasi antara kapasitas masing-masing sub-kontraktor atau tim kerja, yang merupakan rantai pasok proyek konstruksi (*inter-organizational*), belum banyak disadari dan dikaji lebih dalam, terutama untuk mengamankan proses produksi di lapangan dengan mempertimbangkan persediaan kemampuan pengendalian lainnya sebagaimana yang diusulkan dalam sains operasi.

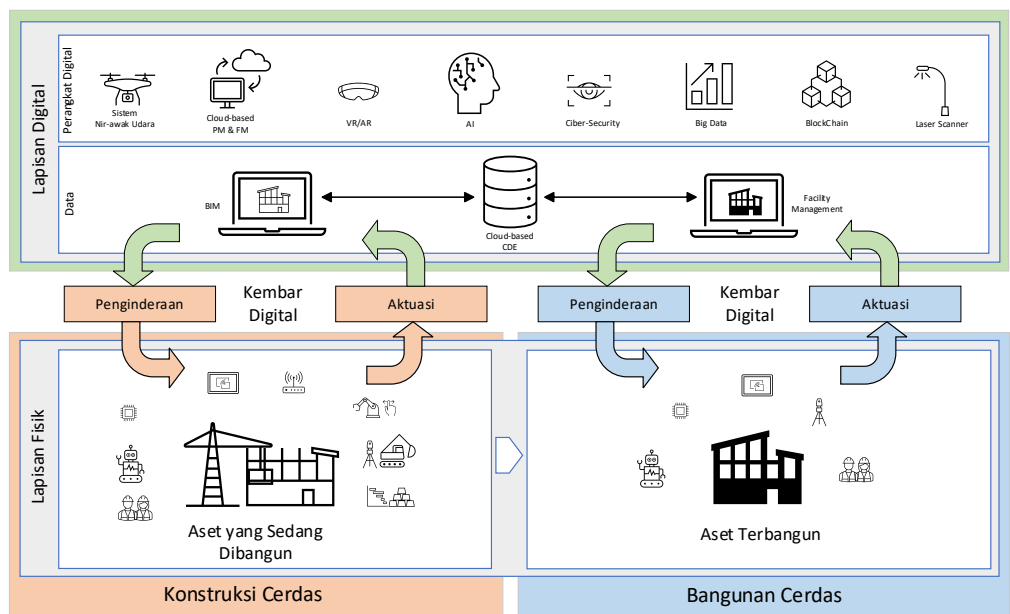
4.4 Konstruksi 4.0

Sebagaimana disampaikan Zabelle (2024), untuk dapat mengimplementasikan sains operasi dalam mengelola operasi konstruksi di lapangan dengan efektif, maka diperlukan dukungan tiga pilar, yaitu automasi, industrialisasi, dan digitalisasi, atau lebih dikenal dengan *smart construction* atau Konstruksi 4.0 (Sahwney dkk., 2020), yang tetap terintegrasi dengan pendekatan sains operasi, dan tetap fokus kepada dukungannya kepada produksi di lapangan.

Sektor konstruksi yang tadinya diwakili oleh semen dan bata, serta kerja keras berkeringat di lapangan untuk produksi, sudah selayaknya melihat potensi bantuan dari teknologi informasi dan memasuki dunia digital. Konstruksi 4.0, penggerak utamanya adalah upaya digitalisasi di semua aspek dan keterkaitan yang erat antara dunia siber dan dunia fisik dalam sebuah sistem terpadu. Konstruksi 4.0 diadopsi dari Industri 4.0 yang berfokus pada produksi manufaktur yang berulang, yang sebenarnya mirip dengan operasi konstruksi yang berulang. Dengan demikian, untuk lingkup penyelenggaraan proyek, pada daur hidup proyek, yaitu mulai dari desain hingga konstruksi di lapangan, dapat diadopsi untuk mendukung apa yang sudah dikenal sebagai *smart construction* atau konstruksi cerdas. Konstruksi cerdas adalah penerapan dari konsep sistem siber-fisik atau *cyber-physical system* pada masa

penyelenggaraan konstruksi, mulai dari tahap awal perencanaan, kemudian desain, dan konstruksi; serah terima pekerjaan konstruksi selesai.

Di lain pihak, pendekatan kembaran digital atau *digital twin*, yang sebenarnya mencoba membuat replika suatu objek fisik ke dalam bentuk digitalnya untuk melakukan simulasi dan juga mengendalikan, dapat diadopsi untuk memodelkan bangunan yang sudah jadi ke dalam dunia digital; sehingga terbentuklah kembaran digitalnya. Tentu saja hal ini yang dibutuhkan dalam operasi dan pemeliharaan bangunan tersebut, misalnya dalam bentuk bangunan gedung, sehingga disebut sebagai *smart building* atau bangunan cerdas. Jika kedua pendekatan di atas digabungkan, maka dapat diilustrasikan, seperti pada Gambar 24, sebuah konsepsi kembaran digital di sektor konstruksi yang meliputi seluruh daur hidup bangunan (*aset*), bukan saja daur hidup proyek (Abduh & Soemardi, 2023).



Gambar 24 Model konseptual kembaran digital konstruksi

Keberadaan automasi, industrialisasi, dan juga digitalisasi akan merubah karakteristik konstruksi dan bahkan manufaktur secara umum, dari yang keduanya berada di dua ekstrem yang berbeda, akan menjadi konvergen menuju kustomisasi dengan tetap fokus kepada operasi konstruksi, tidak tertarik ke ranah manufaktur untuk menjadi produksi yang masal. Hal ini telah diprediski oleh banyak praktisi dan ahli teknologi informasi, bahwa masa yang akan datang, automasi, industrialisasi dan digitalisasi telah

memudahkan dan mempercepat produksi suatu produk manufaktur. Nantinya, berbagai komponen baku untuk suatu model dasar yang juga dibakukan akan mudah digabungkan menjadi produk yang unik yang sesuai dengan permintaan pengguna (prosumer). Di lain pihak, konstruksi yang awalnya sangat unik akan juga mengarah kepada pembakuan produk atau komponen, sehingga gabungan komponen baku tersebut dapat menghasilkan produk konstruksi yang tetap unik tetapi bisa dibuat dalam jumlah yang banyak (lihat Gambar 25).



Gambar 25 Konvergensi produksi konstruksi dan manufaktur

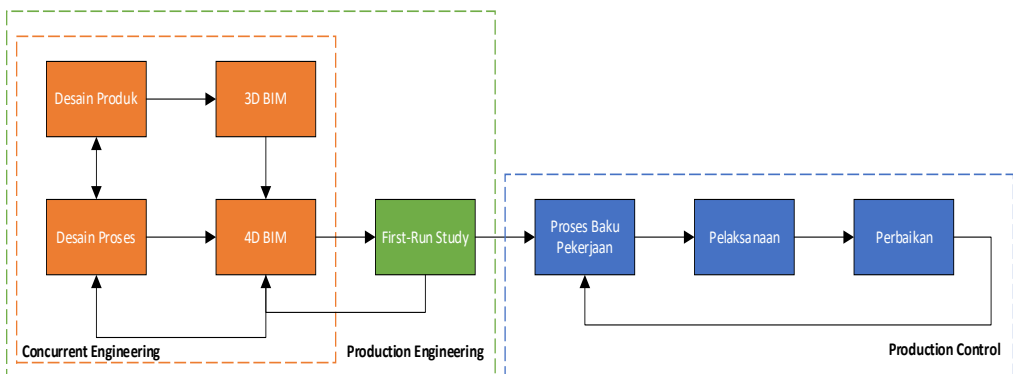
Namun demikian, sebagaimana pernyataan Bertelsen (2005) bahwa untuk konstruksi ramping berhasil mencapai tujuannya tantangannya bukan merubah konstruksi menjadi manufaktur, tetapi tetap fokus untuk memperbaiki proses konstruksinya, artinya keberadaan automasi, industrialisasi, serta digitalisasi harus dapat membantu proses produksi di lapangan secara efektif dan efisien. Pengembangan harus lebih fokus pada penggunaan teknologi informasi untuk mendukung sistem produksi di proyek konstruksi dengan menerapkan sains operasi. Misalnya, rantai pasok cerdas menggunakan sensor *IoT* untuk melacak lokasi dan lingkungan produk, *machine learning* dan *artificial intelligence* (AI) digunakan untuk memahami dan memengaruhi kinerja rantai pasok berdasarkan data yang diambil, optimalisasi AI dilakukan dalam konteks sains operasi, dan proses konstruksi dapat diotomatisasi

Implementasi PPM dalam suatu proyek besar, yang terdiri dari *Production System Optimization* (PSO), *Project Production Control* (PPC) dan *Production Engineering* (PE), tidak dapat dicapai dengan menggunakan papan tulis dan *flip chart*, tetapi harus menggunakan suatu aplikasi yang terintegrasi. Hal ini dibutuhkan, karena sifat kompleks dari proyek besar dan sistem produksinya termasuk jumlah anggota tim, lokasinya, persyaratan keamanan, zona waktu, dll..

Pada masa yang akan datang akan terdapat tiga peluang untuk mengintegrasikan teknologi digital dengan PPM sebagaimana disampaikan oleh Zabelle (2024), yaitu:

- Penggunaan teknologi *mixed reality* yang terintegrasi dengan solusi PPM untuk merancang proses kerja dan operasi secara lebih efektif, mengalokasikan sumber daya, dan mengelola sumber variabilitas;
- Akuisisi realitas, sensor IoT, dan kendaraan otonom akan memberikan informasi umpan balik kinerja sistem produksi proyek ke dalam solusi PPC sekaligus memberikan instruksi dan optimalisasi umpan maju; dan
- Kecerdasan buatan, pembelajaran mesin, dan otomatisasi proses robotik terintegrasi dengan solusi PPM, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dan otomatis.

Konsep *computer-aided production engineering* (CAPE) dalam sistem PPM dapat diilustrasikan pada Gambar 26 (adopsi dari Zabelle, 2024).



Gambar 26 Konsep *computer-aided production engineering* dengan BIM

Dalam gambar tersebut di atas, terlihat bahwa kebutuhan pemodelan 3D dan juga 4D yang disarankan PPM, dapat menggunakan teknologi BIM, baik 3D maupun 4D-nya. Hal ini penting sekali untuk dapat diintegrasikan dengan tahapan lain pada daur hidup produk konstruksi terkait, misalnya dengan kebutuhan dimensi lain dari pemodelan BIM, 5D-9D jika diperlukan. Tentu saja dengan kemungkinan penggunaan teknologi digital sebagaimana disampaikan di atas, maka kebutuhan manajemen produksi dapat juga berdampak lebih jauh ke manajemen proyek dan juga manajemen aset atau fasilitas. Konsep ini sangat mendukung implementasi VDC yang mengintegrasikan penggunaan BIM dan juga PPM untuk visualisasi dan simulasi informasi produk, organisasi, dan proses secara terintegrasi dalam

sebuah proses yang disebut *integrated concurrent engineering* (ICE), sehingga dapat memprediksi kinerja tim gedung dan proyek, dan pada akhirnya mencapai tujuan proyek, dan juga tujuan pengguna akhir (Fischer dkk., 2017).

5 TANTANGAN IMPLEMENTASI DI INDONESIA

Manajemen operasi konstruksi (MOK) di Indonesia, secara umum, sudah dilakukan oleh kontraktor, tetapi dengan paradigma dan pendekatan konvensional. Upaya menerapkan paradigma, pendekatan, bahkan teknik dan perkakas yang baru telah dilakukan oleh kontraktor Indonesia, terutama kontraktor dengan kualifikasi besar, seperti implementasi manajemen rantai pasok, penggunaan ERP, BIM dan berbagai teknologi informasi terkini, dan konstruksi ramping. Namun disayangkan implementasi PPM di Indonesia masih terbatas, hanya pada proyek infrastruktur besar dengan dukungan kepakaran terkait dari konsultan asing. Khusus untuk konstruksi ramping, semangat kontraktor Indonesia untuk mengimplementasikannya semakin meningkat, meskipun beberapa kekurangan masih teridentifikasi berdasarkan hasil interaksi dengan beberapa kontraktor melalui forum seminar, kompetisi, penelitian mahasiswa dan layanan kepakaran. Ini menunjukkan perlunya identifikasi tantangan secara tepat dan mendasar, beserta rekomendasi tindakan yang perlu dilakukan oleh berbagai pihak.

Untuk dapat menerapkan MOK secara efektif, terutama dengan pendekatan yang baru, dan berdampak dengan meningkatnya kinerja proyek konstruksi, dengan melihat konteks konstruksi Indonesia yang ada, terdapat beberapa tantangan yang perlu dimitigasi dan rekomendasi tindak lanjut oleh semua pemegang kepentingan konstruksi Indonesia. Dengan menggunakan kerangka TOE atau *technology-organization-environment* dalam suatu adopsi inovasi (Tornatzky & Fleischer, 1990), dengan melihat bahwa pengenalan MOK ini sebagai sebuah inovasi dari luar yang akan diadopsi oleh praktisi konstruksi Indonesia, maka tantangannya disampaikan dalam konteks teknologi, organisasi dan lingkungan sebagai mana disampaikan berikut ini.

5.1 Konteks Teknologi

Dalam konteks teknologi ini, tantangan implementasi MOK, terutama terkait dengan perkembangan terkini yang telah disampaikan pada bagian sebelumnya, akan berkaitan dengan keberadaan berbagai teknologi (baik *soft* maupun *hard*) terkait MOK, terutama dalam hal ini yang terkait dengan implementasi Konstruksi 4.0. Disadari pula, bahwa Indonesia tentu belum sepenuhnya memasuki Era 3 dari penyelenggaraan proyek konstruksi

sebagaimana yang disampaikan oleh Shenoy & Zabelle (2016), melainkan masih banyak memanfaatkan ilmu dan teknologi terkait dengan Era 2 dan Era 2. Demikian pula dengan, Konstruksi 4.0., sektor konstruksi Indonesia baru saja memulainya.

Sektor konstruksi Indonesia yang masih mengandalkan sumber daya manusia sebagai pekerja konstruksi di lapangan, baru dalam tahapan awal melakukan digitalisasi. Sebagaimana kurva *Hype Cycle* dari Gartner (2022), secara umum kematangan digitalisasi masih membutuhkan usaha dan waktu yang lama. Keberadaan *pioneer* dari pihak kontraktor, konsultan maupun *owner* untuk memulai transformasi digital di masing-masing lingkup usahanya merupakan sebuah optimisme yang harus selalu dibagikan Masyarakat konstruksi kebanyakan. Mereka inilah yang akan memulai dan belajar dari kesalahan, yang mungkin mengeluarkan dana yang besar, tetapi membantu secara keseluruhan membantu mematangkan transformasi digital di Indonesia (Abduh, 2018b).

Kematangan teknologi pun beragam, dan banyak pilihannya, sehingga upaya untuk menilai teknologi mana yang diadopsi oleh para *pioneer* ini penting sekali pada tahapan awal ini. Yang jelas, adopsi teknologi, sebaiknya tidak dilakukan saat teknologi tersebut masih berada di kurva awal ataupun saat berada pada puncak kurva awal dari *Hype Cycle*. Kecepatan perkembangan dan adopsi teknologi pun tidak sama sehingga perlu jeli untuk pemilihan teknologi tersebut di konstruksi. Sebagai contoh, meskipun keberadaan teknologi *drone* dan BIM hampir bersamaan, tetapi teknologi *drone* lebih cepat mencapai kurva *plateau* dari pada BIM, meskipun keduanya sudah melewati puncak kurva awal; ini berkaitan dengan kesiapan ekosistem digital masing-masing teknologi (Abduh & Soemardi, 2023).

Untuk mencoba menjawab tantangan konteks teknologi di atas dalam implementasi MOK, beberapa rekomendasi untuk para praktisi dan akademisi konstruksi di Indonesia adalah sebagai berikut.

- a. Digitalisasi adalah kunci, sudah saatnya kini untuk memulai digitalisasi proses yang terkait dengan manajemen operasi konstruksi, dan juga memulai untuk membuka beberapa data terkait untuk dibagikan kepada berbagai pihak yang relevan.
- b. Memanfaatkan teknologi BIM dengan benar dari awal baik proses maupun teknisnya, sehingga kualitas data digitalnya, dapat dimanfaatkan untuk

berbagai kepentingan lainnya dalam tahapan konstruksi, terutama MOK, dan bahkan hingga pemanfaatan produk konstruksi.

- c. Penggunaan suatu perangkat lunak terkait dengan MOK adalah salah satu jalan tercepat untuk adopsi MOK ini, tetapi perlu diperhatikan bahwa di belakang sebuah perangkat lunak terdapat prinsip dan prosedur yang sebaiknya dikuasai pula.
- d. Memulai budaya inovasi melalui kegiatan riset dan pengembangan terkait dengan implementasi MOK secara khusus dan juga Konstruksi 4.0 di perusahaan masing-masing, sesuai dengan kebutuhan dan kondisinya. Hal ini dapat dilakukan dengan berkolaborasi antara dunia pendidikan dan dunia industri lainnya.
- e. Kegiatan penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh akademisi, di bidang MOK, sebaiknya dilakukan untuk membumikan berbagai teori, konsep, metode, dan tools yang sudah tersedia di manufaktur untuk dapat diterapkan di konstruksi dan dalam konteks Indonesia, dan bukan hanya diperuntukkan bagi kontraktor besar saja, tetapi harus cukup sederhana sehingga bisa diterapkan pula oleh kontraktor kecil.
- f. Membagikan berbagai kisah sukses dan kegagalan implementasi terkait dengan MOK dan juga Konstruksi 4.0 kepada berbagai pihak, untuk memudahkan adopsi oleh pihak lainnya.

5.2 Konteks Organisasi

Tantangan implementasi dalam konteks organisasi ini berkaitan erat dengan kapasitas organisasi, dalam hal ini badan usaha konstruksi nasional. Kapasitas organisasi ini terutama didorong oleh kapasitas sumber daya manusia, kapasitas pengelolaan rantai pasok, dan tata kelola organisasinya.

Kapasitas sumber daya manusia, baik tingkat pimpinan hingga yang paling bawah, memerlukan pendidikan dan pelatihan yang efektif. Kondisi bahwa terjadi kesenjangan antara kebutuhan dunia praktik dengan pendidikan dan pelatihan yang ada telah lama teridentifikasi dan masih menjadi tantangan besar hingga kini, sebagaimana disampaikan oleh Abduh, dkk. (2008). Lebih lanjut kondisi kelembagaan pendidikan formal pun belum sepenuhnya mendukung, karena lebih terarah kepada pendidikan akademik, bukan praktik untuk mendukung pelaksanaan produksi konstruksi di lapangan, sebagaimana dilaporkan oleh Abduh (2019). Jumlah lembaga

pendidikan yang terbanyak ada pada jenjang sarjana atau S1 yang akan berperan sebagai perekayasa, tetapi masih kekurangan pada jenjang vokasi yang akan berperan di lapangan secara teknis, dan juga pada jenjang magister atau S2 yang akan berperan sebagai pengelola. Kebanyakan sumber daya manusia pada perusahaan kontraktor, sebagai produsen konstruksi, adalah lulusan S1 bidang teknik sipil, yang ditargetkan untuk memiliki kompetensi merancang produk konstruksi (*product design*), tetapi kurang memiliki kompetensi untuk melakukan perancangan proses konstruksi (*process design*), apalagi memiliki pemahaman mengenai sains operasi. Kebanyakan kontraktor jarang merekrut sarjana bidang teknik industri, yang sebenarnya memiliki kompetensi di bidang sains operasi yang bermanfaat untuk pengembangan tata kelola di perusahaan terkait dengan proses produksi di lapangan.

Dikarenakan MOK ini sangat terkait dengan kegiatan manajerial, maka pendidikan tingkat magister di bidang manajemen konstruksi menjadi penting posisinya. Meskipun dari jumlah lembaganya masih sedikit, pendidikan magister bidang manajemen konstruksi ini sangat diminati, setidaknya hal itu terjadi di Institut Teknologi Bandung, sebagai pelopor pendidikan manajemen konstruksi di Indonesia. Kurikulum yang ditawarkan melingkupi seluruh lingkup pengelolaan, mulai dari operasi, proyek, hingga industri konstruksi. Namun demikian, memang konten terkait dengan manajemen proyek konstruksi (MPK) masih memegang porsi terbesar; konten MOK sudah ada namun belum mencukupi. Di lain pihak, pendidikan magister bidang manajemen konstruksi ini lebih diarahkan untuk pendidikan akademik, dengan penulisan tesis sebagai muaranya; sedangkan yang terkait praktik di lapangan masih perlu ditingkatkan.

Terkait dengan kapasitas pengelolaan rantai pasok, tentu saja sangat berkaitan dengan praktik yang saat ini terjadi, di mana SCM belum sepenuhnya dilaksanakan, dengan banyaknya kasus *subkontraktor* atau *supplier* yang tidak dibayar tepat waktu oleh kontraktor-kontraktor besar, terutama BUMN. Selain itu, sebagaimana telah disampaikan pada subbab 2.3 bahwa pengelolaan rantai pasok masih belum menjadi kriteria penilaian pemilihan kontraktor oleh pemilik proyek, kemudian hubungan antar pihak pada rantai pasok yang ada belum berjangka panjang, tidak ada loyalitas dalam rantai pasok, dan masih adanya *vertical integration* dalam usaha rantai pasok.

Sehubungan dengan beberapa tantangan untuk implementasi MOK dalam konteks organisasi ini, maka direkomendasikan beberapa hal terkait pendidikan formal maupun informal, pengelolaan rantai pasok, serta tata kelola organisasi berikut.

- a. Pendidikan S-1 teknik sipil diperkaya dengan kompetensi mahasiswa dalam desain proses, yang dapat dilakukan dalam bentuk mata kuliah khusus seperti metode pelaksanaan konstruksi, ataupun dalam bentuk kuliah kolaboratif berbasis proyek, ataupun kuliah kolaboratif multidisiplin dengan mahasiswa teknik industri yang memiliki pengetahuan sains operasi.
- b. Pendidikan S-2 manajemen konstruksi diperkaya dengan kompetensi untuk melakukan pengelolaan produksi di lapangan, dengan adanya kuliah khusus terkait tersebut, termasuk rekayasa produksi, bukan rekayasa konstruksi yang terkait dengan desain teknis, tetapi yang ditujukan untuk desain proses, pengendalian produksi dengan dasar keilmuan sains operasi.
- c. Perusahaan konstruksi banyak melakukan pelatihan atau pendidikan non-formal terkait dengan MOK, misalnya dengan bekerja sama dengan perguruan tinggi dalam skema pendidikan nongelar, nonreguler, atau *in-house training*.
- d. Mulai melakukan pemetaan kebutuhan perekrutan lulusan dari teknik industri untuk upaya pengembangan sistem dan prosedur di perusahaan konstruksi yang ditujukan untuk merubah prosedur lama kepada prosedur baru yang didasarkan pada MOK.
- e. Mengembangkan prosedur yang sesuai dengan MOK, seperti prosedur pelaksanaan di proyek, perubahan tupoksi personil, dan juga perubahan sistem kontrak kepada subkontraktor atau *supplier*, yang sesuai dengan semangat MOK.
- f. Memperkuat fungsi manajemen rantai pasok di perusahaan konstruksi yang akan saling menguntungkan semua pihak yang terlibat secara berkelanjutan.

5.3 Konteks Lingkungan

Untuk konteks lingkungan, maka tantangan implementasi MOK ini berkaitan erat dengan peran pemerintah sebagai pembuat kebijakan, asosiasi badan usaha dan profesi sebagai wadah praktik keprofesian, serta jejaring yang

mendukung, yang dapat menciptakan atmosfir berusaha dan implementasi yang kondusif.

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, bahwa pemerintah melalui Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian PUPR, telah mengeluarkan kebijakan terkait implementasi konstruksi ramping dalam kerangka konstruksi berkelanjutan. Memang istilah konstruksi ramping yang dimaksud belum sepenuhnya didetailkan dan diarahkan ke MOK. Hal ini dikhawatirkan akan mengarah kepada implementasi konstruksi ramping yang umum atau yang mudah saja diterapkan, yang biasanya yang tidak terkait dengan MOK, sebagaimana telah disampaikan oleh Abduh & Roza (2006b). Kebutuhan akan pengembangan lebih lanjut kebijakan pemerintah yang terkait MOK ini sangat nyata, mengingat karakter praktisi konstruksi Indonesia yang sangat bergantung kepada kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah.

Pemerintah Indonesia pun sangat memiliki kendali akan bagaimana pasar konstruksi di Indonesia ini berkinerja. Undang-Undang Jasa Konstruksi beserta perangkat turunannya termasuk pengelolaan LPJK oleh Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian PUPR, adalah kendaraan pemerintah untuk mendefinisikan struktur pasar konstruksi dan meregulasinya. Namun demikian, berbagai praktik di lapangan masih banyak terjadi, sebagai mana disampaikan pula pada subbab 2.3. di atas, yang harus selalu dimonitor sejauh mana dampak kebijakan yang dikeluarkan tersebut telah memperbaiki permasalahan-permasalahan yang ada di lapangan, terutama terkait dengan bidang MOK.

Keberadaan asosiasi profesi ataupun asosiasi badan usaha seharusnya dapat menjadi penggerak lebih maju implementasi MOK ini, tetapi sayang, keberadaan asosiasi tersebut masih perlu difokuskan kepada hal-hal yang substantif dan memberdayakan anggota asosiasinya. Tentu saja jejaring di luar, yang terkait dengan MOK (seperti IGLC, LCI, PPI dll.), pun sudah banyak dan dapat diakses dengan adanya teknologi informasi saat ini dengan mudah.

Berdasarkan pada tantangan tersebut di atas, maka rekomendasi terkait implementasi MOK di Indonesia dalam konteks lingkungan ini adalah sebagai berikut:

- a. Pemerintah dapat mendetailkan kebijakan implementasi konstruksi ramping dalam bentuk pedoman yang lebih detail, baik yang bersifat

umum, dan tentunya yang lebih mengarah kepada MOK untuk menjadi dasar praktisi berinovasi dalam implementasi MOK.

- b. Pemerintah menekankan kembali pentingnya praktik MOK dan juga koordinasi rantai pasok dalam pelaksanaan proyek konstruksi, melalui proses seleksi dalam pengadaan proyek konstruksi; misalnya menjadi sebuah kriteria dalam seleksi baik pada bagian teknis berupa metode pelaksanaan maupun dukungan rantai pasoknya.
- c. Asosiasi profesi dan asosiasi badan usaha membantu memfasilitasi kebutuhan pengembangan pengetahuan dan kapasitas terkait MOK ini kepada para anggotanya.
- d. Menjadi bagian dari jejaring nasional maupun internasional dalam bidang MOK dan berperan aktif dalam kegiatannya.

6 PENUTUP

Buku ini menjelaskan bagaimana manajemen operasi konstruksi (MOK) menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan kinerja proyek konstruksi di Indonesia. Hal ini berdasarkan pada perkembangan terkini sains manajemen, terutama sains operasi, beserta praktiknya yang sudah dilakukan di berbagai negara dengan keberhasilannya. Berbagai pertanyaan yang disampaikan pada bagian pendahuluan, semoga dapat dijawab dengan meyakinkan, dan menimbulkan keinginan untuk lebih mempelajari bidang manajemen operasi konstruksi ini.

Untuk dapat menerapkannya dan juga mendapatkan dampak dari penerapan ilmu manajemen operasi konstruksi tersebut di Indonesia, masih akan banyak yang harus dilakukan oleh berbagai pemegang kepentingan konstruksi Indonesia. Penulis, sebagai bagian dari pemegang kepentingan tersebut, dari sisi akademisi, memiliki tanggung jawab yang besar untuk memperkenalkannya dan juga mengawal implementasinya yang akan dilakukan oleh berbagai pemegang kepentingan konstruksi lainnya. Tentu saja ini merupakan tantangan yang bersifat pribadi bagi penulis, karena merupakan bidang kepakaran yang digelutinya, yaitu manajemen operasi konstruksi. Dan untuk itu, penulis mengajak berbagai pihak dari masyarakat konstruksi Indonesia untuk bersama-sama memulai perjalanannya.

7 UCAPAN TERIMA KASIH

Guru besar adalah jabatan fungsional dosen tertinggi yang diraih sejalan dengan aktivitas akademik yang dilakukan dalam kurun waktu yang cukup lama. Tentunya sangat banyak pihak yang terlibat bahkan membantu terlaksananya berbagai kegiatan akademik tersebut, baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini, saya menghaturkan terima kasih kepada semua pihak tersebut dan juga khususnya kepada:

- a. Orang tua saya: Aba (alm), Ibu (almh), dan Bunda, yang dengan kecintaanya sebagai orang tua memberikan kepercayaan kepada saya untuk mengambil jalur profesi dan kehidupan sebagai dosen Teknik Sipil di ITB.
- b. Istri dan anak-anak saya: Umi, Ido, Ali, dan Hanif, yang menemani saya di rumah dari waktu ke waktu selain ketika saya sibuk berkarya dengan penuh kesabarannya dan keikhlasannya.
- c. Kakak dan adik saya, beserta keluarga besarnya: Una dan Ida, yang menjadi teman dari kecil hingga saat ini.
- d. Keluarga besar Bogor: Aki (alm), Enin (almh), Aa, Eteh, Teh Eli, Teh Neneng (almh), Akang (alm), dan Oga, yang memperbesar lingkaran kekeluargaan yang selalu saya syukuri.
- e. Kolega KK MRK ITB, yang selalu menjadi teman diskusi di rumah kecil KK MRK di ITB, dan juga berkarya dalam profesi bidang manajemen dan rekayasa konstruksi: Pak Rochharjanto, Pak Purnomo Soekirno, Pak Krihsna S. Pribadi, Ibu Puti Farida, Pak Rizal Z. Tamin, Pak Biemo W. Soemardi, Ibu Reini D. Wirahadikusumah, Ibu Ima Fatima, Ibu Iris Mahani, Ibu Rani G.K. Pradoto, Ibu Eliza R. Puri, Pak Budi Hasiholan, Pak Meifrinaldi, Pak Unang, dan Ibu Nia.
- f. Para kolega senior yang memberikan rekomendasi untuk GB saya: Pak Krishna S. Pribadi (KK MRK), Ibu Puti Farida Marzuki (KK MRK), Pak Masyhur Irsyam (FTSL), Pak Iswandi Imran (FTSL), Pak Senator Nur Bahagia (FTI), Pak Carmadi Mahbub (STEI), Pak M. Agung Wibowo (Undip), Pak Priyo Suprobo (ITS), Mirosław J. Skibniewski (USA), Po-Han Chen (Canada).
- g. Para pembimbing utama dalam tugas akhir, tesis, dan disertasi yang memberikan dasar pendidikan etik dan profesi akademik kepada saya: Pak Purnomo Soekirno, Pak Djuanda Suraatmadja (alm), Mirosław J. Skibniewski.

- h. Para kolega senior yang menjadi pimpinan di ITB saat saya berkarya untuk pengembangan ITB hingga saat ini: Pak Lilik Hendrajaya, Pak Kusmayanto Kadiman, Pak Adang Surahman, Pak Djoko Santoso, Pak Akhmaloka, Pak Kadarsyah Suryadi, Ibu Reini D. Wirahadikusumah, Pak Ofyar Z. Tamin (alm), Pak Widiyadnyana Merati, Pak Alibasyah Siregar (alm), Pak Leksananto, Ibu Puti Farida, Pak Carmadi Mahbub, Ibu Irawati, Pak Wawan Gunawan Kadir, Pak Muslinang Moestopo, Pak Triyogo, Pak Sahari Besari, Pak Djoko Sujarto (alm), Pak Enri Damanhuri (alm), Pak Saptahari Sugiri (alm), Pak Suprihanto Notodarmojo, Pak Ade Sjafruddin, Pak Edwan Kardeni, Pak Suhardjito Pradoto (alm), Pak Indratmo Soekirno, Pak Rudy Hermawan, Ibu Herlien D. Setio, Pak Made Suarjana, Pak Harun al-Rasyid Lubis, Pak Sony Sulaksono, Endra Susila, Pak Joko Nugroho, dan Pak Eri Susanto Riyadi.
- i. Kolega Teknik Sipil ITB, yang selalu menjadi kawan dalam berdiskusi serius terkait pendidikan Teknik Sipil dan juga profesinya.
- j. Kolega di manajemen ITB, yang bersama-sama, dengan penuh suka cita, mengasah diri dalam pengembangan institusi di ITB.
- k. Para mahasiswa sarjana, magister, dan doktoral yang saya bimbing langsung, yang memberikan kesempatan kepada saya untuk selalu belajar.
- l. Para guru sejak sekolah taman kanak-kanak hingga SMA dan juga para dosen perguruan tinggi dari tahap sarjana hingga doktoral, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang membekali berbagai keahlian sehingga saya menjadi seperti sekarang ini.
- m. Sahabat dan kawan sepermainan dari kecil hingga kini, yang memberikan warna dalam kehidupan ini.

Tentunya masih banyak yang tidak mungkin saya sebutkan satu per satu di sini, yang pastinya telah berkontribusi untuk menjadikan saya seperti sekarang ini. Semoga amal baiknya kepada saya mendapatkan balasan yang lebih banyak dan lebih baik dari Allah, Tuhan Semesta Alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. (2005). Konstruksi Ramping: Memaksimalkan Value dan Meminimalkan Waste. *Konstruksi: Industri, Pengelolaan, dan Rekayasa*. Penerbit ITB, ISBN 979-3507-98-5.
- Abduh, M. (2010). Konstruksi Ramping – Usaha Perbaikan Proses Konstruksi untuk Meraih Keunggulan Kompetitif. *Buku Konstruksi Indonesia 2010: Gagasan, Teknologi, dan Produk Konstruksi Bernilai Tambah Tinggi Karya Anak Bangsa*, 2010. Kementerian Pekerjaan Umum, ISBN: 978-979-1622585.
- Abduh, M. (2012). Rantai Pasok Konstruksi Indonesia. *Buku Konstruksi Indonesia 2012: Harmonisasi Rantai Pasok Konstruksi, Konsep, Inovasi dan Aplikasi di Indonesia*, Kementerian Pekerjaan Umum, . ISBN: 978-602-17174-0-0, hlm. 42-29.
- Abduh, M. (2014). Green Construction Supply Chain for Supporting Green Building in Indonesia: Initial Findings and Future Developments. *International Conference on Construction in a Changing Word*, Heritage Kandalama, Srilanka. Emerald Publishing, ISBN 978-1-907842-54-2.
- Abduh, M. (2018a). Conceptual Business Models of Strategic Logistic for Small-Sized Contractors. Proceedings of the Fourth Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference, Streamlining Information Transfer between Construction and Structural Engineering. Brisbane, Australia, pp. 15-1 s/d 15-16, ISEC Press, ISBN 978-0-9960437-7-9.
- Abduh, M. (2018b). *Harnessing Smart Construction Technologies in Indonesia*. Construction+: Bringing the Building and Design Industry to You, May/June 2018, Issues 8 & 9, PT BCI Asia, Jakarta, <https://www.constructionplusasia.com/id/harnessing-smart-construction-technologies-in-indonesia/> (diakses 8 Februari 2024).
- Abduh, M. (2019). *Advancing Construction Engineering and Management*. Construction+: Bringing the Building and Design Industry to You, December 2019, Issue 15, p. 22-26, PT BCI Asia, Jakarta. <https://www.constructionplusasia.com/id/advancing-the-construction-engineering-and-management-in-indonesia/> (diakses 8 Februari 2024).
- Abduh, M. (2021). Penyelenggaraan Proyek Konstruksi Terintegrasi, *Buku Konstruksi Indonesia 2021: Era Baru Konstruksi, Berkarya Menuju Indonesia Maju*, p. 752-763, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, ISBN: 9-786239-893408.

- Abduh, M., & Chan, T.K. (2022). Construction Supply Chain. *Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Edited by Toong-Khuan Chan, Krishna Suryanto Pribadi. Routledge, ISBN: 9780367712174.
- Abduh, M., Halvireski, S., Delfani, C., Irfanto, R., & Wirahadikusumah, R.D. (2017a). Analysis of the Cinapel Bridge's Construction Operations using Simulation. *IPTEK Journal of Proceedings Series No. 6* (2017), pp. 253-260, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. ISSN 2354-6026.
- Abduh, M. & Pratama, A. (2014). Study on Flow Improvement of Brick Laying Operation in Residential Construction Project. *The InCIEC 2014 International Civil and Infrastructure Engineering Conference*, Universiti Teknologi MARA, Kinabalu, Sabah, Malaysia. ISBN 978-981-28728-9-0.
- Abduh, M., & Pribadi, K.S. (2014). Harmonizing the Indonesian Construction Resources Supply Chain. *Proceedings of the 20th Asia Construct Conference 2014*, Hotel ICON, Hong Kong. ISSN 2407-1374.
- Abduh, M. & Rahardjo, A. (2013). Strengthening the construction supply chains: Indonesia approach in construction economics programs. *Proceedings of the 19th Asia Construct Conference, Jakarta*, 2013.
- Abduh, M. & Roza, H.A. (2006a). Indonesian Contractors' Readiness towards Lean Construction. *Proceedings of the 14th Annual Conference of International Group for Lean Construction*, Santiago, Chile.
- Abduh, M., & Roza, H.A. (2006b). Toward Lean Construction: An Agenda for Indonesian Contractors. *Proceedings the 10th EASEC*, Bangkok, Thailand.
- Abduh, M., & Setyowati, D. (2017). Estimasi Durasi Proyek Pembangunan Terminal Kalibaru. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 11*, Universitas Tarumanagara, Jakarta, hlm. MK-157 s/d MK-167.
- Abduh, M., Soemardi, B.W. (2023), Konsepsi Kembaran Digital untuk Transformasi Digital Sektor Konstruksi. *Buku Konstruksi Indonesia 2023: Transformasi Digital Sektor Konstruksi untuk Mewujudkan Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*, p. 176-192, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. ISBN: 978-979-8230-52-3.
- Abduh, M., Soemardi, B.W., & Suraji, A. (2020). Kinerja Jasa Konstruksi Indonesia. *Buku 20 Tahun LPJK: Konstruksi Indonesia 2001-2020*, Editor Biemo W. Soemardi, Krishna S. Pribadi, dan Edi Warsidi. ITB Press. ISBN 978-623-297-094-6.
- Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2008). Kesenjangan Antar Kompetensi Pendidikan Tinggi dengan Kompetensi Keahlian Konstruksi. *KoNTekS 2: Inovasi dalam Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, hlm. 235-246, 6-7 Juni 2008. Program Studi Teknik Sipil, FT Universitas Atma Jaya, Yogyakarta. ISBN 978-979-1317-98-6.

- Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2012). Indonesian Construction Supply Chains Cost Structure and Factors: a Case Study of Two Project. *Journal of Civil Engineering and Management*, Volume 18, Issue 2, 2012, pp. 209-216. ISSN 1392-3730 Print / ISSN 1822-3605 online.
- Abduh, M., Sukardi, S.N., La Ola, M.R., Ariesty, A., & Wirahadikusumah, R.D. (2017b). Simulation of Tunneling Construction Methods of the Cisumdawu Toll Road. *The 3rd International Conference and Building Engineering (ICONBUILD 2017)*, AIP Conference Proceedings 1903, 070014(2017), pp. 1-11. AIP Publishing. ISBN 978-0-7354-1591-1.
- Abduh, M., Sukardi, S.N., Wirahadikusumah, R.D., Oktaviani, C.Z., & Bahagia, S.N. (2023). Maturity of procurement units for public construction projects in Indonesia. *International Journal of Construction Management*, Vol. 23, No. 13, p. 2171-2184. Taylor & Francis.
- Abduh, M., Syahrani, S., & Roza, H.A. (2005). Agenda Penelitian Konstruksi Ramping. *Prosiding 25 tahun Pendidikan Manajemen dan Rekayasa Konstruksi di Indonesia*, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB.
- Ballard, G. (1999). *Work structuring*. LCI. White paper 5. <https://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/03/W005-Ballard-1999-Work-Structuring-Powerpoint-on-LCI-White-Paper-5.pdf> (diakses 8 Februari 2024).
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Ph.D. Dissertation, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, the University of Birmingham, UK.
- Ballard, G., Koskela, L., Howell, G., & Zabelle, T. (2001). *Production System Design: Work Structuring Revisited*. LCI White Paper #11. https://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/03/W011-Ballard_Koskela_Howell_Zabelle-2001-Production-System-Design-Work-Structuring-Revisited-LCI-White-paper-11.pdf (diakses 8 Februari 2024).
- Ballard, G. & Tommelein, I.D. (2016). *Current Process Benchmark for the Last Planner System*. Project Production Systems Laboratory (P2SL), University of California, Berkeley, California, USA. https://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/10/Ballard_Tommelein-2016-Current-Process-Benchmark-for-the-Last-Planner-System.pdf (diakses 8 Februari 2024).
- Ballard, G. & Tommelein, I.D. (2021). *2020 Current Process Benchmark for the Last Planner System of Project Planning and Control*. Technical Report, Project Production Systems Laboratory (P2SL), University of California, Berkeley, California, USA. https://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/10/Ballard_Tommelein-2016-Current-Process-Benchmark-for-the-Last-Planner-System.pdf (diakses 8 Februari 2024).

- Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M.J., Sridhar, M., Parsons, M., Betram, N., & Brown, S. (2017). *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*. McKinsey Global Institute. McKinsey & Company.
- Bertelsen, S. (2005). Modularization — a Third Approach to Making Construction Lean? Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.
- Bertelsen, S. & Koskela, L. U. (2004). Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- BPS. (2024). *Biro Pusat Statistik Indonesia*. <https://www.bps.go.id/id>, (diakses 8 Februari 2024).
- Choo, H.J. & Spearman, M.L. (2019). Cycle Time Formula Revisited. *Journal of Project Production Management*, Vol. 4: 112–116.
- DJBK. (2024). *Dashboard Sistem Informasi Jasa Konstruksi Terintegrasi*. Ditjen Bina Konstruksi, Kemen PUPR. <https://binakonstruksi.pu.go.id/> (diakses 8 Februari 2024).
- Eby, K. (2017). *Data, Data, Everywhere! Product Lifecycle Management in the World of IoT*. Smartsheet. <https://www.smartsheet.com/product-life-cycle-management> (diakses 8 Februari 2024).
- Martin Fischer, M., Ashcraft, H., Reed, D., & Khanzode, A. (2017). *Integrating Project Delivery*. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-47058-735-5
- Copyright © 2017, Inc. All rights reserved. Gartner. (2022). *What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*. Gartner Web. <https://emtemp.gcom.cloud/ngw/globalassets/en/articles/images/hype-cycle-for-emerging-tech-2022.png> (diakses pada 8 Februari 2024).
- Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., & Sterlike, S. (2016). History and theoretical foundations of takt planning and takt control. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Hopp, W.J. (2008). *Supply Chain Science*. Waveland Press. ISBN: 978-1-57766-738-4.
- Hopp, W. J. & Spearman, M. L. (2008). *Factory Physics*. 3rd ed., Waveland Press, ISBN: 978-1-57766-739-1.
- IGLC (2024). *International Group for Lean Construction*, <https://www.iglc.net/> (diakses pada 8 Februari 2024).
- Halpin, D.W. & Riggs, L.S. (1992). *Planning and Analysis of Construction Operations*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-55510-0.
- Iriondo, R.I., Lasa, I.S., & Vila, R.D.Castro. (2016). Takt time as a lever to introduce lean production in mixed engineer-to-order/make-to-order

machine tool manufacturing companies. *International Journal of Industrial Engineering*, 23 (2) 94-107.

Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Technical Report # 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University, USA.

Koskela, L. (1999). Management of Production in Construction: A Theoretical View, Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

LCI (2024). *Lean Construction Institute*, <https://leanconstruction.org/> (diakses 8 Februari 2024).

Little, J.D.C. (2011). Little's Law as Viewed on Its 50th Anniversary. *Operations Research* 59(3):536-549. <https://doi.org/10.1287/opre.1110.0940>

O'Brien, W. J. , London, K. & Vrijhoef, R. (2002). Construction Supply Chain Modeling - A Research Review and Interdisciplinary Research Agenda, *10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

OSI. (2024). *Operations Science Institute*, <https://opscience.org/> (diakses 8 Februari 2024).

PMI. (2024). Project Management Body of Knowledge. <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok> (diakses 8 Februari 2024).

Pound, E.S., Bell, J.H., & Spearman, M.L. (2014). *Factory Physics for Managers: How Leaders Improve Performance in a Post-Lean Six Sigma World*. McGraw-Hill. ISBN: 978-0-071-82261-9.

PPI (2024). *Project Production Institute*, <https://projectproduction.org/> (diakses 8 Februari 2024).

Pribadi, K.S. & Soemardi, B.W. (2020). Tantangan Konstruksi Indonesia 2045. *Buku 20 Tahun LPJK: Konstruksi Indonesia 2001-2020*, 18 halaman, Editor Biemo W. Soemardi, Krishna S. Pribadi, dan Edi Warsidi, ISBN 978-623-297-094-6, ITB Press. ISBN 978-623-297-094-6.

Sawhney, A., Riley, M., & Irizarry, J. (2020). Construction 4.0: Introduction and Overview. *Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780429398100>. ISBN: 978-0-429-39810-0.

Shenoy, R. G., and Zabelle, T. R. (2016). New Era of Project Delivery – Project as Production System. *Journal of Project Production Management*, Vol. 1: 13–24.

Spearman, M.L., & Choo, H.J. (2018). Rethinking the Product-Process Matrix for Projects. *Journal of Project Production Management*, Vol, 3: 19–24.

- Tornatzky, L.G. & Fleischer, M. (1990). *The Processes of Technological Innovation. Issues in organization and management series*. Lexington, Massachusetts: Lexington Books. ISBN 978-0-669-20348-6.
- Tommelein, I. D. and Emdanat, S. (2022). Takt Planning: An Enabler for Lean Construction. *Proceedings of the 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Womack, J.P., & Jones, D.T. (1996). *Lean Thinking*. Free Press. ISBN: 978-0-743-24927-0.
- Wyman, O. (2018). *Digitalization of the Construction Industry: The Revolution is Underway*. Marsh & McLennan Company. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/sep/digitalization-of-the-construction-industry.html> (diakses 8 Februari 2024).
- Zabelle, T.R. (2024). *Built to Fail: Why Construction Projects Take so Long, Cost too Much, and How to Fix It*. Forbes Books, Charleston, Sout Carolina, USA. ISBN: 979-8-88750-158-1.
- Zabelle, T.R., Choo, H.J., Spearman, M.L., & Pound, E.S. (2018). A ‘Gap’ in Current Project Management and The Impact on Project Outcomes. *Journal of Project Production Management*, Vol. 3: 9–18.

CURRICULUM VITAE



Nama : Muhamad Abduh
 Tempat/tgl lahir : Bandung, 15 Agustus 1969
 Kel. Keahlian : MRK
 Alamat Kantor : Gedung CIBE, 0604, Jln. Ganesha No. 10, Bandung
 Nama Istri : Lina Anggraeni
 Nama Anak : Muhammad Rasyid Ridha, Ali Zainal Abidin, Ibrahim Muslim Hanif

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar	Bidang
1.	Sarjana	ITB	1993	S.T.	Teknik Sipil
2.	Magister	ITB	1996	M.T.	Teknik Sipil
3.	Doktor	Purdue University, Amerika Serikat	2000	Ph.D.	Teknik Sipil

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

No.	Nama Jabatan	Tahun
1.	Bendahara, Proyek Pengembangan (P2T), ITB	2004-2005
2.	Deputi GM, Pusat Logistik, ITB	2005-2006
3.	Pejabat Pembuat Komitmen dan Koordinator DIPA, ITB	2006-2011
4.	Kepala UPT Logistik ITB	2006-2010
5.	Direktur, Direktorat Logistik, ITB	2010-2011
6.	Kepala Lab. Manajemen dan Rekayasa Konstruksi	2012-2013
7.	Kepala Lab. Manajemen dan Rekayasa Konstruksi	2013-2015
8.	Wakil Rektor II ITERA	2015-2016
9.	Ketua Program Studi Teknik Sipil	2016-2017
10.	Ketua Program Studi Teknik Sipil	2018-2020
11.	Wakil Rektor bidang Keuangan, Perencanaan dan Pengembangan	2020-2025

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

No	Pangkat	Golongan Ruang	TMT
1.	Calon PNS	III/a	01-12-1995
2.	Penata Muda	III/a	01-04-1997
3.	Penata	III/c	01-09-2005
5.	Penata Tingkat I	III/d	01-04-2011

No	Pangkat	Golongan Ruang	TMT
6.	Pembina	IV/a	01-10-2018
7.	Pembina Tingkat I	IV/b	01-10-2023

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jabatan Fungsional	TMT
1.	Asisten Ahli Madya	01-10-1997
2.	Asisten Ahli	01-01-2001
3.	Lektor Kepala	01-09-2005
4.	Guru Besar	26-06-2023

V. KEGIATAN PENELITIAN

No.	Tim Peneliti	Judul Penelitian	Tahun/periode; Sumber dana
1.	Zafira Nadia Maaz, Muhamad Abduh	Development of the Construction Industry Big Data Advancement Framework for Developing Countries (Partner)	2022-2023/SATU Joint Research Scheme, UTM Malaysia
2.	Muhamad Abduh , Budi Hasiholan	Kajian Teknologi untuk Mendukung Sistem Informasi Terpadu Industri Konstruksi Indonesia (SITIKI)	2021/PPMI ITB
3.	Muhamad Abduh , Reini D. Wirahadikusumah, Krishna S Pribadi, Budi Hasiholan	Implementasi Humanitarian Engineering Pada Kuliah Kerja Nyata (Bauran), UGM dan Universitas Brawijaya	2021/Riset Pengabdian Bottom-up ITB
4.	Muhamad Abduh , Budi Hasiholan	Pemetaan Pemegang Kepentingan Industri Konstruksi untuk Sistem Indeks dan Statistik Konstruksi di Indonesia	2020/PPMI ITB
5.	Budi Hasiholan, Muhamad Abduh	Pengembangan Prototipe Sistem Informasi Layanan Konsultasi (Klinik) Konstruksi "Center for Infrastructure and Built Environment-CIBE (Anggota Peneliti)	2020/PPMI ITB
6.	Muhamad Abduh , Reini D. Wirahadikusumah, Krishna S Pribadi, Budi Hasiholan	Implementasi Humanitarian Engineering pada Kuliah Kerja Nyata (Online)	2020/Riset Pengabdian Bottom-up ITB
7.	Muhamad Abduh , Budi Hasiholan	Pengembangan Model Basis Data Indeks Dan Statistik Konstruksi Untuk	2019/P3MI ITB

No.	Tim Peneliti	Judul Penelitian	Tahun/periode; Sumber dana
		Mendukung Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia	
8.	Muhamad Abduh	Kajian Ekonomi Konstruksi untuk Strategi Transformasi Industri Konstruksi Indonesia	2019/P3MI ITB
9.	Toong Khuan Chan, Muhamad Abduh	Engagement with Construction Industry Stakeholders in Indonesia (Partner)	2019/Melbourne Engagement Grant, Univeristy of Melbourne, Austalia
10.	Muhamad Abduh	Word Class University, Program In House Academic Leader Collaboration	2019/Program Peningkatan Reputasi Perguruan Tinggi menuju Word Class university (WCU) ITB
11.	Reini D. Wirahadikusumah, Muhamad Abduh , Krishna S Pribadi, dkk.	Development of Knowledge-based Earthquake Resilient Infrastructures System (KERIS) in Supporting Earthquake Disaster Mitigation in Indonesia (Anggota Peneliti)	2019/MIT-Indonesia Research Alliance (MIRA)
12.	Reini D. Wirahadikusumah, Muhamad Abduh	Framework Pengadaan Berkelanjutan: Hubungan Antar Faktor pada Pekerjaan Konstruksi (Anggota Peneliti)	2018/P3MI ITB
13.	Muhamad Abduh , Reini Djuhraeni Wirahadikusumah, Krishna S Pribadi, Budi Hasiholan	Enabling Humanitarian Attributes for Nurturing Community-based Engineering (ENHANCE)"	2018-2021/Erasmus+, University of Warwick, UK bersama 9 universitas dari UK, Yunani, Bangladesh, Vietnam dan Indonesia
14.	Muhamad Abduh	Gambaran Perkembangan Teknologi Konstruksi Di Indonesia	2018/Komite Litbang LPJKN

No.	Tim Peneliti	Judul Penelitian	Tahun/periode; Sumber dana
15.	Muhamad Abduh , Reini D. Wirahadikusumah	Konseptual Framework Pengadaan Berkelanjutan Konstruksi di Indonesia	2018/P3MI ITB
16.	Muhamad Abduh , Andi Cakravastia, Titah Yudhistira	Sistem Layanan Logistik Strategis dalam Rantai Pasok Konstruksi untuk Kontraktor Kecil di Wilayah Bandung Raya	2018- 2021/Program Penelitian BPPTNBH Kemenristek
17.	Reini D. Wirahadikusumah, Muhamad Abduh ,	Kajian Upaya Penerapan Pengadaan Berkelanjutan (Sustainable Procurement) oleh Pihak Pengembang di Sektor Konstruksi Nasional (Anggota Peneliti)	2017/P3MI ITB
18.	Muhamad Abduh , Puti Farida Marzuki, Raden Driejana,	Model Estimasi Emisi Karbon Dioksida pada Penggunaan Beton Bertulang Pada Proyek Bangunan Tingkat Tinggi	2016/Program Riset dan Inovasi KK ITB 2016
19.	M. Bobby Rahman, Sunarsih S.S. Muhamad Abduh	Pemberdayaan Remaja Mesjid Sebagai Kader Desa Tangguh Bencana (Anggota Peneliti)	2015/Iptek Bagi Masyarakat DIKTI
20.	Muhamad Abduh , Biemo W. Soemardi Andi Cakravastia	Pengelolaan Rantai Pasok Konstruksi Hijau untuk Mendukung Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan di Indonesia	2013- 2015/Strategi Nasional Dikti
21.	Muhamad Abduh , Vachara Peansupap	Issues and Challenges for Implementation of Green Construction in Thailand and Indonesia	2013/SVP AUNSEED Net
22.	Biemo W. Soeamrdi, Muhamad Abduh , Reini D. Wirahadikusumah	Agenda Riset Kelompok Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi (Anggota Peneliti)	2011/ITB
23.	Reini Wirahadikusumah, Muhamad Abduh , dan Andi Cakravastia.	Pengembangan Model dan Kelayakan Implementasi Pengelolaan Rantai Pasok Proyek Infrastruktur oleh Pemilik (Anggota Peneliti)	2009/Program Hibah Kompetitif Penelitian, DP2M Dikti, Diknas
24.	Senator Nur Bahagia, Muhamad Abduh , Andi Cakravastia, Reini	Procurement Training Center Development (Anggota Peneliti)	2009-2011/World Bank, IMHERE Program

No.	Tim Peneliti	Judul Penelitian	Tahun/periode; Sumber dana
	D. Wirahadikusumah		
25.	Muhamad Abduh , Andi Cakravastia, Rinaldi Munir,	Peningkatan Utilisasi Simulasi untuk Perancangan dan Analisa Operasi Konstruksi Berulang Menggunakan Aplikasi Spreadsheet	2008-2009/HB XIV Dikti
26.	Muhamad Abduh , Biemo W. Soeamrudi, Reini D. Wirahadikusumah	Pengembangan Model Struktur Biaya Rantai Pasok Konstruksi	2008/ITB
27.	Reini Wirahadikusumah, Biemo W. Soemardi, dan Muhamad Abduh	Hubungan antar Pihak yang Terlibat dalam Rantai Pasok Proyek Konstruksi Bangunan Gedung (Anggota Peneliti)	2007/ITB

VI. PUBLIKASI

1. Abduh, M., & Skibniewski, M.J. (1999). Utility Assessment of Electronic Networking Technology Applications in Construction. International Council for Building Research Studies and Documentation (CIB) 8th *International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Vancouver, Canada, May 30 - June 3, 1999
2. Abduh, M., & Skibniewski, M.J. (2000). Utility of Internet-based Applications in Construction. *International Journal of Construction Management*, Vol. 2, No. 1. The Chinese Research Institute of Construction Management Materials Science
3. Skibniewski, M.J., & Abduh, M. (2000). Web-based Project Management for Construction: Search for Utility Assessment Tools. *INCITE 2000*, Hong Kong, 17 - 19 January 2000
4. Abduh, M., & Skibniewski, M. J. (2000). Survey on Utility of Internet-based Applications for Supporting Design-Build Activities. *Jurnal Teknik Sipil*, ITB, Vol. 7, No. 4, Oktober 2000
5. Soekirno, P., & Abduh, M. (2000). Profil Sarjana Teknik Sipil dalam Menyongsong Otonomi Daerah. *Symposium Nasional dan Civil Expo 2000*, Aula Barat ITB, Indonesia, 8 - 9 September 2000
6. Abduh, M. (2001). Teknologi Inovatif untuk Monitoring dan Evaluasi Kondisi Jembatan. Seminar Nasional Teknik Sipil 2001, *Pengembangan Konstruksi Jembatan dan Peluang Investasinya dalam Menghadapi Otonomi Daerah*, Universitas Trisakti, Jakarta, 31 Mei 2001

7. Abduh, M. (2001). Manajemen Infrastruktur Terpadu di Era Otonomi Daerah dan AFTA. *Seminar Nasional pada Temu Wicara ke-14 Forum Komunikasi Mahasiswa Teknik Sipil Indonesia*, Pekanbaru, Indonesia, 10 September 2001
8. Abduh, M., & Skibniewski, M.J. (2002). Optimal configuration of electronic networking technologies for supporting D/B projects. *Journal of Civil Engineering and Management* 8 (4), 240-254, 2002
9. Abduh, M., & Soemardi, B.W. (2002). Web-based Project Management Applications in Construction. *International Conference on Advancement in Design, Construction, Construction Management and Maintenance of Building Structure*, Bali, Indonesia, 27-28 Maret 2002
10. Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2003). Metode Kontrak Inovatif Untuk Peningkatan Kualitas Jalan: Peluang dan Tantangan. *Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 (KNTJ-7)*, 7-8 Oktober 2003
11. Abduh, M., & Skibniewski, M.J. (2003). Utility Assessment of Electronic Networking Technologies for Design-Build projects. *Automation in Construction*, Vol. 12, No. 2, Elsevier Science, 2003
12. Abduh, M., & Skibniewski, M.J. (2004). Electronic networking technologies in construction. *Journal of Construction Research* 5 (01), 17-42, 2004
13. Abduh, M., & Wirahadikusumah, R.D. (2005). Model Penilaian Kewajaran Harga Penawaran Kontraktor dengan Sistem Evaluasi Nilai. *Jurnal Teknik Sipil*, Edisi Khusus Volume 12 no.3, Juli 2005
14. Soekirno, P., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2005). Pengembangan Sistem Alternatif Penyelesaian Sengketa dalam Penyelenggaraan Jasa Konstruksi. *Seminar Peringatan 25 Tahun Pendidikan MRK di Indonesia*, 18-19 Agustus 2005, Aula Barat ITB
15. Abduh, M., & Syachrani, S., & Roza, H.A. (2005). Agenda Penelitian Konstruksi Ramping. *Seminar Peringatan 25 Tahun Pendidikan MRK di Indonesia*, 18-19 Agustus 2005, Aula Barat ITB
16. Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2005). Pengembangan Add-In Spreadsheet untuk Evaluasi Penawaran Sistem Nilai dalam Pemilihan Kontraktor. *Seminar Peringatan 25 Tahun Pendidikan MRK di Indonesia*, 18-19 Agustus 2005, Aula Barat ITB
17. Soemardi, B., Abduh, M., Wirahadikusumah, R., & Pujoartanto, N. (2005). Konsep Earned Value untuk Pengelolaan Proyek Konstruksi. *Buku Referensi, Konstruksi: Industri, Pengelolaan, dan Rekayasa*. Penerbit ITB, ISBN 979-3507-98-5, 2005

18. Abduh, M. (2005). Konstruksi Ramping: Memaksimalkan Value dan Meminimalkan Waste. *Buku Referensi, Konstruksi: Industri, Pengelolaan, dan Rekayasa*. Penerbit ITB, ISBN 979-3507-98-5, 2005
19. Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2005). Metoda Kontrak Inovatif untuk Peningkatan Kualitas Jalan: Peluang dan Tantangan. *Buku Referensi, Konstruksi: Industri, Pengelolaan, dan Rekayasa*. Penerbit ITB, ISBN 979-3507-98-5, 2005
20. Soekirno, P., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2005). Sengketa dalam Penyelenggaraan Proyek Konstruksi di Indonesia. *Buku Referensi, Konstruksi: Industri, Pengelolaan, dan Rekayasa*. Penerbit ITB, ISBN 979-3507-98-5, 2005
21. Abduh, M., & Roza, H.A. (2006). Indonesian Contractor Readiness towards Lean Construction. *The 14th Annual Conference of the International Group of Lean Construction*, Santiago, Chile, July 2006
22. Abduh, M., & Wirahadikusumah, R.D. (2006). The application of merit-point system for selecting contractors in Indonesia. *The 10th East-Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Bangkok, Thailand, Agustus 2006
23. Abduh, M., & Roza, H.A. (2006). Toward Lean Construction: An Agenda for Indonesian Contractors. *The 10th East-Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Bangkok, Thailand, Agustus 2006
24. Pujoartanto, N., Soemardi, B., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2007). Praktek Pengelolaan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi oleh Kontraktor di Indonesia. *Seminar Nasional Teknik Sipil III*, ITS, 20 Februari 2007
25. Soemardi, B., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2007). Construction Project Planning and Control Practices in Indonesia. *1st Construction Industry Research Achievement International Conference (CIRAIC 2007)*, Universiti Teknologi Mara - CIDB Malaysia, Kuala Lumpur - Malaysia, 13-14 Maret 2007
26. Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2007). Sistem Informasi Kinerja Industri Konstruksi Indonesia: Kebutuhan akan Benchmarking dan Integrasi Informasi. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 1 (KoNTekS 1)*, Yogyakarta, 11-12 Mei 2007, pp. 265-274, FT Universitas Atma Jaya, ISBN 979.9243.80.7
27. Abduh, M., Rosyad, A.Y., Hadi, S., & Yudha, R. (2007). Spreadsheet Application for Small Enterprises in Managing Construction Projects.

The 1st International Conference of European Asian Civil Engineering Forum, UPH, September 26-27, Tangerang, Indonesia, 2007

28. Abduh, M. (2017). *Aplikasi Spreadsheet Pengelolaan Proyek Konstruksi untuk Kontraktor Kecil*, Media Jasa Konstruksi LPKJD Jawa Barat, Edisi 05, September 2007.
29. Abduh, M., Soemardi, B., Wirahadikusumah, R.D. (2007). *Pengelolaan Waktu & Biaya Proyek Konstruksi*, Media Jasa Konstruksi LPKJD Jawa Barat, Edisi 03, April 2007.
30. Abduh, M., & Sukmana, U. (2007). Estimasi Biaya Penawaran Kontraktor Kecil: Praktik dan Kebutuhan Implementasi dalam Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi. *Konferensi Nasional Pengembangan Infrastruktur yang Berkelanjutan*, Universitas Udayana, Bali, 18 Oktober 2007
31. Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2008). Kesenjangan Antar Kompetensi Pendidikan Tinggi dengan Kompetensi Keahlian Konstruksi. *KoNTekS 2*, Inovasi dalam Rekayasa Sipil dan Lingkungan, hlm. 235-246, 6-7 Juni 2008, ISBN 978-979-1317-98-6, Program Studi Teknik Sipil, FT Universitas Atma Jaya, Yogyakarta
32. Wirahadikusumah, R.D., Soemardi, B.W., Abduh, M., & Oktaviani, C.Z. (2008). Gambaran Kinerja Supply Chain pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Jurnal Teknologi*, Edisi No. 4 Tahun XXII, Desember 2008, hlm. 258-269, ISSN 0215-1685. FT Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok.
33. Pathurachman, Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2009). Biaya Transportasi Material Besi Beton pada Proyek Konstruksi. *KoNTekS 3*, Kemajuan Teknologi dan Implementasinya dalam Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 6-7 Mei 2009, Kampus UPH Karawaci, Lippo Karawaci, Jakarta, ISBN 978-979-15429-3-7.
34. Utami, R., Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2009). Biaya Penyimpanan pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Penyimpanan Besi Beton pada Proyek Konstruksi). *KoNTekS 3*, Kemajuan Teknologi dan Implementasinya dalam Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 6-7 Mei 2009, Kampus UPH Karawaci, Lippo Karawaci, Jakarta, ISBN 978-979-15429-3-7.
35. Setiawan, R.A., Abduh, M., Soemardi, B.W., & Wirahadikusumah, R.D. (2009). Struktur Biaya Perchasing Besi Beton pada Perusahaan Kontraktor. *KoNTekS 3*, Kemajuan Teknologi dan Implementasinya dalam Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 6-7 Mei 2009, Kampus UPH Karawaci, Lippo Karawaci, Jakarta, ISBN 978-979-15429-3-7.

36. Abduh, M. (2010). Konstruksi Ramping – Usaha Perbaikan Proses Konstruksi untuk Meraih Keunggulan Kompetitif. *Buku Konstruksi Indonesia 2010, Gagasan, Teknologi, dan Produk Konstruksi Bernilai Tambah Tinggi Karya Anak Bangsa*, 2010. Kementerian PU, ISBN: 978-979-1622585
37. Abduh, M., Sahputra, R.J., & Boris, B. (2010). Pengelolaan Faktor Non-personil untuk Pencegahan Kecelakaan Kerja Konstruksi. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4)*, Sanur-Bali, 2-3 Juni 2010, pp. M-255 - M-262, ISBN 978-602-8566-61-2
38. Abduh, M., Hidayati, N., & Hidayah, D.N. (2010). Model Kontrak Harga Satuan Jangka Panjang Pekerjaan Konstruksi Pemeliharaan Gedung Pendidikan Tinggi. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4)*, Sanur-Bali, 2-3 Juni 2010, pp. M-255 - M-262, ISBN 978-602-8566-61-2
39. Abduh, M., Maisarah, F.S.C.S, & Pratama, A. (2010). Simulation of Construction Operation: Search for a Pratical and Effective Simulation System for Constrction Practitioners. *The First Makassar International Conference on Civil Engineering*, MICCE 2010, Future Challenges in Infrastructure Technology to the Environmental Preservation, March 9-10, 2010, Makassar, pp. 1271-1278, ISBN 978-602-95227-0-9
40. Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2010). Reinforcing the Role of Owners in the Supply Chains of Highway Construction Projects, *The First Makassar International Conference on Civil Engineering*, MICCE 2010, Future Challenges in Infrastructure Technology to the Environmental Preservation, March 9-10, 2010, Makassar, pp. 1311-1328, ISBN 978-602-95227-0-9
41. Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2010). Strategic Issues Towards Implementing Sustainable Construction in Indonesia. *The 2nd International Seminar on Tropical Eco Settlements, Green Infrastructure: A Strategy to Sustain Urban Settlements*, 3-5 November 2010, Sanur Denpasar Indonesia, pp. 471-478
42. Abduh, M., Soemardi, B.W., and Wirahadikusumah, R.D. (2012). Indonesian Construction Supply Chains Cost Structure and Factors: a Case Study of Two Project. *Journal of Civil Engineering and Management*, Volume 18, Issue 2, 2012, pp. 209-216. ISSN 1392-3730 Print / ISSN 1822-3605 online
43. Ervianto, W.I., Soemardi, B.W., Abduh, M., & Surjamanto (2012). Kajian Reuse Material Bangunan dalam Konsep Sustainable Construction di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 12 Nomor 1, Oktober 2012, hlm.

- 18-27, ISSN 1411-660X, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.
44. Abduh, M. (2012). Rantai Pasok Konstruksi Indonesia. *Buku Konstruksi Indonesia 2012: Harmonisasi Rantai Pasok Konstruksi, Konsepsi, Inovasi dan Aplikasi di Indonesia*, Kementerian Pekerjaan Umum, 2012, ISBN: 978-602-17174-0-0, hlm. 42-29. ISBN: 978-602-17174-0-0
 45. Abduh, M., Wirahadikusumah, R.D., & Chomistriana, D. (2012). Green Construction in Indonesia: Development, Issues, and Challenges. *Asia Construct 18*, Singapore, Marina Bay Sand, Singapore, Building and Construction Authority, 10-11 October 2012
 46. Abduh, M., & Fauzi, R.T. (2012). Kontribusi Konstruksi Hijau pada Penciptaan Gedung yang Ramah Lingkungan. *Seminar dan Pameran HAKI 2012*, Konsep Green Buiding & Bangunan Tahan Gempa di Indonesia, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI), ISBN 978-602-8605-05-2
 47. Abduh, M., & Fauzi, R.T. (2012). Kajian Sistem Assessment Proses Konstruksi pada Greenship Rating Tool. *Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-6 (KoNTekS 6)*, Universitas Trisakti, Jakarta, hlm. MK-111 s/d MK-119, ISBN 978-979-25-4297-4
 48. Ervianto, W.I., Soemardi, B.W., Abduh, M., & Suryamanto (2012). Pengelolaan Bangunan Habis Pakai dalam Aspek Sustainability. *KoNTekS 6*, Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Sipil dan Lingkungan dalam Mempertahankan Kinerja Infrastruktur di Indonesia, hlm. MK29-MK36, November 2012, ISBN 978-979-25-4297-4, Universitas Trisakti, Jakarta
 49. Abduh, M., & Octavia, C. (2013). Cost Index Model for Bridge Construction in Indonesia. *The 17th Pacific Association of Quantity Surveyors (PAQS) Congress*. Theme: Construction Information Cornerstone of the Valuation Management, Xi'an, China, 18-21 May 2013
 50. Jayady, A., Pribadi, K.S., Abduh, M., & Bahagia, S.N. (2013). A Study of Joint Operation Scheme in Indonesia. *The 6th Civil Engineering Conference in Asia Region (CECAR 6): Embracing the Future through Sustainability*, p. 1-10 Augut 2013, ISBN 978-602-8605-08-3
 51. Hermawan, Marzuki, P.F., Abduh, M., & Driejana, R. (2013). Peran Life Cycle Analysis (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca. *KoNTekS 7 (Konfrensi Nasional Tenik Sipil)*, Volume II, 24 - 26

- Oktober 2013, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, pp. K-47 s/d K-52, ISBN ISBN 978-979-498-859-6
52. Abduh, M., Biemo W, Soemardi, & Andi Cakravastia (2013). The Need of Green Construction Supply Chain Management for Delivering Sustainable Construction in Indonesia. *The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment*, ITB, Indonesia, ISBN 978-979-98278-4-5
 53. Abduh, M., & Imran, I. (2013). Holistic Approach for Green Construction in Indonesia. *SB13 Manila Conference Sustainable Buildings, Infrastructures and Communities Emerging Economies*, SB Conference International, Manila Philippines. ISBN
 54. Abduh, M. (2014). Green Construction Supply Chain for Supporting Green Building in Indonesia: Initial Findings and Future Developments. *International Conference on Construction in a Changing Word*, Heritance Kandalama, Srilanka, ISBN 978-1-907842-54-2. Emerald Publishing Limited
 55. Abduh, M. (2014). Arah Kebijakan Konsolidasi Konstruksi Indonesia. *Buku Konstruksi Indonesia 2014: Konsolidasi Industri Konstruksi Indonesia: Guna Memenangkan Pasar Konstruksi ASEAN dan Global*, Kementerian Pekerjaan Umum, 2014, hlm. 50-57. ISBN: 978-602-17174-0-0
 56. Abduh, M. & Pratama, A. (2014). Study on Flow Improvement of Brick Laying Operation in Residential Construction Project, *The InCIEC 2014 International Civil and Infrastructure Engineering Conference*, Universiti Teknologi MARA, Kinabalu, Sabah, Malaysia. ISBN 978-981-28728-9-0
 57. Abduh, M., & Marthilda, T. (2014). Construction Risk of the Green Building Projects in Indonesia. *The World Sustainable Building 2014 (World SB14)*, Green Building Council Espafia (GBCe), Barcelona, ISBN 978-84-697-1815-5
 58. Abduh, M., Ervianto, W.I., Chomistriana, D., & Rahardjo, A. (2014). Green Construction Assesment Model for Improving Sustainable Practices of the Indonesian Government Construction Project. *The 22nd Annual Conference of the International Group for lean Construction*, Volume 1 page 111-122, IGLC and Akademika forlag, Oslo Norway, ISBN 978-82-321-0459-8, ISSN: 2309-0979
 59. Falen, R., & Abduh, M. (2014). Project Delivery System for Green Building Projcets in Indonesia. *Conference for Civil Engineering Research Networks 2014 (ConCERN 2014)*, p. 67-71, ISSN 2407-1374, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Institut Teknologi Bandung

60. Hasihoan, B., Abduh, M., & Soekirno, P. (2014). Toward 2015 ASEAN Economic Community: Indonesia Construction Engineer' Current State and Improving Policies. *Conference for Civil Engineering Research Networks 2014 (ConCERN 2014)*, ISSN 2407-1374, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Institut Teknologi Bandung.
61. Octavia, D.M., & Abduh, M. (2014). Emission-based Simulation for Selecting Concreting Operation's Method. *Conference for Civil Engineering Research Networks 2014 (ConCERN 2014)*, ISSN 2407-1374, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Institut Teknologi Bandung
62. Abduh, M., & Pribadi, K.S. (2014). Harmonizing the Indonesian Construction Resources Supply Chain. *The 20th Asia Construct Conference 2014*, Hotel ICON, Hong Kong, ISSN 2407-1374
63. Hermawan, Marzuki, P.F., Abduh, M., & Driejana, R. (2014). Peran Rantai Pasok Material Konstruksi Terhadap Upaya Penurunan Emisi Karbon Dioksida pada Industri Konstruksi. *Seminar Nasional Teknik Sipil X- 2014 dengan Topik Inovasi Struktur dalam Menunjang Konektivitas Pulau di Indonesia*, 5 Februari 2014, FTSP - ITS, Surabaya, ISBN 978-979-99327-9-2
64. Prawenti, H., & Abduh, M. (2014). Kepuasan Wakil Pemilik Proyek Terhadap Kualitas Layanan Kontraktor. *Seminar Nasional Teknik Sipil X-2014: 'Inovasi Struktur dalam Menunjang Konektivitas Pulau di Indonesia'*, Program Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil ITS, Surabaya. ISBN 978-979-99327-9-2
65. Hermawan, Marzuki, P.F., Abduh, M., & Driejana, R. (2015). Identification of Source Factors of Carbon Dioxide (CO₂) Emissions in the Concreting of Reinforced Concrete. *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, Procedia Engineering 125 (2015) p. 692-698. ISSN 1877-7058
66. Hermawan, Marzuki, P.F., Abduh, M., & Driejana, R. (2016). Sustainable Infrastructure through the Construction Supply Chain Carbon Footprint Approach. *The Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials*, SCESCM 2016, Procedia Engineering 171 (2017), 312-322
67. Wirahadikusumah, R.D., Abduh, M., Messah, Y., Aulia, M., & Yang, A.T. (2017). Regulatory Framework of Sustainable Procurement for Construction Works-Indonesian Context. *Conference Proceedings Association of Schools of Construction of Southern Africa: the Twelfth Built Environment Conference*, South Africa, International Council for

- Research and Innovation in Building and Construction (CIB), p.440-450, ISBN 978-0-63999855-0-3
68. Jayady, A., Priyadi, K.S., Bahagia, S.N., & Abduh, M. (2017). Success Indicators of Knowledge Transfer for the Transferee on the Construction Joint Venture in Indonesia. *The Third International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment (SIBE)*, ITB, Indonesia, ISBN: 978-979-98278-6-9.
 69. Abduh, M., Halvireski, S., Delfani, C., Irfanto, R., & Wirahadikusumah, R.D. (2017). Analysis of the Cinapel Bridge's Construction Operations using Simulation. *IPTEK Journal of Proceedings Series No. 6* (2017), pp. 253-260, ISSN 2354-6026, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
 70. Messah, Y., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2017). Konsep dan Penerapan Pengadaan Berkelanjutan Proyek Konstruksi – Studi Literatur. *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun ke-4 'Mewujudkan Infrastruktur yang Berkeadilan'*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, hlm. 293-305, ISBN 978-602-98397-8-4
 71. Abduh, M., & Setyowati, D. (2017). Estimasi Durasi Proyek Pembangunan Terminal Kalibaru. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 11*, Universitas Tarumanagara, Jakarta, hlm. MK-157 s/d MK-167.
 72. Abduh, M., Sukardi, S.N., La Ola, M.R., Ariesty, A., & Wirahadikusumah, R.D. (2017). Simulation of Tunneling Construction Methods of the Cisumdawu Toll Road. *The 3rd International Conference and Building Engineering (ICONBUILD 2017)*, AIP Conference Proceedings 1903, 070014(2017), pp. 1-11, AIP Publishing. ISBN 978-0-7354-1591-1
 73. Abduh, M., Wirahadikusumah, R.D., & Messah, Y. (2018). Framework Development Methodology for Sustainable Procurement of Construction Works in Indonesia. MATEC Web of Conference 203, 02014 (2018), *International of Conference Civil, Offshore and Environmental Engineering 2018*, eISSN 2261-236x, Published by EDP Sciences
 74. Abduh, M. (2018). Conceptual Business Models of Strategic Logistic for Small-Sized Contractors. *Streamlining Information Transfer between Construction and Structural Engineering* Proceedings of the Fourth Australasia and South-East Asia Structural Engineering and Construction Conference, Brisbane, Australia, pp. 15-1 s/d 15-16, ISEC Press, ISBN 978-0-9960437-7-9

75. Abduh, M., & Danurendro, A. (2018). Development of Environmental Criteria for Ready-Mixed Concrete in Indonesia. *'Sustainable Structures for Future Generation' Proceedings of Regional Conference in Civil Engineering (RCEE)*, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 78-89, ISBN 978-602-71762-9-4
76. Abduh, M. (2018). *Harnessing Smart Construction Technologies in Indonesia*. Construction+: Bringing the Building and Design Industry to You, May/June 2018, Issues 8 & 9, PT BCI Asia, Jakarta, <https://www.constructionplusasia.com/id/harnessing-smart-construction-technologies-in-indonesia/>
77. Abduh, M., & Halida, A.R. (2018). Praktik Analisa Biaya Daur Hidup pada Proyek Gedung Hijau di Indonesia. *Seminar Nasional dan Pameran HAKI 2018: 'Gempa, Kegagalan Konstruksi, Kegagalan Bangunan, dan Profesionalisme SDM Konstruksi'*, Hotel Borobudur Jakarta
78. Abduh, M., Wirahadikusumah, R.D., Iqbal, M., Annisa, N., & Ryandi, V. (2018). Analisis Operasi Tunneling dengan Metode NATM pada Proyek Pembangunan jalan Tol Cisumdawu. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12 (KoNTekS 12): 'Penerapan Teknologi Prioritas dalam Rangka Mewujudkan Infrastruktur Indonesia yang Berkualitas'*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, Yogyakarta, hlm. MK-113 s/d MK-122, ISBN 978-602-60286-1-7
79. Abduh, M., Soemardi, B.W., & Aryanto, A. (2018). Peningkatan Kompetensi Perancangan bagi Sarjana Teknik Sipil ITB", *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12 (KoNTekS 12): 'Penerapan Teknologi Prioritas dalam Rangka Mewujudkan Infrastruktur Indonesia yang Berkualitas'*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, Yogyakarta, hlm. MK-123 s/d MK-132, ISBN 978-602-60286-1-7
80. Irfanto, R., Maisarah, F.S.C.S, & Abduh, M. (2018). Metode Identifikasi Komoditas Strategis untuk Kontraktor Kecil di Bandung Raya. *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2018: 'Invensi, Inovasi dan Riset Keselamatan dan Kesehatan Kerja untuk Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan'*, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB, hlm. I-19 s/d I-26. ISSN 2477-00-86
81. Irfanto, R., Maisarah, F.S.C.S, & Abduh, M. (2018). Kajian Komoditas Strategis pada Proyek Bangunan Gedung untuk Kontraktor Kecil di Bandung Raya. *5th Andalas Civil Engineering (ACE) Conference 2018: 'Inovasi Penyediaan Infrastruktur yang Ramah Bencana, Ramah*

- Lingkungan, dan Berkelanjutan', Fak. Teknik, Universitas Andalas, Padang, hlm. 185-194, ISBN 978-602-5539-36-7
82. Maisarah, F.S.C.S., & Abduh, M. (2018). Parameter Penentuan Potensi Entitas Penyedia Layanan Logistik Strategis untuk Kontraktor Kecil di Indonesia. *Seminar Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (SEMSINA) 2018: 'Infrastruktur Berkelanjutan'*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Malang, hlm. 53-59, ISSN 2406-9051
 83. Abduh, M., Prabowo, A., & Maisarah, F.S.C.S. (2019). Small-Sized Contractor's Capacity and Competitiveness: Indonesia Case for Road Rehabilitation Projects. *The 43rd Australasian Universities Building Education Association (AUBEA) Conference*, 2019, p. 62069, ISBN 978-1-921047-51-0, Central Queensland University, Australia
 84. Abduh, M. (2019). *Advancing Construction Engineering and Management*. Construction+: Bringing the Building and Design Industry to You, December 2019, Issue 15, p. 22-26, PT BCI Asia, Jakarta. <https://www.constructionplusasia.com/id/advancing-the-construction-engineering-and-management-in-indonesia/>
 85. Sukardi, S.N., & Abduh, M. (2019). Indonesian Contractors' Practice toward Sustainable Procurement Principles for Green Building Projects. MATEC Web of Conference 270 (2019), *The 2nd Conference for Civil Engineering Research Networks (ConCERN-2, 2018)*, eISSN 2261-236x, Published by EDP Sciences
 86. Irfanto, R., Maisarah, F.S.C.S., & Abduh, M. (2019). Purchasing Strategy of Small-sized Contractors for Building Projects in the Greater Bandung Areas. *The 1st International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials (ICCIM)*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 650 (2019) 012004. Universitas Tarumanagara Jakarta.
 87. Soemardi, B.W., Kusuma, B., & Abduh, M. (2019). Technology Assessment in Indonesian Construction Industry. *The 4th International Conference on Construction and Building Engineering & 12th Regional Conference in Civil Engineering (ICONBUILD & RCEE 2019)*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 849 (2019) 012077, pp. 1-13, CONBUILD & RCCE 2019, IOP Publishing.
 88. Setiadi, T., & Abduh, M. (2019). The study of sustainable procurement in the procurement of ready mixed concrete supplier. *ICRESBE 2019*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 520 (2020) 012004, IOP Publishing."
 89. Prabowo, A., Maisarah, F.S.C.S., & Abduh, M. (2019). Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kompetisi Kontraktor Kecil di Bidang

- Pembangunan Infrastruktur di Wilayah Bandung Raya. *Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-13 (KoNTekS-13)*, Volume I: Struktur, Material, Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, ISBN
90. Maisarah, F.S.C.S., Kusuma, H.E., & Abduh, M. (2019). Persepsi Praktisi Konstruksi Terhadap Layanan Logistik Pihak Ketiga dalam Rantai Pasok Konstruksi. *Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-13 (KoNTekS-13)*, Volume I: Struktur, Material, Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, ISBN
 91. Serenita, Maisarah, F.S.C.S., & Abduh, M. (2019). Kajian Struktur dan Perilaku Rantai Pasok Komoditas Strategis Untuk Proyek Infrastruktur Jalan Pada Kontraktor Kecil di Bandung Raya. *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 19*, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL) ITB, ISBN
 92. Wirahadikusumah, R.D., Abduh, M., Messah, Y., & Aulia, M. (2019). Introducing Sustainability Principles into the Procurement of Construction Works - Case of Indonesian Developers. *International Journal of Construction Management*, 2019, p. 1-13, ISSN 1562-3599 (print); 2331-2327 (online), Taylor & Francis Group
 93. Nataadiningrat, B.B., Prabowo, A.W., Rasmawan, I.M.A.B., Putri, A.T., Abduh, M., & Wirahadikusumah, R.D. (2020). Analysis of NATM tunneling method using CYCLONE modeling and simulation tools. *The 2nd Aceh International Symposium on Civil Engineering (AISCE)*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 933 (2020) 012002, IOP Publishing.
 94. Milyardi, R., Wirahadikusumah, R.D., Abduh, R., & Hasiholan, B. (2020). Construction Performance Analysis in the Project Delivery of Toll Road Concession. *Jurnal Teknik Sipil: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Volume 27 Nomor 1, 2020, hlm. 39-50, ISSN 0853-2982, eISSN 2549-2659. Program Studi Teknik Sipil, FTSL ITB
 95. Wirahadikusumah, R.D., Abduh, M., & Messah, Y. (2020). Framework for Sustainable Procurement - Identifying Elements for Construction Works. *Applied Mechanics and Materials* (Volume 897), 2020, scientic.Net, Publisher in Material Science & Engineering. p. 245-249, ISSN 1662-7482
 96. Abduh, M., Soemardi, B.W., & Suraji, A. (2020). Kinerja Jasa Konstruksi Indonesia. *Buku 20 Tahun LPJK: Konstruksi Indonesia 2001-2020*, 18

- halaman, Editor Biemo W. Soemardi, Krishna S. Pribadi, dan Edi Warsidi, ISBN 978-623-297-094-6, ITB Press, 20 Desember 2020.
97. Abduh, M., Maizir, H., Soekiman, A., Surjandari, N.S., Pujiraharjo, A., Yana, A.A.G.A., Ramli, M.I., Arisintani, D.A., & Pratama, A. (2021). Profil Program Studi Teknik Sipil Tahun 2020. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 28 No. 1, April 2021, hlm. 001-124, April 2021, ISSN 0853-2982
 98. Maisarah, F.S.C.S., Irfanto, R., & Abduh, M. (2020). Small-sized contractors' strategies of construction material purchasing in road rehabilitation projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 933, No. 1., IOP Publishing.
 99. Maisarah, F.S.C.S., & Abduh, M. (2020). Cost Structure Identification for Third-Party Logistics Services in Construction Projects. *International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials*, p. 1107-1118, Springer Nature Singapore
 100. Pranandya, I.M.B., Maisarah, F.S.C.S., & Abduh, M. (2020). Construction Supply Chains for Strategic Materials of Building Contractors in the Greater Bandung Areas. *International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials*, p. 1045-1062, Springer Nature Singapore
 101. Georgia, K., Mottram, T., Georgoulas, A., Koumpouros, Y., Bala, S.K., Islam, S., Shueb, M., Debnath, T., Nurika, I., Meidiana, C., Perdana, I., Supraba, I., Mai. L., Pham, A.T., Nguyen, T.D., Phung, L.T.K., Abduh, M., & Hasiholan, B. (2020). Demystifying Humanitarian Engineering: A comparative study on perceptions in UK and Asia. 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Porto, Portugal. Page 1009-1014. ISBN: 978-1-7281-0930-5
 102. Pribadi, K.S., Abduh, M., Wirahadikusumah, R.D., Hanifa, N.R., Irsyam, M., Kusumaningrum P., & Puri, E. (2021). Learning from Past Earthquake Disasters: The Need for Knowledge Management System to Enhance Infrastructure Resilience in Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction (IJDRR)*, 2021, Vol. 64, October 2021, 102424. ISSN 2212-4209, Elsevier
 103. Abduh, M. (2021). Penyelenggaraan Proyek Konstruksi Terintegrasi, *Buku Konstruksi Indonesia 2021: Era Baru Konstruksi, Berkarya Menuju Indonesia Maju*, p. 752-763, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
 104. Messah, Y., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2022). Structural Equation Model of the Factors Affecting Sustainable Procurement for

- Construction Works. *International Journal of Construction Management*, 2022, ISSN 1562-3599 (print); 2331-2327 (online), Taylor & Francis Group
105. Abduh, M., & Chan, T.K. (2022). Construction Supply Chain. *Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Edited by Toong-Khuan Chan, Krishna Suryanto Pribadi, 2022, Routledge, ISBN 9780367712174
 106. Abduh, M., Pribadi, K.S., Soemardi, B.W., & Chan, T.K. (2022). Education, Training and Certification. *Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Edited by Toong-Khuan Chan, Krishna Suryanto Pribadi, 2022, Routledge, ISBN 9780367712174
 107. Pribadi, K.S., Abduh, M., Kusumaningrum, P., Hasiholan, B., Wirahadikusumah, R.D., & Milyardi, R. (2023). Promoting Humanitarian Engineering Approaches for Earthquake-Resilient Housing in Indonesia. *Transcending Humanitarian Engineering Strategies for Sustainable Futures*, p. 235-262, IGI Global
 108. Setiawan, W., & Abduh, M. (2023). Comparative study of construction industry growth and GDP growth in ASEAN countries. *1st International Conference & Symposium on Construction Industry Development: Value Added Construction*. AIP Conference Proceedings, Volume 2599, AIP Publishing.
 109. Messah, Y.A., Abduh, M., & Wirahadikusumah, R.D. (2023). Conceptual framework for sustainable procurement of construction works. *International Journal of Procurement Management*, Vol. 17, No. 4, p. 488-506, InderScience Online, ISSN: 1753-8432
 110. Abduh, M., Sukardi, S.N., Wirahadikusumah, R.D., Oktaviani, C.Z., & Bahagia, S.N. (2023). Maturity of procurement units for public construction projects in Indonesia. *International Journal of Construction Management*, Vol. 23, No. 13, p. 2171-2184, Taylor & Francis
 111. Messah, Y.A., Wirahadikusumah, R.D., & Abduh, M. (2023). Structural equation model (SEM) of the factors affecting sustainable procurement for construction work. *International Journal of Construction Management*, Vol. 23, No. 13, p. 2221-2229, Taylor & Francis.
 112. Abduh, M., Soemardi, B.W. (2023), Konsepsi Kembaran Digital untuk Transformasi Digital Sektor Konstruksi, *Buku Konstruksi Indonesia 2023: Transformasi Digital Sektor Konstruksi untuk Mewujudkan Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*, p. 176-192, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
 113. Maisarah, F., Abduh, M., Wirahadikusumah, R.D., & Cakravastia, A. (2024). Development of the Conceptual Business Model of a Third-Party

Logistics Provider for Indonesian Small Contractors. *International Journal of Construction Management*, Taylor & Francis.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2313385>

VII. PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Pemerintah RI	2018
2.	Penghargaan Adi Karsa Madya ITERA Tahun 2016	ITERA	2016
3.	Penghargaan Pengabdian 25 Tahun	ITB	2020
4.	Dosen Peneliti Terbaik FTSL ITB	ITB	2018

VIII. SERTIFIKASI

No.	Program	Lembaga	Tahun	Gelar	Bidang
1.	Profesi Insinyur	ITB	2018	Ir.	Teknik Sipil



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532
🌐 fgb.itb.ac.id [f FgbItb](#) [t FGB_ITB](#)
📺 @fgbitb_1920 [Forum Guru Besar ITB](#)

ISBN 978-623-297-418-0

