



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



REKAYASA DAN TEKNOLOGI KONSTRUKSI DI INDONESIA

Perkembangan dan Peluang di Masa Mendatang

Profesor Biemo Woerjanto Soemardi

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
17 Februari 2024

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**REKAYASA DAN TEKNOLOGI
KONSTRUKSI INDONESIA
PERKEMBANGAN DAN PELUANG
DI MASA MENDATANG**

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**REKAYASA DAN TEKNOLOGI
KONSTRUKSI INDONESIA
PERKEMBANGAN DAN PELUANG
DI MASA MENDATANG**

Prof. Biemo W. Soemardi

17 Februari 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:

**REKAYASA DAN TEKNOLOGI KONSTRUKSI DI INDONESIA:
PERKEMBANGAN DAN PELUANG DI MASA MENDATANG**

Penulis : Prof. Biemo W. Soemardi

Reviewer : Prof. Krishna S. Pribadi

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-404-3

e-ISBN : 978-623-297-405-0 (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

Naskah ini disusun berdasarkan pandangan penulis terhadap perkembangan industri konstruksi di Indonesia. Secara khusus penulis menekankan pentingnya melihat kembali peran dan penguatan aspek-aspek kerekayasaan dan teknologi dalam kegiatan konstruksi. Dalam keterlibatan penulis di dunia akademis maupun praktik di industri selama lebih dari 25 tahun, penulis menyimpulkan bahwa kalangan industri konstruksi Indonesia masih fokus pada aspek-aspek regulasi dan manajerial konstruksi sementara perhatian terhadap pengembangan kemampuan kerekayasaan dan teknologi masih sangat terbatas. Perguruan tinggi sebagai institusi pengembang keilmuan juga masih lebih banyak membahas aspek manajemen konstruksi, yang mana tercermin dari masih minimnya bahasan tentang rekayasa metode dan teknologi konstruksi dalam silabus pengajarannya. Demikian pula dengan masih sedikitnya topik-topik riset yang terkait dengan rekayasa dan teknologi konstruksi. Hal inilah yang mendorong penulis untuk membahas sejarah, peran dan potensi pengembangan teknologi dan penguatan aspek kerekayasaan bagi industri konstruksi di Indonesia.

Ide penulisan naskah ini diilhami oleh semangat guru yang saya hormati, Prof. M. Sahari Besari, yang dalam berbagai interaksi dengan beliau, kerap membahas teknologi dan perannya dalam peradaban kemanusiaan. Selanjutnya ide ini juga didorong oleh sejawat senior Prof. Adang Surahman dan Prof. Krishna S.Pribadi yang banyak menyinggung pentingnya aspek kerekayasaan dan teknologi dalam berbagai diskusi yang menyangkut konstruksi, di saat mana sejawat dan khalayak praktisi lain tampaknya masih lebih semangat membahas aspek-aspek regulasi, kelembagaan dan manajemen dalam industri konstruksi. Mudah-mudahan tulisan ini dapat membangkitkan perhatian yang lebih besar pada aspek-aspek kerekayasaan dan teknologi dalam konstruksi.

Bandung, 17 Februari 2024

Penulis

SINOPSIS

Industri konstruksi memegang peran dalam menggerakkan perekonomian melalui kontribusi penting pada kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat suatu negara. Pembangunan berbagai fasilitas infrastruktur publik seperti perumahan dan gedung-gedung, jaringan jalan raya dan jalan rel, pelabuhan dan bandar udara, serta jaringan air minum dan sanitasi, hingga fasilitas fisik pendukung sektor industri manufaktur dan sektor-sektor industri lainnya telah menjadikan industri konstruksi sebagai kunci keberhasilan pencapaian peningkatan kualitas hidup masyarakat yang lebih baik.

Dalam dua dekade terakhir ini pembangunan infrastruktur telah mengalami peningkatan yang pesat, mendorong pertumbuhan ekonomi nasional seiring dengan pertumbuhan permintaan layanan infrastruktur nasional. Khususnya dalam satu dekade terakhir ini, berbagai proyek konstruksi dengan beragam jenis dan kompleksitasnya menjadi manifestasi pesatnya pembangunan infrastruktur di berbagai wilayah di Indonesia. Peningkatan ini tidak saja dipicu oleh peningkatan permintaan lokal tetapi juga didorong oleh hasil interaksi dan partisipasi pelaku industri dari luar negeri. Keterlibatan pelaku asing dalam berbagai investasi pembangunan infrastruktur publik tidak saja terbatas pada penyertaan permodalan, tetapi lebih penting lagi pengenalan praktik-praktik profesional kerecakasaan dan teknologi konstruksi.

Pembangunan infrastruktur merupakan satu dari banyak cara di mana industri konstruksi dapat mendorong pertumbuhan ekonomi suatu negara, sehingga agar dapat berfungsi dengan baik, maka industri konstruksinya juga harus mampu dan siap menjawab berbagai permintaan dan tantangan pembangunan infrastruktur. Kesiapan dan kemampuan industri konstruksi akan dipengaruhi berbagai faktor non-teknis seperti regulasi, tata kelola, ekonomi, dan pengelolaan. Faktor lain yang berpengaruh terhadap kemampuan dan kesiapan industri konstruksi adalah faktor teknis, yang berhubungan dengan kemampuan kerecakasaan dan teknologi. Dari berbagai faktor ini, sayangnya industri konstruksi Indonesia masih kurang memperhatikan peran penting dari faktor-faktor kerecakasaan dan teknologi.

Naskah ini disusun berdasarkan keyakinan bahwa untuk mengembangkan kemampuan dan kesiapan tantangan serta peluang konstruksi di masa mendatang industri konstruksi nasional harus mulai lebih memperdalam perhatiannya pada aspek-aspek kerekayasaan dan teknologi.

Sebagai institusi teknologi terkemuka di Indonesia, ITB memelopori pengembangan keilmuan konstruksi, sebagai bagian keilmuan teknik sipil. Di tahun 1980 sekelompok akademisi di departemen teknik sipil membentuk Kelompok Bidang Keahlian Manajemen Konstruksi (Construction Management), yang lebih fokus pada aspek-aspek pengelolaan pelaksanaan pembangunan di lapangan daripada perancangan. Di tahun 1994, cakupan kajian keilmuan manajemen konstruksi diperluas dan menjadi Manajemen dan Rekayasa Konstruksi. Meski demikian hingga saat ini kajian tentang rekayasa konstruksi belum banyak berkembang. Hal ini antara lain disebabkan karena pelaku industrinya sendiri masih lebih berkonsentrasi pada aspek-aspek usaha, manajerial, regulasi dan legal, sementara aspek teknologi khususnya masih belum dianggap sebagai prioritas karena membutuhkan investasi yang sangat besar. Kondisi ini tentunya akan merugikan industri itu sendiri manakala pesaing dari luar negeri akan semakin banyak berkarya di tanah air.

Untuk mendorong industri konstruksi nasional agar siap dan mampu menjawab tantangan dan memanfaatkan potensi kerekayasaan dan teknologi di masa mendatang perlu dirumuskan langkah-langkah strategis. Langkah strategis pertama yang perlu dirumuskan adalah keberadaan lanskap teknologi konstruksi sebagai landasan perumusan peta jalan penguasaan dan pengembangan teknologi konstruksi Indonesia.

Lanskap teknologi dalam hal ini adalah gambaran tentang ranah suatu teknologi di antara teknologi-teknologi lainnya. Lanskap teknologi digunakan untuk mengidentifikasi jenis teknologi menilai jenis teknologi yang diterapkan saat ini serta dan status posisinya terhadap teknologi-teknologi di masa mendatang yang dianggap relevan untuk dikembangkan di industri. Lanskap teknologi digunakan untuk mengevaluasi teknologi yang dianggap penting bagi pencapaian sasaran strategis jangka panjang dan kemampuan organisasi untuk mampu menyintas melalui kondisi bergejolak.

Dalam naskah ini dibahas perkembangan rekayasa dan teknologi konstruksi di Indonesia, mulai dari penelusuran umum sejarahnya, tantangan

dan kondisi industri konstruksi saat ini dan potensi menjadikan kembali kerekayasaan dan teknologi sebagai kompetensi inti kegiatan konstruksi. Melalui penelusuran sejarah kita dapat belajar tentang keberhasilan dan kegagalan sehingga mampu memicu munculnya berbagai ide penerapan prinsip-prinsip kerekayasaan dan pemanfaatan teknologi untuk memajukan industri konstruksi Indonesia.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
SINOPSIS	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
1 PERAN INDUSTRI KONSTRUKSI DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR NASIONAL.....	1
1.1 Industri Konstruksi dan Perkembangan Ekonomi Indonesia	1
1.2 Kinerja Industri Konstruksi Nasional	3
1.3 Arah Perkembangan Industri Konstruksi Nasional	6
2 SEJARAH PERKEMBANGAN TEKNOLOGI KONSTRUKSI DI INDONESIA	11
2.1 Dinamika Konstruksi pada Masa Sebelum Penjajahan	11
2.2 Dinamika Konstruksi Pada Zaman Penjajahan	13
2.3 Dinamika Konstruksi pada Awal Kemerdekaan	17
2.4 Dinamika Konstruksi pada Masa Sebelum Reformasi.....	20
2.5 Dinamika Konstruksi pada Masa Setelah Reformasi.....	21
2.6 Belajar dari Sejarah	30
3 MENINGKATAN KEMAMPUAN KEREKAYASAAN DAN TEKNOLOGI KONSTRUKSI DI MASA DEPAN	33
3.1 Makna dari Kata.....	33
3.2 Kajian Pengembangan dan Penerapan Teknologi Konstruksi..	35
4 PENUTUP.....	47
5 Ucapan Terima Kasih.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
CURRICULUM VITAE.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Inovasi dan transfer teknologi beton pracetak di Indonesia	8
Gambar 2	Contoh ragam sambungan mekanis pada Candi Borobudur	12
Gambar 3	Pembangunan jembatan Tjisomang generasi pertama, 1906	16
Gambar 4	Metode Belgia pada terowongan Sasaksaät, 1902	17
Gambar 5	<i>Jembatan Cable-Stayed Tengku Fisabilillah</i>	22
Gambar 6	<i>Launching box girder pada proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung</i> ..	25
Gambar 7	<i>Multi axle transported pada proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung</i> .	26
Gambar 8	<i>Perancah pada pekerjaan pemasangan rock bolt dan shotcrete lining</i>	27
Gambar 9	<i>Instalasi TBM terowongan no. 1 pada proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung</i>	28
Gambar 10	<i>Konstruksi modular hunian pekerja konstruksi IKN</i>	30
Gambar 11	<i>Kerangka kerja pengembangan teknologi konstruksi</i>	38
Gambar 12	<i>Contoh penelusuran data untuk pembentukan pengelompokan teknologi</i>	39
Gambar 13	<i>BIM dalam pengelolaan proyek</i>	41
Gambar 14	<i>Contoh PPVC – Flat-Pack Wall</i>	42
Gambar 15	<i>Dashboard PMIS Proyek Jalan Tol Rengat-Pekanbaru</i>	43

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Kontribusi sektor konstruksi terhadap produk domestik bruto Indonesia	2
Tabel 2	Tingkat kepentingan faktor dalam menentukan kemampuan pengelolaan teknologi	37

1 PERAN INDUSTRI KONSTRUKSI DALAM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR NASIONAL

Konstruksi tidak dapat dilepaskan dari keberadaan, peradaban dan kesejahteraan masyarakat suatu bangsa. Sebagaimana pernyataan *'A nation's construction industry is somewhat rooted within its 'soul. Construction activity has always been needed, even if rudimentary in man's early days,'* Anson, dkk. (2022) menunjukkan bahwa kegiatan konstruksi selalu dibutuhkan dan karakteristiknya terbentuk oleh sejarah, geografi, budaya sosial serta sistem lokal dari organisasinya. Hal ini menunjukkan bahwa ada karakteristik khusus pada sejarah hubungan antara perkembangan konstruksi dengan kemajuan peradaban dan kehidupan sosial masyarakatnya, yang implikasinya tidak harus berlaku seragam secara universal. Dengan demikian maka apa yang berhasil di suatu negara atau kelompok masyarakat tertentu belum tentu sesuai untuk negara atau kelompok masyarakat lainnya.

Terlepas dari perbedaan karakteristik tersebut meskipun banyak masyarakat umum yang masih sulit membayangkan kontribusi industri konstruksi terhadap kesejahteraan masyarakat, tetap harus diakui bahwa selama perjalanan sejarah peradaban, masyarakat konstruksi telah terbukti berperan kontributif positif yang berarti dari konstruksi terhadap pembangunan infrastruktur dan ekonomi, dan sosial masyarakat. Sejarah menunjukkan bahwa struktur buatan manusia sudah dipraktikkan sejak zaman neolitik dengan pembangunan tempat pemujaan Göbekli Tepe di Turki pada 9500-8000 SM, sampai struktur Parthenon di Yunani Kuno pada 447-432 SM atau struktur perkerasan jalan di zaman Romawi kuno pada 200 SM, hingga Burj Jeddah di Saudi Arabia yang akan menjadi bangunan pencakar langit tertinggi di dunia. Kesemuanya merupakan manifestasi dari upaya manusia mewujudkan hasrat pencapaian kesejahteraan dan kemakmurnya.

1.1 Industri Konstruksi dan Perkembangan Ekonomi Indonesia

Sebagai industri kunci nasional, konstruksi berperan sebagai pencipta utama bagi kesejahteraan bangsa melalui penyediaan infrastruktur yang diperlukan bagi sektor-sektor ekonomi lainnya, seperti agrikultur, energi, kepariwisata-

an, manufaktur dan lainnya (Soemardi & Pribadi, 2022). Dalam dua dekade terakhir ini industri konstruksi telah menjadi penghela utama perekonomian nasional yang memberikan sumbangan yang berarti terhadap pertumbuhan PDB nasional Indonesia. Data BPS menunjukkan bahwa kontribusi sektor konstruksi terhadap PDB terus meningkat dari sekitar 7% di awal tahun 2000 hingga mencapai lebih dari 10% di tahun 2019. Bahkan pada saat diterpa pandemi Covid-19 pun kontribusinya relatif masih baik. Pada saat yang sama terjadi penurunan kinerja di sektor perekonomian lain.

Tabel 1 Kontribusi sektor konstruksi terhadap produk domestik bruto Indonesia

Tahun	PDB Total (Rp, milyar)	(%) PDB					Konstruksi	Pertumbuhan Konstruksi (%)
		Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	Tambang dan Penggalian	Industri Pengolahan Manufaktur	Sektor- lain dan subsidi pajak			
2000	4,121,726	16.50%	15.61%	23.70%	34.15%	7.76%		
2001	4,271,900	16.44%	15.11%	23.62%	34.64%	7.83%	0.9%	
2002	4,464,113	16.28%	14.61%	23.80%	34.95%	7.91%	0.9%	
2003	4,677,514	16.12%	13.75%	42.08%	17.50%	8.01%	1.3%	
2004	4,912,834	15.78%	12.50%	24.23%	36.65%	8.19%	2.3%	
2005	5,192,501	15.34%	12.21%	23.98%	37.43%	8.34%	1.7%	
2006	5,478,137	15.03%	11.77%	23.77%	38.09%	8.56%	2.7%	
2007	5,825,727	14.62%	11.28%	23.40%	39.15%	8.74%	2.1%	
2008	6,176,068	14.46%	10.72%	22.88%	40.19%	8.86%	1.5%	
2009	6,461,953	14.36%	10.70%	22.35%	40.61%	9.07%	2.3%	
2010	6,864,133	13.93%	10.46%	22.04%	41.55%	9.13%	0.7%	
2011	7,287,635	13.64%	10.28%	22.06%	41.72%	9.38%	2.7%	
2012	7,727,083	13.45%	9.99%	21.97%	42.20%	9.42%	0.5%	
2013	8,156,498	13.28%	9.70%	21.72%	42.83%	9.47%	0.5%	
2014	8,564,867	13.18%	9.28%	21.65%	43.25%	9.65%	1.9%	
2015	8,982,517	13.04%	8.54%	21.54%	44.12%	9.79%	1.4%	
2016	9,434,613	12.84%	8.21%	21.38%	44.81%	9.80%	0.2%	
2017	9,912,928	12.69%	7.87%	21.22%	45.33%	9.97%	1.6%	
2018	10,425,397	12.54%	7.64%	21.04%	45.85%	10.05%	0.9%	
2019	10,949,244	12.37%	7.36%	20.79%	46.45%	10.12%	0.7%	
2020	10,722,999	12.85%	7.37%	20.61%	46.14%	10.00%	-1.2%	
2021	11,120,078	12.63%	7.39%	20.55%	46.52%	9.91%	-0.9%	
2022	11,710,398	12.26%	7.33%	20.47%	47.45%	9.60%	-3.1%	

Tingginya pertumbuhan ekonomi di sektor konstruksi umumnya dipicu oleh investasi pemerintah pada proyek-proyek pembangunan infrastruktur. Menyadari pentingnya infrastruktur perkembangan ekonomi nasional pemerintah berupaya mendorong peningkatan cadangan infrastruktur nasional dari sekitar 38% PDB di tahun 2012 hingga mencapai nilai paling tidak 50% dari PDB di tahun 2025.

Ke depan diharapkan investasi di sektor konstruksi akan tetap tumbuh menjadi salah satu yang tertinggi di Asia. Pertumbuhan yang pesat di berbagai sektor ekonomi ditambah dengan peningkatan permintaan domestik terhadap layanan infrastruktur publik juga menarik sektor swasta untuk berinvestasi pada pembangunan infrastruktur, baik secara mandiri maupun melalui skema pendanaan KPBU. Keterbatasan kemampuan pemerintah dalam memberikan dukungan pendanaan dimanfaatkan oleh sektor swasta dalam berinvestasi di sektor-sektor energi, jalan tol, pelabuhan dan bangunan komersial. Dalam hal investasi pada proyek infrastruktur yang dinilai tidak layak pendanaan pemerintah menetapkan kebijakan melalui penugasan BUMN untuk berperan sebagai mesin penggerak utamanya.

Meskipun terjadi peningkatan yang besar dalam investasi di proyek-proyek konstruksi di sektor publik maupun swasta, pemanfaatan teknologi maju dan metode penyelenggaraan proyek (*project delivery method*) modern masih belum jelas kontribusinya pada penguatan industri konstruksi nasional. Bahkan ada banyak indikasi bahwa teknologi-teknologi tersebut masih diimpor. Ketergantungan terhadap teknologi asing ini terlihat dari keberadaan dan penggunaan peralatan dan permesinan. Pada beberapa proyek pembangunan infrastruktur yang besar penggunaan peralatan khusus seperti alat angkat (*crane*) raksasa, *tunnel boring machine* dan peralatan lainnya menjadi suatu keharusan, dan semuanya itu terpaksa harus didatangkan dari luar negeri (Soemardi & Pribadi, 2022). Namun demikian harus diakui bahwa secara perlahan peralatan dan mekanisasi telah menjadi kebutuhan yang akan terus meningkat. Mekanisasi dan prafabrikasi tampaknya sudah semakin banyak diterapkan di industri konstruksi. Dengan demikian maka struktur usaha dan rantai pasok industri konstruksi nasional juga akan berubah menjadi seperti yang berlaku di negara-negara maju lainnya.

1.2 Kinerja Industri Konstruksi Nasional

Dinamika industri konstruksi nasional merupakan cerminan dari gerak pertumbuhan ekonomi nasional. Dalam kondisi ekonomi yang lesu seperti pada saat krisis ekonomi 1998 dan pandemi Covid-19, nilai investasi di industri konstruksi mengalami kontraksi akibat berkurangnya permintaan terhadap layanan konstruksi, terutama di sektor swasta. Sebaliknya pertumbuhan sektor konstruksi akan menghasilkan produk berupa fasilitas penunjang

proses kegiatan di sektor-sektor perekonomian lain, yang pada gilirannya memberikan kontribusi pada pertumbuhan perekonomian nasional. Pada saat iklim ekonomi nasional membaik, semakin banyak proyek-proyek konstruksi dengan berbagai ukuran dan kompleksitas yang telah dikerjakan, yang menuntut dukungan sumber daya yang lebih khusus dan berkemampuan unggul, termasuk pemanfaatan teknologi. Sebagai aktor utama dalam kegiatan konstruksi, kontraktor memegang peran kunci dalam mencapai keberhasilan konstruksi. Kinerja industri konstruksi secara konsisten terus mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari nilai kapitulasi pasar dan sumbangannya terhadap PDB. Perkembangan ini juga terlihat dari ragam dan nilai proyek-proyek konstruksi yang diselesaikan setiap tahunnya.

Secara keseluruhan, dalam beberapa dekade terakhir struktur usaha industri konstruksi Indonesia relatif tidak berubah. Usaha jasa konstruksi nasional umumnya masih didominasi oleh kontraktor umum dengan jumlah terbesar masuk klasifikasi perusahaan kecil dan menengah. Sementara itu ketersediaan kontraktor spesialis relatif masih sedikit. Kondisi ini tentunya bertentangan dengan kecenderungan pasar konstruksi nasional yang menuntut lebih banyak pelaksana konstruksi spesialis dengan keunggulan yang lebih khusus.

Pasar konstruksi Indonesia tersegmentasi menjadi tiga kelompok, dengan porsi terbesar pada sektor publik, terutama pengadaan infrastruktur publik. Penggerak segmen pasar ini adalah instansi pemerintah, khususnya dalam pengadaan infrastruktur publik. Segmen pasar ini didominasi oleh kontraktor nasional skala besar yang mengerjakan proyek infrastruktur besar dengan menggunakan anggaran pemerintah atau pinjaman luar negeri, atau keduanya. Biasanya kontraktor pada proyek besar seperti ini berbagi sebagian pekerjaan dengan kontraktor spesialis yang lebih kecil. Proyek infrastruktur yang sangat besar dan kompleks hampir seluruhnya didominasi oleh Perusahaan-perusahaan konstruksi milik negara. Untuk proyek konstruksi yang lebih kecil, termasuk gedung, keterlibatan sektor swasta juga cukup umum. Segmen pasar infrastruktur publik seperti ini juga dalam dua dekade terakhir diminati oleh perusahaan konstruksi asing yang melihat peluang untuk berinvestasi.

Untuk proyek kecil di wilayah lokal, kontraktor lokal menengah dan besar biasanya memainkan peran dominan dalam proyek pemerintah daerah. Karakteristik geografis Indonesia yang terdiri dari banyak pulau membuat penggunaan kontraktor lokal dalam proyek-proyek regional menjadi sangat logis. Pekerjaan konstruksi lokal umumnya hanya membutuhkan teknologi sederhana yang dapat disediakan secara lokal. Meski demikian, sering kali kontraktor lokal mengalami kesulitan untuk mendapatkan sumber daya, baik untuk memenuhi kebutuhan tenaga kerja terampil, material maupun peralatan, dan terpaksa mendatangkannya dari wilayah lain.

Segmen pasar konstruksi nasional berikutnya didominasi oleh sektor swasta. Segmen pasar komersial ini mencakup pengadaan fasilitas publik dan swasta berupa apartemen, gedung perkantoran, rumah sakit, sekolah, pusat perbelanjaan dan fasilitas infrastruktur komersial lainnya. Pembiayaan konstruksi pada segmen ini berasal dari sektor swasta, yang dapat mengakomodasi pengadaan dan pengaturan keuangan yang lebih fleksibel; lebih menarik bagi kontraktor daripada mengerjakan proyek publik. Kontraktor yang bergerak di segmen ini memiliki klasifikasi yang beragam, masing-masing memiliki pasar sendiri sesuai dengan kemampuan teknis dan keuangannya. Kontraktor skala kecil biasanya mengerjakan proyek perumahan swasta, sedangkan kontraktor skala menengah akan mengerjakan konstruksi bangunan atau jenis pekerjaan konstruksi teknik sipil yang lebih besar. Untuk proyek gedung besar dan kompleks, perusahaan konstruksi swasta kerap bersaing dengan perusahaan-perusahaan konstruksi milik negara.

Segmen pasar konstruksi ketiga terdiri dari pekerjaan teknik dan konstruksi untuk industri seperti energi dan pembangkit listrik, sistem transmisi kelistrikan, pabrik pengolahan, infrastruktur telekomunikasi, serta kompleks industri besar. Segmen pasar ini melibatkan banyak modal dan umumnya membutuhkan kapabilitas teknologi tinggi dan kompleksitas yang lebih besar. Meskipun kontraktornya sama, ketika beroperasi di segmen ini mereka juga harus mematuhi peraturan industri terkait, yang sering kali jauh lebih ketat daripada yang ada di sektor pekerjaan umum dan memiliki izin yang sesuai. Pekerjaan konstruksi di segmen pasar ini umumnya melibatkan kontraktor asing dengan keunggulan teknologi yang belum banyak dikuasai oleh kontraktor nasional besar.

Struktur dan proporsi kontraktor di Indonesia memunculkan tantangan tersendiri. Di tataran nasional sebagian besar kontraktor harus bersaing di pasar yang sangat ketat, terutama terkonsentrasi di lokasi seperti di ibu kota provinsi dan kota-kota besar di Pulau Jawa. Sayangnya persaingan ini tidak diimbangi dengan kapasitas yang didasarkan pada keunggulan kompetitif berdasarkan kompetensi dan kemampuan rekayasa dan teknologi tetapi lebih pada keberanian melakukan penawaran harga yang rendah, tanpa didukung efisiensi dan produktivitas yang lebih baik dari para pesaingnya. Konsekuensinya, dalam proses konstruksinya banyak terjadi masalah, mulai dari keterlambatan, kegagalan konstruksi, dan bahkan kecelakaan.

Dengan meningkatnya jumlah proyek infrastruktur besar dan kompleks, keterlibatan konsultan dan kontraktor asing tidak dapat dihindarkan. Kondisi memaksa industri konstruksi nasional untuk menyesuaikan diri dengan praktik-praktik internasional. Pengadaan pada proyek-proyek infrastruktur, terutama yang menggunakan dana asing, telah bergeser dari skema tradisional desain-lelang-bangun (*design-bid-build*) ke rancang-bangun atau skema kontrak EPC/Turnkey. Dalam skema ini kontraktor dipaksa untuk membangun kapasitas desain dan rekayasa yang terintegrasi dengan kapasitas dan kompetensi konstruksinya, atau bekerja sama dengan konsultan perancang. Bahkan dalam beberapa kasus tertentu, ketentuan skema pendanaan maupun kebutuhan sumber daya mengharuskan kontraktor lokal untuk bermitra dengan kontraktor asing yang memiliki keunggulan rekayasa dan teknologi.

1.3 Arah Perkembangan Industri Konstruksi Nasional

Industri konstruksi tidak berada di ruang vakum tetapi bergerak dinamis dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal. Sebagai industri yang terbuka, industri konstruksi Indonesia juga berubah mengikuti kecenderungan prinsip dan praktik-praktik yang berlaku secara global.

Dalam konteks sistem industri modern suatu sistem produksi tidak lagi dipandang sebagai suatu elemen yang tersegmentasi. Dilihat dari sudut pandang industri, konstruksi modern mempunyai ciri yang serupa dengan industri produk rekayasa lainnya. Industri konstruksi merupakan susunan dari suatu sistem rantai pasok yang melibatkan berbagai sektor industri. Pandangan ini juga berlaku di industri konstruksi di Indonesia, yang dalam

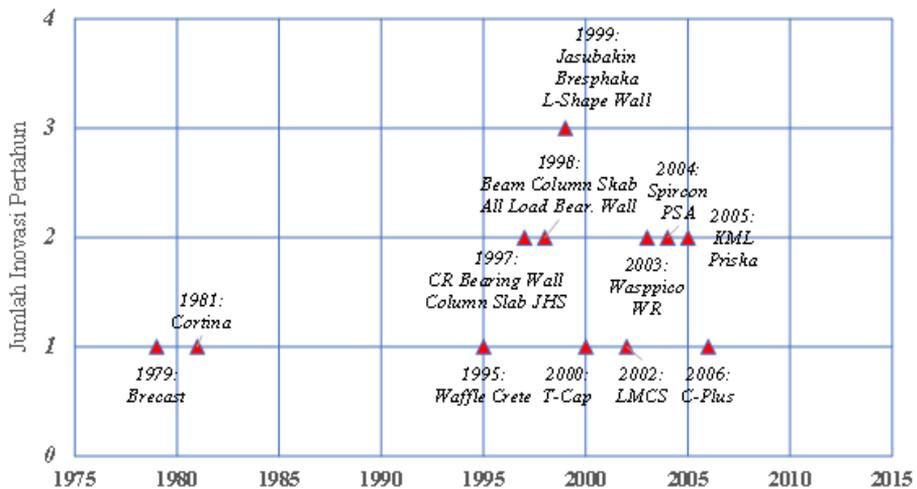
tiga dekade terakhir telah bergeser dari pandangan tradisional yang hanya fokus pada transaksi antara kontraktor dengan pemberi tugas, tetapi mulai melihat peran dan fungsi pemasok dan sub-kontraktor sebagai bagian yang tidak dapat dipisahkan dari suatu sistem produksi yang utuh.

Contoh yang paling mudah adalah pada penggunaan teknologi konstruksi pracetak. Pada beberapa proyek/pekerjaan konstruksi, pendekatan prafabrikasi mulai banyak dipraktikkan. Pada banyak proyek pembangunan gedung penggunaan komponen prafabrikasi seperti beton pra-cetak atau metal prafabrikasi sudah menjadi hal yang umum untuk digunakan sebagai komponen arsitektural maupun struktural. Demikian pula dengan komponen struktural pada proyek-proyek konstruksi infrastruktur seperti untuk komponen gelagar jembatan, pondasi tiang pancang dan sebagainya. Ketersediaan dan keandalan sistem transportasi dan logistik yang mulai membaik memungkinkan sebagian proses produksi mulai dilakukan di luar lokasi proyek, untuk selanjutnya dikirim dan dipasang di lokasi. Pendekatan prafabrikasi seperti ini memungkinkan peningkatan efisiensi, produktivitas dan kualitas konstruksi.

Meskipun pada skala industri beton pracetak di Indonesia baru dimulai tahun 1974, baru sekitar tahun 1979 dilakukan inovasi teknologi beton pracetak melalui pengembangan dan transfer teknologi beberapa perusahaan beton pracetak di Indonesia. Sebelum itu teknologi yang digunakan masih diimpor dari luar negeri. Umumnya sistem beton pracetak yang ada di Indonesia merupakan sistem pracetak non-volumetrik, yaitu komponen struktur beton pracetak tidak membentuk suatu volume struktur secara utuh. Selain itu, masih banyak inovasi dilakukan terfokus pada sistem sambungan antarkomponen struktur (Abduh, 2007).

Jika teknologi beton pracetak umumnya tidak menjumpai hambatan dalam pengadaan materialnya, penerapan konsep prafabrikasi pada komponen metal, khususnya baja, masih terkendala pada pasokan bahan baja dan material metal lainnya. Keberadaan PT Krakatau Steel di tahun 1970 menjadi titik awal berkembangnya industri baja nasional. Dengan dibangunnya fasilitas pabrik-pabrik baja profil, baja spons hingga baja slab dan baja lembar panas, menjadikan produk baja konstruksi menjadi primadona yang kemudian diikuti oleh beberapa pabrik baja lain dan distributornya yang memberikan layanan perancangan dan pra-rakitan (*pre-*

assembly). Demikian juga untuk material baja pracetak, penggunaannya sudah dimulai ketika banyak gedung bertingkat mulai dibangun di Jakarta, seperti gedung Sarinah pada tahun 1960-an (Abduh, dkk. 2020).



Gambar 1 Inovasi dan transfer teknologi beton pracetak di Indonesia (sumber: Abduh, 2007)

Selain menuju industrialisasi (melalui penerapan konsep rantai pasok dan prafabrikasi), industri konstruksi nasional juga mengadopsi berbagai prinsip pembangunan global, seperti *green construction* dan *sustainable construction*. Sebagai sebuah istilah, Konstruksi Berkelanjutan (KB) atau *sustainable construction* dimaksudkan sebagai suatu pendekatan pelaksanaan berbagai proses konstruksi suatu bangunan fisik atau infrastruktur yang memperhatikan keseimbangan antara pencapaian nilai ekonomi, nilai sosial dan nilai lingkungan dengan menggunakan prinsip-prinsip penggunaan berbagai sumber daya yang bijak agar tercipta kemungkinan pemanfaatan hasil konstruksi yang dinikmati bukan hanya pada saat ini tetapi juga bagi generasi yang akan datang (Abduh, dkk, 2020)

Konsep pembangunan berkelanjutan secara formal mulai diperkenalkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum pada tahun 2011 yang tertuang dalam dokumen rancangan *Agenda 21 Konstruksi Berkelanjutan di Indonesia* tahun 2010. Setelah kurang mendapat respons positif dari berbagai pemangku kepentingan di Industri konstruksi nasional, baru pada tahun 2015, Kementerian PUPR mengeluarkan aturan payung terkait Konstruksi Berkelanjutan (KB) melalui Permen PUPR No. 5 tahun 2015 mengenai Pedoman Umum Implementasi Konstruksi Berkelanjutan, meskipun

keberlakuannya masih terbatas untuk proyek-proyek infrastruktur di lingkungan Kementerian PUPR.

Hampir bersamaan dengan pengenalan konsep konstruksi berkelanjutan, istilah bangunan hijau atau *green building* mulai mendapat perhatian dari para arsitek pelaku konstruksi, khususnya pada bangunan gedung. Konsep bangunan hijau mengadopsi prinsip serupa yang telah dikembangkan dan diterapkan di berbagai negara maju, yang digunakan untuk menilai sejauh mana tingkat keramahan dan/atau kesesuaian suatu bangunan terhadap lingkungan sekitarnya. Di Indonesia konsep ini diterapkan dalam penilaian *green ship* yang dilakukan oleh Green Building Council of Indonesia (GBCI). Meskipun sifatnya sukarela, kesertaan dan penghargaan *green ship* pada akhirnya menjadi bersifat wajib bagi bangunan-bangunan gedung di beberapa wilayah tertentu.

Meskipun menjadi populer dan mendapat respons yang baik dari kalangan praktisi pembangunan gedung, sistem penilaian gedung hijau dianggap belum cukup holistik (Abduh & Imran, 2013), khususnya yang menyangkut proses konstruksi. Sebagai salah satu solusinya adalah melalui penyamaan arti *sustainable construction* dengan *green building* menjadi sebuah konsep tunggal Konstruksi Hijau.

Selain isu industrialisasi dan aspek lingkungan di industri konstruksi, aspek keselamatan kerja konstruksi (K3) layak menjadi perhatian utama. Pergeseran cara bekerja secara manual yang mengandalkan keterampilan tenaga kerja menjadi penggunaan peralatan dan teknologi maju memerlukan perubahan yang cukup mendasar pada pengembangan sumber daya manusianya. Pekerja konstruksi tidak saja dituntut untuk harus terampil dalam menggunakan/mengoperasikan peralatan, tetapi juga harus mampu mengubah paradigma dan perilaku kerjanya. Jika hal ini tidak ditangani dengan baik maka pengenalan teknologi baru di lingkungan kerja menjadi tidak efektif, kurang produktif dan bahkan dapat menjadi sumber bencana.

Berbagai insiden kecelakaan konstruksi yang berulang-ulang terjadi juga menunjukkan bahwa isu keselamatan kerja konstruksi masih menjadi tantangan besar, terutama dalam membangun budaya keselamatan dan kesehatan kerja konstruksi pada seluruh pemangku kepentingan konstruksi di seluruh lapisan masyarakat, dan penerapannya dalam berbagai tahapan

project life cycle juga masih menjadi tantangan besar (Pribadi & Soemardi, 2020).

Upaya menciptakan lingkungan dan suasana kerja yang aman, selamat dan sehat sudah dimulai sejak lebih dari 50 tahun yang lalu. Dimulai dengan Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, berbagai regulasi yang bertujuan melindungi tenaga kerja dan lingkungan telah diterbitkan, khususnya untuk pekerjaan konstruksi. Meski demikian tingkat kecelakaan kerja konstruksi relatif masih tinggi. Salah satu dugaan penyebabnya adalah kesadaran para pekerja tentang pentingnya K3 dan penegakan hukum terhadap regulasi tentang K3 yang masih rendah. Upaya terakhir yang dilakukan pemerintah untuk menekan angka K3 adalah dengan membentuk Komite Keselamatan Konstruksi (K2K) melalui penerbitan Peraturan Menteri PUPR No. 02 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2014 Tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum.

K2K ini merupakan unit yang bertugas membantu Menteri dalam penyelenggaraan keselamatan konstruksi dan untuk menerapkan SMK3 pada setiap penyelenggaraan pekerjaan konstruksi. Komite Keselamatan Konstruksi memiliki tugas antara lain melaksanakan pemantauan dan evaluasi Pekerjaan Konstruksi yang diperkirakan memiliki Risiko Keselamatan Konstruksi besar; melaksanakan investigasi kecelakaan konstruksi; memberikan saran, pertimbangan, dan rekomendasi kepada Menteri berdasarkan hasil pemantauan dan evaluasi Pekerjaan Konstruksi dengan Risiko Keselamatan Konstruksi besar dan/atau investigasi kecelakaan konstruksi dalam rangka mewujudkan Keselamatan Konstruksi; dan melaksanakan tugas lain yang diberikan oleh Menteri. Dalam menjalankan tugasnya komite melakukan investigasi dan kajian terhadap suatu kecelakaan konstruksi terhadap aspek-aspek regulasi dan kelembagaan, kereyasaan dan teknologi serta perilaku pekerja. Dalam menjalankan fungsi dan tugasnya komite dapat dibantu pejabat dan/atau ahli di bidang yang terkait.

2 SEJARAH PERKEMBANGAN TEKNOLOGI KONSTRUKSI DI INDONESIA

Catatan tentang sejarah pembangunan di negara ini merupakan cermin yang baik untuk mengetahui bagaimana teknologi pembangunan berubah dan berkembang seiring dengan perubahan perjalanan bangsa Indonesia. Melalui sejarah kita dapat mempelajari bagaimana bangsa ini melakukan proses pembangunan dan berinovasi.

Sejarah perkembangan teknologi konstruksi tidak dapat dilepaskan dari berbagai faktor seperti peradaban, kebudayaan, kondisi politik dan ekonomi. Secara umum sejarah perkembangan teknologi konstruksi bangsa Indonesia dapat dikelompokkan menjadi empat tahap; 1) masa sebelum kemerdekaan, 2) masa awal kemerdekaan, 3) masa sebelum reformasi, dan 4) masa setelah reformasi hingga saat ini. Meski demikian jauh sebelum adanya negara Indonesia bangsa ini telah berkarya menghasilkan berbagai artefak penting yang menggambarkan bagaimana metode dan teknologi dimanfaatkan dalam proses pembangunan di masa lalu.

2.1 Dinamika Konstruksi pada Masa Sebelum Penjajahan

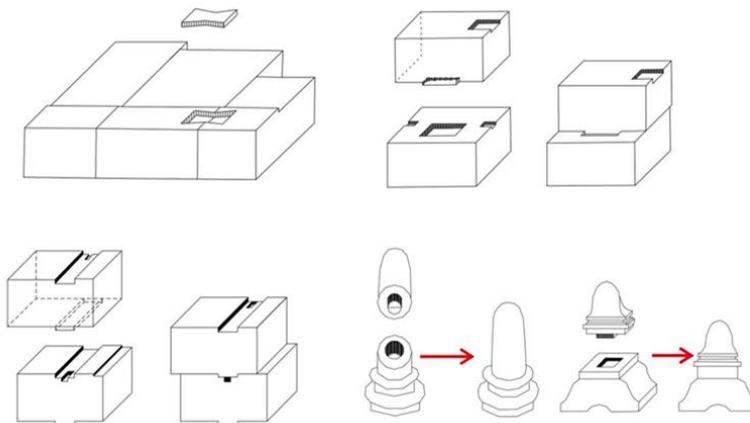
Banyak artefak di berbagai wilayah di Indonesia yang menandai adanya kegiatan pembangunan dan indikasi teknologi konstruksi di wilayah Nusantara pada masa yang lalu. Dari sekian banyak artefak tersebut, candi Borobudur dapat dijadikan contoh untuk menggambarkan bagaimana manusia di masa lalu berinovasi berupaya mewujudkan sebuah objek buatan manusia yang sangat besar dengan bentuk unik yang teratur.

Candi Buddha yang megah ini dibangun pada tahun 800-835 Masehi di zaman raja Samaratungga dari Wangsa Syailendra. Struktur candi ini terdiri dari tumpukan bertingkat dari susunan batu di atas urugan tanah. Teknik pemasangan tumpukan baru itu sendiri serupa dengan metode konstruksi prafabrikasi yang dikenal saat ini. Batu-batu candi dibuat terlebih dari dengan cara menatah batuan vulkanik andesit menjadi balok-balok atau bentuk lain dalam berbagai ukuran. Serupa dengan teknik pembangunan Piramida di Mesir kuno, batuan yang telah ditatah tersebut kemudian dipindahkan dan dipasang di lokasi sesuai dengan urutan tertentu. Balok-balok batu penyusun

candi tersebut mempunyai berat antara 7,5 kg – 10 kg, sehingga dapat diangkat oleh manusia tanpa alat bantu. Untuk elemen yang lebih besar dan berat tentu saja alat bantu seperti pengungkit sederhana juga dipergunakan.

Berbeda dengan anggapan umum bahwa susunan batuan candi disatukan dengan menggunakan putih telur sebagai perekat, hubungan antarbalok batu candi dilakukan melalui sambungan mekanik dalam berbagai tipe, seperti sambungan ekor burung, sambungan takikan, sambungan alur lidah dan sambungan poros dan lubang (BKPB, 2013). Adanya sambungan seperti ini menunjukkan rancangan teknik konstruksi yang cukup maju.

Tenik penyambungan seperti ini tidak saja secara teknis memenuhi karakteristik persyaratan kerecakasaan dari sudut kekuatan dan kestabilan struktur, juga merupakan solusi yang cerdas untuk menyatukan komponen-komponen batu secara sederhana dan tanpa bantuan peralatan khusus. Bentuk khas seperti sambungan ekor burung seperti ini bahkan masih dijumpai pada aplikasi konstruksi modern seperti pada sambungan antara dua tiang pancang.



Gambar 2 Contoh ragam sambungan mekanis pada Candi Borobudur (sumber: PKPB, 2013)

Pada beberapa abad yang lebih awal, artefak sejarah lain dijumpai menggunakan teknologi konstruksi yang berbeda. Sebagai contoh, Candi Muara Takus di Riau dibangun dengan menggunakan susunan bata yang dibuat dari bata merah atau batu pasir, serupa dengan teknik pembangunan dinding bata yang saat ini masih dipraktikkan. Sambungan antara elemen batu bata menggunakan perekat sebagaimana fungsi mortar pada konstruksi

batu bata modern. Teknologi sambungan dan proses pembuatan balok batu dan bata dengan presisi yang relatif tinggi menunjukkan penerapan teknologi produksi bahan konstruksi yang cukup handal. Penggunaan bahan baku yang tersedia secara lokal, yakni batuan vulkanik pada candi Borobudur di daerah pegunungan selatan Jawa dan bata merah pada candi Muara Takus di wilayah Riau, tanpa disadari merupakan aksi yang bijak dalam menerapkan prinsip minimalisasi jejak karbon dari konsep modern konstruksi hijau.

Contoh pembangunan dua candi di atas membuktikan bahwa nenek moyang bangsa Indonesia telah menerapkan metode dan teknologi konstruksi yang dapat dianggap sangat maju di zamannya. Metode dan teknologi tersebut kemungkinan besar juga merupakan hasil proses belajar dari praktik-praktik pembangunan objek serupa dari wilayah Cina dan Asia Selatan.

2.2 Dinamika Konstruksi Pada Zaman Penjajahan

Konstruksi modern di Indonesia mulai berkembang sejak era kolonial Belanda, dari sekitar awal tahun 1800-an hingga akhir tahun 1930-an. Hingga saat ini di kota-kota besar dan lokasi tertentu di daerah di Indonesia masih dengan mudah dijumpai berbagai gedung-gedung pemerintahan yang megah dan bangunan infrastruktur yang menyerupai desain arsitektur bangunan Eropa yang masih berfungsi hingga sekarang (Soemardi & Rivai, 2020).

Meskipun banyak dikecam dan disesali, keberadaan bangsa Eropa yang menjajah bumi Nusantara pada kenyataannya berkontribusi pada sejarah perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia. Banyak teknologi dan inovasi yang pada eranya itu dapat dikatakan sebagai terobosan dalam teknik mendirikan bangunan bahkan bagi bangsa Eropa sekalipun.

Setelah sebelumnya lebih banyak dipengaruhi oleh praktik-praktik dan teknologi konstruksi Cina dan Asia Selatan, sejarah perkenalan bangsa Nusantara dengan teknologi konstruksi barat bukan dimulai dengan kedatangan misi dagang bangsa Belanda di pelabuhan Banten dengan empat buah kapal yang dipimpin oleh Kapten Pieter Keyzer dan Cornelis de Houtman di tahun 1595. Sayangnya sejarah perkembangan teknologi konstruksi di masa itu justru dimulai di zaman kolonialisme pasca pendudukan serikat perdagangan *Vereenigde Oost Indische Compagnie* (VOC). Antara tahun 1806–1811 di bawah pimpinan Herman Willem Daendels,

tentara kerajaan Belanda mengemban misi yang diberikan oleh Napoleon Bonaparte, yang salah satunya adalah mempertahankan Pulau Jawa dari serangan Inggris.

Dalam menjalankan tugas tersebut, Daendles membangun berbagai infrastruktur untuk mendukung pertahanan dan peperangan seperti: membangun jalan raya pos atau *Grote Postweg*, yaitu dari Anyer hingga Panarukan, mendirikan benteng-benteng pertahanan, membangun fasilitas pangkalan armada laut di Merak dan Ujung Kulon, hingga mendirikan pabrik-pabrik senjata dan membangun rumah sakit serta tangsi militer baru. Selanjutnya berawal dari alasan militer untuk mempertahankan kekuasaan Belanda dan Perancis di Pulau Jawa, dengan alasan kurangnya kas untuk membiayai perang, secara berangsur-angsur keberadaan Belanda di bumi Nusantara beralih fokus menjadi mengeksploitasi penduduk lokal untuk kerja paksa menjadi buruh di sektor perkebunan. Pada saat itu, selain jalan sebagai prasarana transportasi darat, Belanda juga mulai membangun berbagai infrastruktur pendukung perkebunan seperti membangun bendungan, saluran irigasi dan infrastruktur lainnya.

Dalam kurun waktu 150 tahun hingga akhir keberadaannya di Indonesia insinyur-insinyur Belanda telah meletakkan dasar-dasar konstruksi modern di Indonesia. Selama kurun waktu tersebut departemen pekerjaan umum pemerintah Hindia Belanda (*Dutch East Indies Public Works department; Burgelijke Openbare Werken - BOW*) telah berhasil membangun jaringan infrastruktur publik modern yang meliputi jaringan jalan, irigasi, jalur kereta api, pelabuhan dan jaringan pasokan air bersih (Ravesteijn & Horn-van Nispen, 2008).

Insinyur-insinyur Belanda yang terlibat pada berbagai pembangunan infrastruktur publik membawa pengetahuan, keterampilan dan pengalamannya di Eropa untuk diterapkan di bumi Hindia Belanda. Hal mendasar yang perlu dipertimbangkan dalam mengatasi perbedaan karakteristik pengetahuan dan teknologi yang diterapkan di Belanda dengan kondisi Hindia Belanda adalah faktor-faktor kondisi tanah, cuaca, ketersediaan material dan tenaga kerja, yang hingga batas-batas tertentu, tercermin dalam karakter nasional serta politik nasional dan kelembagaan sosial (Ertsen, 2008).

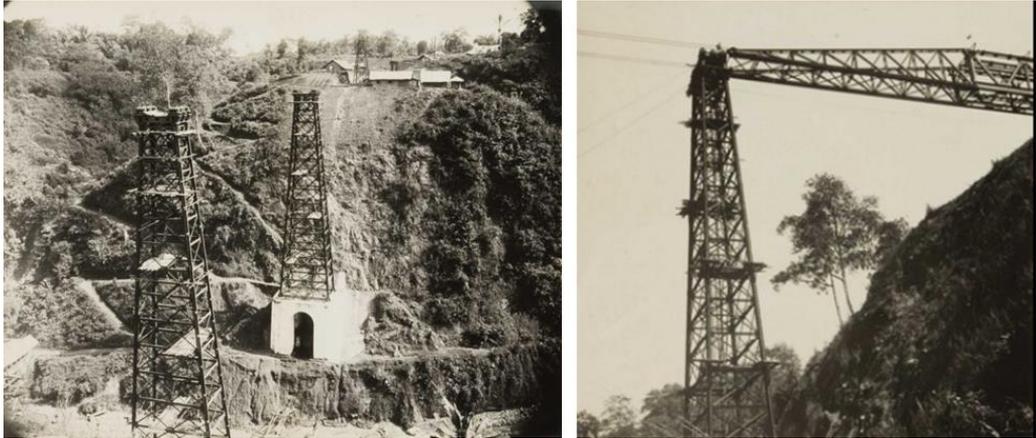
Tentu saja tidak semua pengetahuan dan pengalaman tersebut sesuai dengan kondisi alam lokal tropikal yang ada, dan manakala tantangan tersebut muncul, para insinyur ini berinovasi atau berupaya mencari rujukan yang relevan. Penggunaan bronjong, sebagai contoh, merupakan hasil karya inovatif insinyur Belanda untuk memanfaatkan anyaman bambu sebagai wadah pengikat batu-batuan sebagai bagian dari struktur bendungan sementara (Bakker, 2008).

Pada kasus lain, insinyur Belanda menghadapi kenyataan bahwa topografi lokasi pembangunan jembatan kereta api di Pulau Jawa sangat berbeda dengan apa yang ada di Belanda. Dalam perjalanan menuju Hindia Belanda di tahun 1870-an di awal proses pembangunan jalan rel di Pulau Jawa, seorang insinyur militer Belanda bernama J.P de Bordes menyempatkan diri untuk melakukan inspeksi pada jalur kereta api di daerah pegunungan Austria yang memiliki medan yang mirip dengan rencana jalur kereta api Soerakarta dan Djokja yang akan dibangun. Dari pengalamannya tersebut de Bordes berhasil menerapkan teknologi ereksi jembatan baja berdasarkan hasil rancangan Belgia. De Bordes juga berhasil memanfaatkan kayu jati sebagai pengganti yang lebih cocok kayu pinus yang harus diimpor (Veenendaal, Jr, 2008).

Mungkin pembangunan infrastruktur jalan rel dapat menjadi objek kajian yang lengkap untuk melihat bagaimana kehebatan teknologi konstruksi berhasil menciptakan bukti sejarah yang masih berfungsi sampai saat ini, dari struktur bangunan stasiun, hingga jembatan dan terowongan. Hingga saat ini di stasiun-stasiun utama pada jalur Jakarta hingga Bandung, Semarang, Yogya dan Surabaya masih mudah dijumpai keindahan elemen-elemen struktur karya perpaduan bahan baja, kayu dan dinding bata yang masih berdiri tegak. Kecuali untuk beberapa bahan lokal, baja masih merupakan bahan konstruksi utama yang harus diimpor. Teknologi proses penempaan baja yang menghasilkan ukiran estetik yang indah, dan teknik sambungan dengan menggunakan paku keling pun merupakan hal yang baru pada waktu itu.

Tidak kalah menariknya adalah teknologi pembangunan jembatan. Jembatan Tjisomang dibangun tahun 1906 pada jalur Batavia-Bandoeng, pada koridor Purwakarta dan Padalarang contohnya, merupakan sebuah karya rekayasa dan konstruksi yang mengagumkan. Meskipun sejak tahun 1932 tidak lagi digunakan, jembatan Tjisomang generasi pertama, dibangun tahun 1906 merupakan contoh keberhasilan teknologi pembangunan jembatan baja

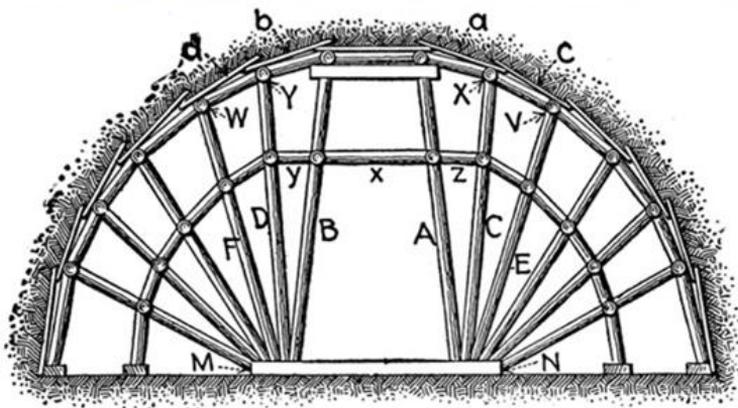
pada medan yang sangat menantang. Setelah kedua pilar rangka baja dibangun, proses pengangkatan girder dilakukan dengan metode peluncur (*launching girder*), kurang lebih sama dengan teknologi yang banyak digunakan saat ini.



Gambar 3 Pembangunan jembatan Tjisomang generasi pertama, 1906
(sumber: Wereld Museum)

Terowongan Sasaksaät yang dibangun tahun 1902 oleh Perusahaan Kereta Api Negara, Staatssporwegen (SS) merupakan keunggulan teknologi lain yang berada di jalur kereta api yang sama. Terowongan sepanjang 949 m ini dibuat dengan teknologi terowongan Belgia yang saat itu tergolong canggih dan cocok untuk penggalian di tanah lunak. Prosesnya adalah dengan melakukan galian secara manual per bagian secara berurutan. Untuk mencegah keruntuhan digunakan penyangga sementara dari kayu sebelum dipasang dinding pelapis (*lining*).

Di pertengahan abad kesembilan belas, meskipun mendapat tawaran gaji dan tunjangan yang sangat menarik, banyak insinyur Belanda yang enggan berkelana ke Hindia Belanda. Untuk mengisi kebutuhan insinyur pemerintah Hindia Belanda berupaya merekrut insinyur dari Belanda dan negara-negara lain, khususnya dari Eropa. Jumlah insinyur yang bekerja di departemen pekerjaan umum pemerintah Hindia Belanda berangsur meningkat dari 60 orang di tahun 1878 menjadi 202 di tahun 1934. Lonjakan yang cukup menonjol adalah tambahan 30 insinyur dari Bandoeng di tahun 1928. Hal ini menjadi bukti bahwa keberadaan Technische Hoogeschool te Bandoeng ditahun 1920 jelas memberi dampak pada kapasitas dan kemampuan rekayasa sipil, yang berlanjut hingga saat ini.



Gambar 4 Metode Belgia pada terowongan Sasaksaät, 1902
(sumber: Wereld Museum, Pattekar, 2020)

Masuknya tentara kekaisaran Jepang ke Indonesia sewaktu perang dunia kedua di tahun 1942 tidak mengubah peta sejarah perkembangan konstruksi, justru sebaliknya hasil pembangunan dari zaman sebelumnya malah berkurang. Selama 3,5 tahun penjajah Jepang tidak ada perubahan yang berarti dalam pembangunan infrastruktur dan konstruksi. Alih-alih bertambah, panjang jalur rel kereta api yang pada akhir tahun 1939 mencapai 6.811 km, di tahun 1950 justru berkurang 901 km. Ada dugaan bahwa kekurangan itu terjadi karena dibongkar untuk membuat jalur rel di Burma.

2.3 Dinamika Konstruksi pada Awal Kemerdekaan

Di tahun-tahun awal kemerdekaan, negara masih disibukkan dengan pembangunan kelembagaan politik dan pembangunan bangsa. Kondisi

perekonomian belum stabil dan tidak tersedia cukup dana untuk Pembangunan. Kecuali untuk pekerjaan rehabilitasi sederhana praktis hampir tidak ada proyek pembangunan konstruksi yang besar. Satu dekade berikutnya pada saat ekonomi mulai membaik, pemerintah mulai kegiatan pembangunan infrastruktur. Di awal tahun 1950-an beberapa proyek konstruksi besar mulai dikerjakan oleh perusahaan konstruksi Belanda yang telah dinasionalisasi. Selanjutnya perusahaan-perusahaan Belanda yang telah dinasionalisasi ini menjadi cikal bakal perusahaan konstruksi milik negara yang hingga kini menjadi andalan pemerintah dalam pelaksanaan berbagai proyek pembangunan infrastruktur dan perumahan. Perusahaan-perusahaan Belanda tersebut merupakan perusahaan konstruksi dengan spesialisasi tertentu, yang diharapkan menjadi pondasi penguasaan teknologi dan usaha konstruksi yang bermanfaat pada periode-periode pembangunan selanjutnya (Soemardi & Rivai, 2020).

Perusahaan-perusahaan konstruksi Belanda yang dinasionalisasi oleh pemerintah Indonesia tersebut adalah: “*Architecten, Ingenieurs en Aannemersbedrijf Associatie Selle en de Bruyn, Reyerse en de Vries N.V.*” atau disingkat (Associate N.V.) dinasionalisasi pada 11 Maret 1960 dan mengambil nama Perusahaan Negara Adhi Karya. Dua perusahaan konstruksi “*N.V Lindeteves Stokvis*” dan “*Fa. De Vri'es Robbé &Co.*”, yang berbasis di Semarang, bergabung menjadi “*NV. Constructie Werk Plaatsen De Vri'es Robbé Lindeteves*” atau disingkat Robbé Linde & Co. Perusahaan merger yang bergerak dalam kegiatan pabrikasi konstruksi baja ini akhirnya dinasionalisasi pada 1962 dan selanjutnya menjadi PT Amarta Karya pada 1972. Sebuah perusahaan swasta “*Hollandsche Beton Maatschappij*” dari Belanda dinasionalisasikan PT Hutama Karya, dan “*N.V. Nederlandsche Aannemingmaatschappij (NEDAM) v/h Fa. H.F. Boersma*” yang didirikan pada 1958 turut dinasionalisasi oleh pemerintah Indonesia dengan mengambil nama PN Nindya Karya. Selanjutnya, PT Waskita Karya adalah hasil nasionalisasi perusahaan bernama “*Volker Aanneming Maatschappij N.V.*” dan “*Naamloze Vennootschap Technische Handel Maatschappij en Bouwbedrijf Vis in Co.*” atau N.V. Vis Co. menjadi cikal bakal PT Wijaya Karya (WIKA).

Hingga akhir Orde Baru di tahun 1965, cukup banyak karya konstruksi yang dihasilkan oleh bangsa Indonesia. Proyek-proyek besar infrastruktur publik yang diprakarsai oleh pemerintah hampir seluruhnya dilaksanakan oleh perusahaan-perusahaan konstruksi milik negara. Untuk memenuhi

kebutuhan pembangunan gedung dan perumahan, pada tahun 1953 pemerintah mendirikan NV Housing Development yang selanjutnya pada tahun 1971 menjadi PT Pembangunan Perumahan. Dengan menggunakan dana kompensasi perang dari pemerintah Jepang, beberapa bangunan gedung modern mulai dibangun, di antaranya Hotel Indonesia, Bali Beach Hotel, Ambarukmo Palace Hotel, dan Samudera Beach Hotel.

Sebagai bagian dari persiapan Asian Games 1962, pemerintah Indonesia membangun fasilitas olahraga berskala besar, termasuk landmark Gelora Senayan, sekarang dikenal sebagai Gelora Bung Karno, yang menjadi salah satu stadion besar di dunia dengan kapasitas tempat duduk untuk 110.000 orang. Struktur bangunan ini dirancang oleh insinyur Uni Soviet dan sebagian didanai oleh pinjaman Uni Soviet. Bersamaan dengan itu, pembangunan Hotel Indonesia, Simpang Susun Semanggi, Gedung DPRD Senayan, dan Masjid Istiqlal yang megah juga menjadi bukti prestasi pembangunan nasional yang membanggakan. Tokoh rekayasawan yang memimpin pembangunan berbagai infrastruktur tersebut adalah alm. Ir. Sutami. Beliau mendapat kepercayaan untuk mewujudkan gagasan presiden pertama RI, Ir. Soekarno. Selama periode tersebut berbagai teknologi konstruksi modern berhasil diterapkan, seperti teknologi prestressing pada struktur cawan Monumen Nasional dan atap gedung DPR, atau teknologi pengangkatan pada struktur jembatan Ampera dan banyak lagi.

Tentu saja teknologi konstruksi modern tersebut tidak serta merta langsung dapat dikuasai dan diterapkan oleh insinyur-insinyur Indonesia, tetapi dibantu oleh para insinyur dan kontraktor asing. Bendungan Jatiluhur, yang dibangun antara 1957 dan 1964, dirancang dan dibangun dengan bantuan pemerintah Prancis. Dalam periode yang sama, Jembatan Ampera di Palembang pada 1962 dirancang dan dibangun dengan bantuan ahli-ahli rekayasa Jepang.

Keterlibatan insinyur dan kontraktor asing ternyata juga menjadi milestone tersendiri dalam praktik kerekayasaan dan konstruksi. Pembangunan gedung Wisma Nusantara memunculkan tantangan tersendiri. Sebagai struktur baja 30 lantai, gedung ini akan menjadi bangunan tertinggi di masanya. Awalnya dibangun tahun 1964, konstruksi gedung Wisma Nusantara sempat mengalami hambatan yang disebabkan oleh kondisi perekonomian dan gangguan politik. Pada akhirnya di tahun 1972 bangunan ini dapat

diselesaikan oleh kontraktor Jepang, Mitsui Construction, Co. Yang menarik dari proses pembangunan gedung ini adalah bahwa gedung tersebut dijadikan objek eksperimen. Oleh insinyur Jepang rancangan gedung tersebut didasarkan pada ketentuan (*code*) yang mengakomodasi beban gempa yang saat itu bahkan belum ada di Jepang.

Memasuki era orde baru hingga akhir tahun 1980-an, pemerintah mulai mendapat cadangan pendanaan berkat rezeki minyak, yang berdampak pada semakin maraknya kegiatan konstruksi. Sementara proyek-proyek konstruksi yang besar masih didominasi kontraktor milik negara, kontraktor swasta dan asing pun mulai meningkat perannya. Pada saat itu kerja sama dengan kontraktor asing mulai banyak dilakukan pada proyek-proyek besar. Untuk mengisi kesenjangan kemampuan sumber daya dan teknologi beberapa kontraktor besar mulai menjalin kemitraan dengan kontraktor asing, seperti PT PP-Taisei (1974), PT Hutama Takenaka Corp. Indonesia (1974), dan PT Waskita- Kajima JV pada 1975. Kerja sama ini hendaknya tidak didasarkan modal, tetapi berdasarkan prinsip berbagi keunggulan, terutama dalam aspek kerekayasaan dan teknologi.

2.4 Dinamika Konstruksi pada Masa Sebelum Reformasi

Perkembangan teknologi konstruksi tidak dapat dilepaskan dari dinamika industrinya. Di penghujung tahun 1990an terjadi krisis finansial di Asia yang menyebabkan perekonomian Indonesia melemah, yang mendorong semakin besarnya ketidakpuasan masyarakat Indonesia terhadap pemerintahan saat itu. Momentum reformasi di tahun 1998 tersebut dimanfaatkan oleh industri konstruksi Indonesia untuk merubah paradigma arah pengembangan dan tata kelola. Jika sebelumnya dinamika industri ini sangat tergantung pada kebijakan dan birokrasi pemerintah, maka melalui Undang-Undang No. 18 Tahun 1999 tentang Jasa Konstruksi arahnya berubah dan pemerintah tidak lagi menjadi satu-satunya pihak yang mengatur dan memimpin pembangunan industri konstruksi. Sebaliknya, Masyarakat Konstruksi, demikian sebutannya, yang menentukan nasibnya dan para pelaku konstruksi sendiri yang memikul beban pertanggungjawaban kepada negara. Secara eksplisit regulasi tersebut menyatakan bahwa pemangku kepentingan konstruksi tidak lagi terbatas pada pelaku transaksi antara pengguna

(pemberi tugas) dengan penyedia jasa (kontraktor), tetapi adalah masyarakat jasa konstruksi, sebagai bagian dari komponen masyarakat yang lebih luas.

Adanya undang-undang ini awalnya diharapkan dapat mewujudkan terbentuknya struktur usaha yang kokoh, andal, berdaya saing tinggi, dengan hasil pekerjaan yang berkualitas serta mewujudkan ketertiban penyelenggaraan konstruksi melalui pelibatan peran masyarakat dalam kegiatan konstruksi. Melalui kerangka regulasi ini diharapkan pelaku konstruksi nasional menjadi lebih cepat berkembang. Untuk mendukung pencapaian harapan tersebut pada tahun 1999 dibentuklah Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK), sebuah institusi independen yang mirip dengan CIDB Malaysia, BCA Singapura, dan banyak lembaga lain di banyak negara dengan tujuan untuk mempromosikan pengembangan industri konstruksi. Sayangnya setelah berjalan selama hampir 20 tahun cita-cita tersebut belum tercapai, bahkan memunculkan masalah sertifikasi yang menjadikan inisiatif awal reformasi di bidang industri konstruksi tersebut menjadi kontra-produktif. Pada akhirnya pada tahun 2017 perangkat regulasi tersebut digantikan dengan Undang-Undang No. 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi, dan pendulum kendali pembinaan jasa konstruksi kembali ke pihak pemerintah.

Selama pemberlakuan Undang-Undang No. 18 Tahun 1999, secara umum praktis tidak banyak terobosan aspek kerekayasaan dan teknologi konstruksi. LPJK yang diharapkan menjadi katalisator pengembangan industri konstruksi nasional belum berhasil berfungsi dengan baik, khususnya dalam hal penerapan dan pengembangan teknologi. Sehingga harapan usaha jasa konstruksi yang berdaya saing tinggi berlandaskan keunggulan kompetitif berbasis kompetensi (dan teknologi) belum terwujud. Sebagai gantinya kompetisi pasar konstruksi masih didasarkan pada upaya penawaran yang lebih rendah.

2.5 Dinamika Konstruksi pada Masa Setelah Reformasi

Pada periode awal tahun 1990-an ada upaya dari bangsa Indonesia untuk melakukan lompatan meningkatkan kemampuan teknologi pembangunan infrastruktur besar. Atas prakarsa Dr. B.J. Habibie mulai tahun 1992 dibangun serangkaian struktur jembatan yang menghubungkan pulau-pulau Batam, Rempang, dan Galang di kepulauan Riau. Rangkaian jembatan beton ini

menggunakan tipe dan metode konstruksi yang berbeda-beda, yang menjadi testbed untuk menguji kemampuan rekayasa dan konstruksi jembatan bentang panjang.

Meskipun pada waktu itu banyak kritikan terhadap kelayakan pembangunan infrastruktur tersebut, keberhasilan pelaksanaan proyek jembatan Bareleng menjadi dasar penguasaan pengetahuan dan teknologi konstruksi di Indonesia. Selanjutnya modal pengetahuan dan pengalaman di jembatan Bareleng diterapkan pada konstruksi jembatan bentang panjang lainnya, seperti jembatan Prof. Dr. Mochtar Kusumaatmadja atau Pasopati di Bandung tahun 2005, jembatan Suramadu di tahun 2009 dan beberapa jembatan lain di Sumatra dan Kalimantan.



Gambar 5 *Jembatan Cable-Stayed Tengku Fisabilillah*
(sumber: toffee spin, <https://www.flickr.com/photos/59412060@N00/111266150>)

Pada masa pemerintahan presiden Joko Widodo upaya pembangunan ekonomi dan bangsa dilakukan berdasarkan prinsip penyediaan layanan yang handal bagi seluruh komponen masyarakat dan sektor industri. Dalam hampir 10 tahun terakhir ini infrastruktur sebagai tulang punggung pembangunan kapasitas dan kualitas layanan publik telah dilakukan secara intensif dan mendapatkan peningkatan alokasi pendanaan yang sangat lebih besar dibandingkan dengan alokasi pendanaan di tahun-tahun sebelumnya. Investasi masif pemerintah di sektor infrastruktur publik termanifestasi

dalam beragam jenis konstruksi, ukuran dan kompleksitas proyek-proyek konstruksi. Dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019 dan 2024-2024 investasi tersebut dialokasikan berdasarkan penetapan berbagai Proyek Strategis Nasional (PSN) dan Proyek Prioritas yang menjadi tanggung jawab berbagai kementerian.

Seiring dengan itu, untuk menciptakan iklim usaha yang lebih kondusif pemerintah telah menerapkan berbagai langkah kebijakan menyederhanakan birokrasi penyelenggaraan infrastruktur yang tujuannya mendorong sektor swasta untuk berperan lebih besar pada investasi pembangunan infrastruktur. Berbagai langkah inovatif, seperti metode penyelenggaraan proyek (*project delivery method*) modern, serta beragam skema kerja sama dan insentif investasi telah diterapkan. Masalah-masalah klasik seperti birokrasi antar lembaga terkait perijinan dan kemampuan pendanaan telah diupayakan solusinya dalam bentuk kebijakan dan/atau pembentukan lembaga khusus seperti PT Penjaminan Infrastruktur Indonesia (PII).

Keberadaan proyek-proyek strategis nasional dan prioritas telah cukup berhasil mendongkrak iklim usaha konstruksi nasional. Sementara sektor swasta masih belum berperan lebih besar, maka beban pembangunan infrastruktur nasional lebih banyak ditanggung oleh kontraktor-kontraktor badan usaha milik negara. Meningkatnya beban usaha ini, baik yang diperoleh melalui persaingan atau mekanisme penugasan langsung, mempunyai implikasi yang sangat besar pula bagi BUMN Karya. Di satu sisi, dalam keterbatasan kapasitas, beban ini menjadi tambahan tekanan bagi perusahaan, tetapi di sisi lain keterlibatan BUMN Karya pada proyek-proyek infrastruktur strategis merupakan peluang besar untuk meningkatkan kapasitas kemampuan profesionalisme dalam pelaksanaan konstruksi.

Proyek-proyek infrastruktur dalam skala besar dan kompleks membutuhkan kemampuan penguasaan metode pengelolaan proyek yang lebih canggih dan akurat. Hal yang sama dengan kemampuan kerekayasaan dan penguasaan teknologinya. Selain upaya peningkatan kapasitas diri melalui investasi pada organisasi, sumber daya manusia, metode dan peralatan, pemenuhan terhadap tuntutan kemampuan tersebut dapat pula dilakukan dalam bentuk *load-sharing* dan *resource-sharing* melalui skema kerja sama antar-badan usaha, baik dari dalam maupun luar negeri.

Proyek pembangunan kereta cepat Jakarta Bandung (KCJB) kerja sama antara perusahaan Indonesia dan perusahaan Cina merupakan contoh yang baik dalam membahas teknologi konstruksi. Proyek ini adalah realisasi dari gagasan sabuk dan jalan (*Belt and Road Initiative*) yang dicanangkan presiden Cina Xi Jinping di tahun 2013. Pada akhirnya proyek ini diselesaikan pada Agustus 2023, terlambat lebih dari setahun dari rencana semula dan mengalami *cost overrun* hingga 32% dari anggaran awal. Keterlambatan tersebut juga disebabkan terjadinya pandemi Covid-19. Uraian lebih rinci tentang proyek ini telah disampaikan dalam artikel berjudul *China's Belt and Road Initiative in Indonesia: A case Study of the Jakarta-Bandung High-speed Rail* (Soemardi & Chan, 2022).

Skema penyelenggaraan proyek ini pun termasuk unik dalam bentuk kerja sama skema *business-to-business*, di mana kepemilikan proyek dan pelaksanaannya adalah entitas yang sama, yang terdiri dari konsorsium badan usaha Indonesia dan Cina. Proyek yang dimulai tahun 2016 ini diselenggarakan dengan skema konstruksi terintegrasi rancang bangun atau *Engineering, Procurement and Construction* (EPC) oleh PT KCIC (Kereta Cepat Indonesia Cina), anak perusahaan gabungan dari konsorsium Indonesia, PT Pilar Sinergi BUMN Indonesia (60% saham), dan konsorsium Tiongkok, Beijing Yawan HSR Co Ltd (40% saham).

Sebagai proyek pertama di Indonesia, bahkan di Asia Tenggara, pembangunan infrastruktur jalan rel ini menghadirkan tantangan tersendiri. Pertama, proyek ini adalah proyek yang mengandung teknologi terkini di bidang transportasi jalan rel. Lingkup proyeknya sendiri tidak sekedar pembangunan infrastruktur jalan rel, tetapi lebih luas dan kompleks dalam koridor rencana pengembangan wilayah *transit-oriented development* (TOD). Selain itu skema pendanaan dan penyelenggaraannya juga dapat dikatakan rumit karena menyangkut sistem dan struktur kelembagaan yang kompleks. Meskipun awalnya dicanangkan akan sepenuhnya dibiayai oleh pihak swasta dalam bentuk kerja sama B2B, pada akhirnya pemerintah Indonesia juga harus berperan lebih banyak. Untuk hal terakhir ini masalah kepastian ketersediaan lahan menjadi tantangan tersendiri yang tidak dapat diselesaikan oleh kontraktor Cina yang sangat berpengalaman sekalipun.

Proyek kereta cepat Jakarta Bandung (KCJB) ini mencakup pembangunan jalur rel pada trase Jakarta Bandung sepanjang 142,3 km, 13 buah terowongan

sepanjang 16 km dan 82 km berupa jembatan (*elevated structure*), serta sisanya *subgrade* (di atas tanah). Dari aspek teknis kompleksitas proyek ini tercermin pada ketidakpastian yang sangat tinggi, yang tidak saja menyangkut aspek-aspek teknis yang terkait dengan kondisi geologis, tetapi juga pabrikasi komponen dan instalasi serta *cost overrun* aspek logistik dan transportasi. Keberhasilan kontraktor Cina yang berpengalaman membangun ratusan bahkan ribuan kilometer jaringan infrastruktur kereta cepat di Cina ternyata menemui banyak hambatan.

Berikut gambaran singkat beberapa contoh penerapan teknologi pada proses konstruksi infrastruktur jalan rel pada proyek KCJB. Yang patut dicatat dalam proses tersebut adalah tingginya intensitas mekanisasi, yang didominasi penggunaan alat peralatan-peralatan konstruksi yang khusus didatangkan dari Cina.

Elevated structure yang berupa rangkaian *box girder* yang dipasang di antara tiang penyangga (*piers*) pemasangannya dilakukan dengan menggunakan *box girder erection machine* bermerek Jiang Su dengan tipe JQ 900E dengan kapasitas angkat mencapai 900 ton hingga ketinggian 8 meter. Kaki alat pengangkat ini diletakan di atas pier yang telah terpasang secara in-situ.



Gambar 6 *Launching box girder pada proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung*
(sumber: koleksi pribadi)

Penggunaan alat bantu ini selain mengurangi potensi gangguan lalu lintas yang padat di jalur tol Jakarta Cikampek dan wilayah Kota Bandung juga memberikan produktivitas yang tinggi dengan kecepatan angkat mencapai 0,8 sampai 0,9 meter/menit. Metode yang sama juga diterapkan pada pemasangan girder di atas jembatan yang tinggi di daerah Padalarang.

Proses pemasangan box girder merupakan bagian dari rangkaian pemasangan pier secara in-situ, produksi girder di casting yard, yang kemudian diangkut ke lokasi pemasangan. Proses ini dilakukan berulang dalam suatu siklus produksi dan pemasangan seperti pada kegiatan manufaktur. Proses pengangkutan box girder dari lokasi pabrikasi ke posisi pemasangan dilakukan secara efisien dengan alat angkut *multi axle transporter* yang memiliki jumlah roda hingga 200 buah. Alat ini mengangkut *box girder* menelusuri trase di atas struktur subgrade atau sepanjang rangkaian girder yang telah terpasang.

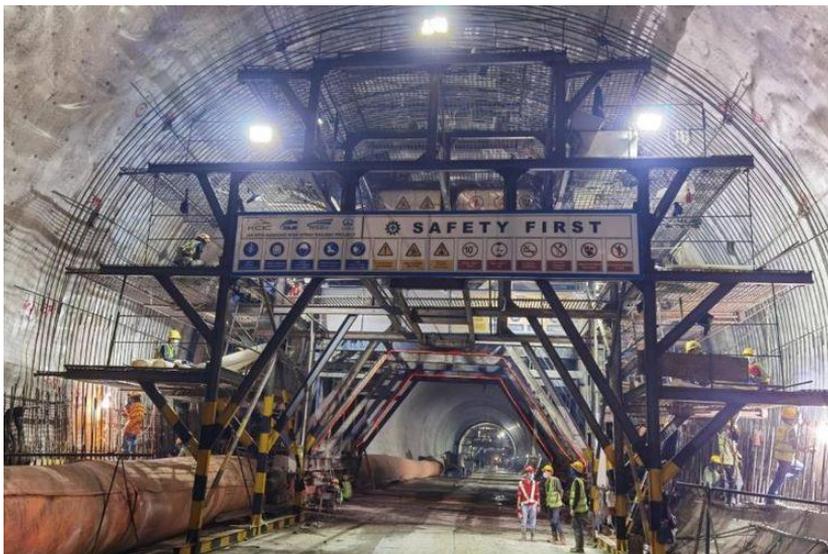


Gambar 7 *Multi axle transported pada proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung*
(sumber: koleksi pribadi)

Proyek KCJB mempunyai beberapa *casting yard* untuk memproduksi elemen-elemen girder pracetak dan lining untuk dinding terowongan. Semua

fasilitas dilengkapi dengan *batching plant* dan fasilitas laboratorium uji sebagaimana layaknya sebuah fasilitas produksi manufaktur.

Pembangunan terowongan yang berjumlah 13 buah dilakukan dengan metode yang berbeda-beda disesuaikan dengan karakteristik geologi batuan atau kondisi lingkungan. Kecuali terowongan no. 1, kedua belas terowongan KCJB proses pengerjaannya dilakukan dengan menggunakan metode NATM (*New Austrian Tunnel Method*) atau *Sequential Tunneling Method* (STM). Metode pembuatan terowongan ini dimulai dengan tahap penggalian secara bertahap yang diikuti dengan pemasangan lapisan beton semprot (*shotcrete concrete lining*) atau ankur (*rock bolt*) sebelum akhirnya ditutup dengan lapisan beton penutup (*concrete lining wall*). Tergantung pada jenis tanahnya, jika diperlukan maka proses penggalian dilakukan dengan cara peledakan batuan (*drill & blast*). Metode NATM seperti ini sudah banyak dikenal dan diterapkan pada berbagai pekerjaan pembuatan terowongan seperti pada terowongan pengelak proyek bendungan Cirata di tahun 1982 hingga 1987, atau pada proyek pembuatan jalan seperti di jalan tol Cisumdawu di daerah Sumedang tahun 2023 yang lalu.



Gambar 8 Perancah pada pekerjaan pemasangan rock bolt dan shotcrete lining (sumber: China Railway No. 3 Engineering. Group Co., Ltd.)

Jika terowongan no. 6 yang dikerjakan dengan metode NATM menjadi terowongan kereta terpanjang di Indonesia dengan panjang 4.478 meter, maka terowongan no. 1 sepanjang 1.885 meter memegang rekor tersendiri

sebagai TBM terbesar yang pernah digunakan di Asia Tenggara. Karena harus dibangun di bawah jalur jalan tol Jakarta Cikampek, agar tidak mengganggu lalu lintas di atasnya maka digunakan metode penggalian dengan TBM (*tunnel boring machine*). Meskipun bukan menjadi yang pertama di Indonesia, diameter TBM ini lebih besar daripada TBM yang digunakan pada proyek MRT Jakarta. Sistem TBM berdiameter 13,32 meter dengan panjang 102,3 meter dan bobot 2.600 ton didatangkan langsung dari Cina.

Meskipun sepenuhnya masih dikerjakan oleh kontraktor Cina, setelah proyek MRT, kembali kontraktor lokal (PT Wijaya Karya) dan praktisi serta pakar konstruksi Indonesia berkesempatan melihat bagaimana proses persiapan, pengoperasian hingga pembongkaran mesin dengan teknologi canggih seperti ini.



Gambar 9 Instalasi TBM terowongan no. 1 pada proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung (sumber: KCIC)

Pelaksanaan pembangunan kereta cepat Jakarta Bandung dapat dianggap sebagai salah satu milestone penting dari kegiatan kerekayasaan dan teknologi konstruksi di Indonesia. Kerja sama antara kontraktor lokal dengan kontraktor asing dalam satu paket pekerjaan rancang dan bangun secara terintegrasi yang melibatkan penggunaan berbagai peralatan teknologi canggih menjadi modal penting dalam meningkatkan kapasitas kontraktor dan insinyur lokal dalam menyongsong proyek-proyek sejenis di masa

mendatang. Namun demikian proyek KCJB ini bukan satu-satunya proyek infrastruktur yang layak mendapat perhatian. Saat ini pemerintah telah memulai pelaksanaan pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara di Kalimantan Timur.

Proyek IKN adalah suatu upaya kerecakasaan yang penuh dengan tantangan yang kompleks, mulai dari lokasinya, hingga ukuran serta ragam infrastruktur yang akan dibangun. Lokasi tentunya menjadi tantangan utama yang harus dijawab, selain terkendala akses, kondisi lahan juga menambah beban pelaksanaan konstruksi yang harus dilaksanakan dalam waktu relatif sangat singkat. Pada waktu bersamaan berbagai proyek infrastruktur, (gedung, perumahan, jalan, jaringan air bersih dan drainase, serta objek infrastruktur lainnya) harus dilaksanakan, yang mengakibatkan munculnya benturan dan persaingan dalam mendapatkan pasokan sumber daya. Pengelolaan tugas pembangunan yang kompleks seperti ini memerlukan pendekatan yang tidak biasa dan hanya dapat diselesaikan dengan cara-cara inovatif. Salah satu langkah inovatif yang diambil adalah kebijakan pemanfaatan teknologi BIM untuk koordinasi antara proyek – antar wilayah. Fasilitas *clash detector* pada BIM dimanfaatkan untuk menghindari potensi konflik ruang.

Kendala waktu yang sangat sempit juga memaksa kontraktor untuk berinovasi. Dengan sasaran upacara ulang tahun hari kemerdekaan Republik Indonesia ke 79 dapat dilaksanakan di IKN, maka pendekatan tradisional bukan menjadi pilihan. Semua kontrak pekerjaan konstruksi di IKN dilakukan dalam bentuk rancang-bangun, yang memungkinkan tahap perancangan dan pembangunan dilakukan hampir secara paralel. Selain itu, untuk mempersingkat pengadaan tempat hunian bagi para pekerja konstruksi maka teknologi konstruksi modular juga diterapkan. Dan hasilnya 22 menara yang mampu menampung hampir 15.000 pekerja dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 6 bulan saja.

Teknologi modular sebelumnya juga pernah diterapkan pada proyek pembangunan fasilitas rumah sakit khusus perawatan Covid-19 di pulau Galang, Riau, dan di Tanjung Duren, Jakarta. Meskipun menjanjikan pelaksanaan yang jauh lebih cepat dari konstruksi konvensional, pembangunan dengan cara modular mempunyai kendala tersendiri. Sama seperti metode pra-cetak, elemen-elemen bangunan dikerjakan di bengkel

kerja, yang selanjutnya dikemas dan dikirim ke lokasi untuk dirangkai dan dipasang. Perbedaan lokasi ini memunculkan tantangan tersendiri dalam aspek transportasi dan logistik.



Gambar 10 *Konstruksi modular hunian pekerja konstruksi IKN*
(sumber: koleksi pribadi)

2.6 Belajar dari Sejarah

Sejak sebelum bangsa Eropa memperkenalkan teknologi modern, nenek moyang kita telah berhasil menciptakan berbagai karya monumental dengan cara dan teknologi mereka sendiri. Setiap zaman menghasilkan karya yang berbeda, dan setiap karya dicapai dengan cara yang berbeda pula. Akumulasi pengetahuan dan pengalaman membawa manusia untuk menghasilkan sesuatu dengan lebih baik. Tetapi apakah pemeo ini benar adanya, karena di kalangan masyarakat sering terdengar ucapan “bangunan zaman Belanda lebih baik dari bangunan yang kita buat sekarang.” Sementara jawab terhadap pertanyaan tersebut akan terus didebatkan, mungkin kita harus melihat dan memahami kembali di mana pembeda yang berarti dari dua produk yang dihasilkan pada dua masa yang berbeda.

Di masa lalu orang yang bertanggung jawab dalam merencanakan dan merancang suatu bangunan juga adalah orang yang membangun, atau paling tidak terlibat langsung selama proses pembangunannya, yang dikenal dengan istilah *master builder*. Seiring perubahan zaman karena alasan spesialisasi dan

akuntabilitas (*check & balance*), profesi perancang dan pembangun lambat laun semakin terpisah dan hubungan kesesuaian ide perancangan dengan penerapannya menjadi semakin jauh, bahkan tidak jarang menjadi bertentangan. Jika di zaman Belanda dan di awal kemerdekaan para insinyur perancang masih intens terlibat pengawasan selama proses konstruksi, saat ini praktik seperti itu semakin lama menjadi semakin berkurang.

Metode penyelenggaraan proyek secara rancang-lelang-bangun (*design-bid-build*) menjadi tidak efektif manakala supervisi saat pelaksanaan pembangunannya tidak lagi mampu membawa ide dan konsep dasar perancangan. Supervisi hanya terbatas pada mencocokkan apa yang tertuang dalam gambar dan spesifikasi teknis dengan apa yang dikerjakan/dibangun, tanpa mempertimbangkan dengan lebih bijak kondisi dan karakteristik lapangan.

Penerapan konsep rancang-bangun terintegrasi (*design-build* atau *EPC*) memaksa kembali keterpaduan antara kedua tahap tersebut. Konsekuensinya, pihak perancang harus pula lebih peka dengan isu-isu lapangan dan memasukkannya menjadi faktor yang dipertimbangkan dalam merumuskan keterbangunan (*constructability*) suatu rancangan. Sebaliknya pihak pelaksana (kontraktor) juga harus dilengkapi dengan kapasitas pengetahuan dan kompetensi yang cukup dalam aspek-aspek kerekayasaan dan teknik membangun dan bukan lagi sekedar menjadi operator pelaksana yang hanya peduli dengan aspek-aspek manajerial dan pembiayaan saja. Pemahaman yang lebih baik terhadap aspek kerekayasaan juga membuka peluang bagi kontraktor untuk berinovasi dalam upaya menambah nilai produknya, misalnya dengan cara melakukan *value engineering*.

3 MENINGKATAN KEMAMPUAN KEREKAYASAAN DAN TEKNOLOGI KONSTRUKSI DI MASA DEPAN

3.1 Makna dari Kata

Bagi masyarakat umum kata ‘teknologi’ dan ‘rekayasa’ adalah dua dari banyak kata atau istilah yang sulit untuk dijelaskan. Umumnya jika mendengar kata teknologi yang terbayang adalah suatu objek yang mempunyai fitur canggih, modern atau representasi dari peralatan atau mesin-mesin. Hal yang sama berlaku untuk kata rekayasa yang diasosiasikan dengan cara, teknik atau sesuatu yang berhubungan dengan penciptaan objek-objek, alat atau permesinan. Menurut prof Sahari Besari, rekayasa didefinisikan sebagai organisasi pengetahuan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah secara optimal. Menurut definisi ini maka penggunaan kata rekayasa tidak harus selalu dikaitkan dengan hal-hal yang bersifat keteknikan, sehingga dikenal berbagai istilah yang menggunakan jargon rekayasa, seperti rekayasa sosial, rekayasa keuangan dan lain sebagainya. Sementara itu banyak sekali penjelasan atau definisi dari teknologi, tetapi secara umum dapat dinyatakan bahwa teknologi adalah penerapan pengetahuan ilmiah untuk tujuan praktis, khususnya di industri.

Meskipun tampaknya sepele, dalam membahas hal-hal yang terkait dengan konstruksi pemahaman makna dari dua kata tersebut menjadi penting artinya. Bahkan dalam konteks keilmuan rekayasa sipil sering kali masih tidak dibedakan atau tertukar makna dari kata ‘struktur’ dengan ‘konstruksi.’ Apa beda atau mana yang lebih tepat digunakan kata struktur beton dengan konstruksi beton untuk menjelaskan karakteristik suatu bangunan.

Di Indonesia, dan mungkin juga di banyak negara lain, keilmuan atau pengetahuan tentang konstruksi umumnya dikaitkan dengan pengelolaan atau manajemen, yang menjadikan istilah manajemen konstruksi menjadi populer. Pandangan ini tidak salah, meskipun tetap harus diingat bahwa objek yang dikelola adalah sesuatu yang terkait erat dengan kerekayasaan. Di bagian awal tulisan ini telah disampaikan argumen yang menegaskan perlunya pembedaan antara manajemen konstruksi dengan rekayasa konstruksi. Hal ini dimaksudkan untuk mempertegas pentingnya

kemampuan rekayasa dan teknologi sebagai bagian dari kompetensi pengelolaan konstruksi.

Pada dasarnya lingkup rekayasa konstruksi serupa dengan rekayasa struktur atau rekayasa lain dalam kelompok keilmuan/pengetahuan rekayasa sipil. Jika rekayasa struktur berurusan dengan perancangan struktur suatu objek, maka rekayasa konstruksi fokus pada aspek rekayasa dari proses pengawasan dan pengelolaan proyek-proyek rekayasa skala besar dan kompleks. Dengan demikian maka istilah rekayasa konstruksi dapat dimaknai sebagai kegiatan rekayasa (perancangan, evaluasi) yang terkait dengan kegiatan pelaksanaan konstruksi. Lalu bagaimana dengan istilah teknologi konstruksi? Menurut Construction Industry Institute (CII), istilah teknologi konstruksi mengacu pada kumpulan peralatan inovatif, permesinan, modifikasi, perangkat lunak, dan lain-lain yang digunakan selama fase konstruksi suatu proyek yang memungkinkan kemajuan dalam metode konstruksi lapangan, termasuk peralatan konstruksi semi-otomatis dan otomatis.

Keterkaitan teknologi dan rekayasa konstruksi selanjutnya dapat diuraikan sebagai berikut. Teknologi konstruksi adalah wujud penerapan praktis pengetahuan ilmiah dalam berbagai kegiatan rekayasa pada tahap konstruksi untuk meningkatkan kinerja pelaksanaan, khususnya produktivitas, konstruksi di lapangan. Tahap konstruksi di sini tidak dibatasi pada kegiatan fisik di lapangan saja, tetapi juga kegiatan-kegiatan rekayasa sebelum (perencanaan dan perancangan) serta setelah (evaluasi) konstruksi. Deskripsi ini menjadikan teknologi konstruksi dapat digunakan untuk menjembatani celah antara tahap perancangan dengan tahap konstruksi, sehingga konsep inovatif seperti penyelenggaraan proyek secara terpadu (*integrated project delivery*), prafabrikasi, industrialisasi, *digital twin* dan berbagai konsep inovatif modern lainnya dapat direalisasikan di industri konstruksi. Untuk merealisasikan teknologi sebagai motor penggerak industri konstruksi, maka perlu diketahui posisi teknologi saat ini, kebutuhan teknologi dan peluang pengembangannya di masa mendatang.

Penilaian teknologi dapat digunakan untuk membantu menghasilkan teknologi tepat guna yang diperlukan untuk mencapai keberlanjutan di sektor konstruksi (van Egmond dkk 2021). Pemahaman terhadap kecenderungan global terhadap penerapan teknologi akan membantu organisasi konstruksi,

khususnya bagi kontraktor, untuk melihat peluang dari investasi dalam teknologi yang dinilai akan bermanfaat (Chen, dkk, 2021), termasuk dalam adopsi teknologi kecerdasan buatan (Regona, dkk, 2022).

Teknologi memberi peluang bagi industri untuk meningkatkan kinerja konstruksi, mulai dari tingkat produktivitas proyek, perusahaan, hingga keseluruhan rantai pasok industri. Sebuah survei yang dilakukan oleh McKinsey Global Institute menemukan banyak penyebab tetap rendahnya kinerja industri konstruksi, mulai dari ketergantungan terhadap permintaan sektor publik, industri yang terfragmentasi, hingga keterampilan yang tidak memadai serta kurangnya investasi dan pengembangan dalam SDM, R&D dan inovasi (Barbosa, dkk, 2017a). Dari 7 hal yang ditengarai oleh Barbosa, Mischke & Parsons (2017b) sebagai cara untuk meningkatkan produktivitas, empat di antaranya erat berhubungan dengan teknologi

Untuk mendapatkan gambaran umum tentang penerapan dan pengembangannya, berikut disajikan uraian singkat tentang beberapa contoh teknologi konstruksi di Indonesia.

3.2 Kajian Pengembangan dan Penerapan Teknologi Konstruksi

3.2.1 Inovasi dan Strategi Penerapan Teknologi Konstruksi di Indonesia

Terkait dengan perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia, ada beberapa hal yang dapat dijadikan catatan penting. Hal penting pertama adalah inovasi. Awalnya banyak khalayak yang skeptis dan menyatakan bahwa inovasi apalagi inovasi konstruksi adalah hal yang sulit dilakukan. Argumen yang diajukan adalah bahwa proyek konstruksi tidak dapat dijadikan eksperimen. Proyek-proyek konstruksi umumnya berskala besar, mahal dan mempunyai risiko yang lebih tinggi dibandingkan kegiatan di industri lain seperti manufaktur. Jika dicermati sebenarnya ada banyak inovasi di konstruksi, baik di tataran manajemen organisasi hingga tingkat kegiatan operasional. Umumnya inovasi yang dilakukan skalanya relatif kecil dan sederhana sehingga luput dari pengamatan dan tidak dianggap sebagai inovasi tetapi lebih pada bentuk peniruan.

Sekitar tahun 1987 pada saat pembangunan jalan layang Cawang sampai Tanjung Priok di Jakarta tantangan utama yang harus dihadapi adalah lalu lintas. Diilhami mekanisme dongkrak hidrolik saat memperbaiki mobilnya Ir. Tjokorda Raka Sukawati dengan cerdas berhasil menciptakan teknologi Landasan Putar Bebas Hambatan (LPBH) Sosrobahu untuk mencegah kemacetan jalan. Penemuan istimewa ini telah mendapatkan paten. LPBH selanjutnya diterapkan pada proyek pembangunan tol Layang Sheikh Muhammed Bin Zayeed (MBZ) bahkan di Filipina pada pembangunan Metro Manila Skyway dari Buendia ke Alabang, dan negara-negara Malaysia, Thailand dan Singapura.

Inovasi lain yang patut dihargai adalah metode konstruksi terowongan Antareja pada proyek pembangunan *underpass* Dukuh Atas Jakarta. Inovasi ini adalah hasil kreasi Prof. Wiratman yang idenya serupa dengan metode *shield tunnel* di pertambangan. Metode Antareja menggunakan rangkaian segmen-segmen box beton yang didorong ke dalam tanah, yang berfungsi sebagai perisai dinding dan atap penahan tanah sementara penggalian dilakukan di bagian tengahnya. Adanya perisai ini memungkinkan galian dilakukan tanpa harus mengganggu lalu lintas di atasnya. Karya Prof. Wiratman ini memperoleh paten No. ID 0 009 677 di tahun 2004 dengan judul Rangkaian Kotak Terowongan Beton Pracetak yang dapat menembus Tanah secara Mandiri dan Metode Pendorongnya - Metode Antareja (Wiratman, 2011).

Tentunya masih ada banyak lagi inovasi konstruksi pada proyek-proyek konstruksi, termasuk teknologi bangunan modular MoBox Plug & Play dan GW FlatPack. Apapun inovasinya, teknologi konstruksi yang diciptakan seluruhnya berkaitan erat dengan prinsip-prinsip rekayasa, sehingga dapat disimpulkan bahwa kemampuan rekayasa merupakan syarat penting bagi menciptakan teknologi inovatif.

Hal penting kedua adalah strategi. Setiap organisasi mempunyai karakteristik, keunggulan dan batasan yang berbeda. Masing-masing kontraktor mempunyai pendapat yang berbeda tentang faktor yang dinilai penting dalam mengelola teknologinya (Soemardi, dkk., 2020).

Analisis multivariat terhadap kedua kelompok kontraktor menunjukkan adanya kesamaan dalam menilai faktor-faktor penting dalam mengembangkan kapasitas teknologi yang mencakup memperoleh, memanfaatkan dan mengembangkan teknologi. Hal yang sedikit berbeda terletak pada faktor

pengembangan kapasitas, eksplorasi, akuisisi dan kemampuan teknologi. Ini mengindikasikan bahwa meskipun mereka menganggap penting mempunyai strategi kontraktor menengah lebih kurang tertarik dalam meningkatkan kemampuan pengelolaan teknologi. Alasan utamanya adalah investasi yang dianggap mahal dan belum diperlukan. Sebaliknya kontraktor besar, terutama BUMN Karya sudah lebih berani untuk berinvestasi dalam teknologi.

Tabel 2 Tingkat kepentingan faktor dalam menentukan kemampuan pengelolaan teknologi

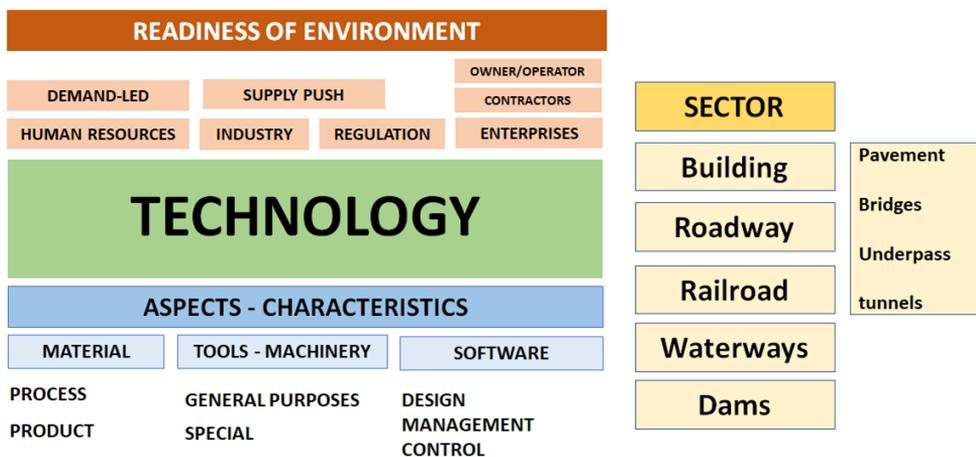
No.	Variabel	Kontraktor Besar	Kontraktor Menengah	Semua Kontraktor
1	Lingkungan Usaha	3,00	2,76	2,87
2	Strategi Perusahaan	4,00	4,15	4,08
3	Pengembangan Kapasitas Teknologi	4,96	3,35	3,35
4	Eksplorasi Teknologi	3,85	2,89	2,89
5	Akuisisi Teknologi	3,37	2,46	2,46
6	Internalisasi Teknologi	3,37	2,61	2,61
7	Kemampuan Teknologi	3,80	2,87	2,87
8	Kinerja Perusahaan	4,13	3,76	3,93
	Rerata	3,81	3,11	3,39

3.2.2 Perumusan Lanskap Teknologi Konstruksi di Indonesia

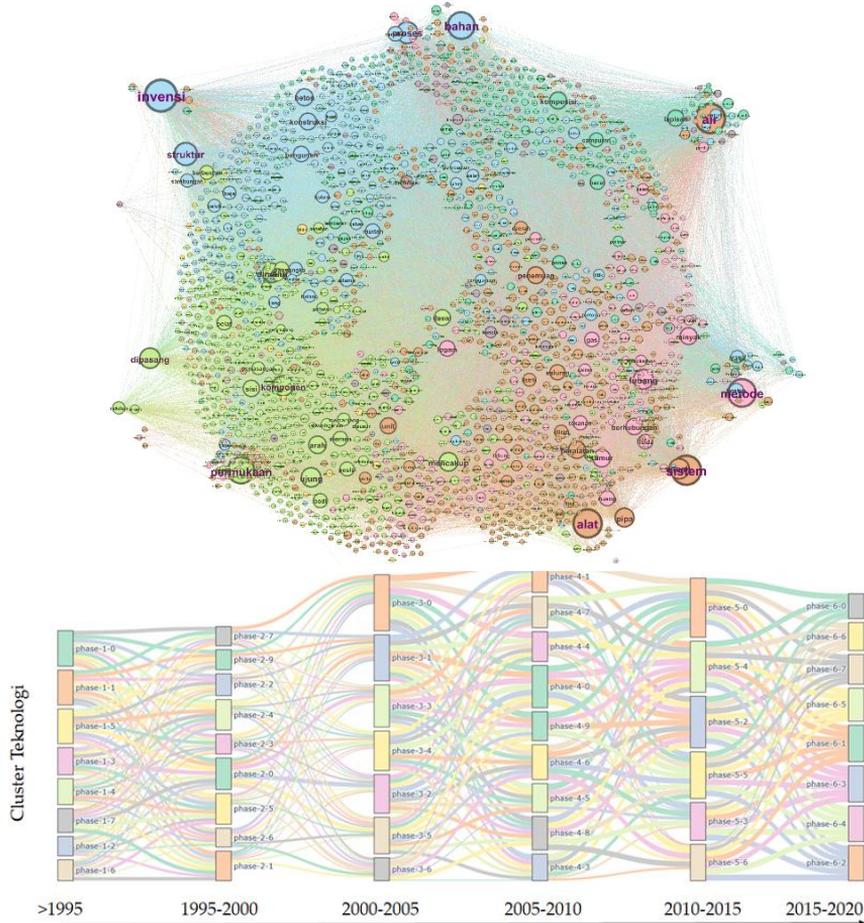
Pertanyaan penting terkait dengan bagaimana mendorong penerapan teknologi di industri konstruksi merupakan hal penting yang perlu segera dijawab. Banyak bentuk teknologi baru yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas, efektivitas biaya, keselamatan dan keberlanjutan konstruksi, dan memilih yang sesuai dengan kebutuhan organisasi bukanlah hal yang mudah. Untuk memilihnya diperlukan strategi yang mencakup mekanisme evaluasi (Skibniewski & Chao, 1992) dan pertimbangan terhadap kapasitas organisasi (Sobanky dkk, 2014), hubungan teknologi dan kinerja organisasi (Tsai & Wang, 2008), kemampuan belajar organisasi (Oti-Sarpong & Leiringer, 2016).

Gambaran tentang teknologi konstruksi akan membantu menjelaskan bagaimana suatu teknologi diadopsi oleh kontraktor, bagaimana digunakan untuk menyelesaikan masalah atau bahkan digunakan untuk memperoleh gambaran tentang kebutuhan teknologi di masa mendatang. Aspek-aspek yang akan tergambarkan dalam lanskap ini adalah kesiapan lingkungan dan karakteristik teknologi, yang akan dikategorikan dalam sektor-sektor pembangunan (Pradoto, dkk., 2022, Hidayat dkk., 2022)

Upaya untuk merumuskan lanskap teknologi konstruksi tengah dilakukan. Perumusan lanskap ini didasarkan pada tiga langkah utama: 1) pencarian-pengumpulan data, 2) pengelompokan teknologi, dan 3) penyajian lanskap. Pengumpulan data dilakukan terhadap data yang tersedia di berbagai media yang dapat diakses lewat internet. Berdasarkan karakteristik volume data yang besar dan format yang beragam, untuk penelusuran, pengumpulan dan pengelompokan data dengan menggunakan metode Big Data Analytics. Pengelompokan teknologi dilakukan melalui dua tahap yaitu perumusan berdasarkan model-model yang ada, dan kemudian pada tahap berikutnya dilakukan konfirmasi melalui pendekatan survei pendapat praktisi dan pelaku industri konstruksi. Langkah terakhir adalah perumusan lanskap yang akan disusun berdasarkan masukan praktisi dan pelaku konstruksi.



Gambar 11 Kerangka kerja pengembangan teknologi konstruksi



Gambar 12 Contoh penelusuran data untuk pembentukan pengelompokan teknologi

Gambar 12 di bagian atas mengindikasikan adanya korelasi antara beberapa kata kunci yang merupakan karakteristik pembentuk kelompok teknologi, sementara gambar di bawahnya menggambarkan bagaimana karakteristik tersebut berubah sehingga membentuk kelompok teknologi yang baru. Hingga saat ini sedang dilakukan perumusan mekanisme pengelompokan teknologi berdasarkan pengelompokan yang umum digunakan di berbagai negara dan dengan mendapat masukan dari kalangan praktisi serta akademisi di bidang rekayasa sipil dan konstruksi.

Sementara penelitian ini masih pada tahap awal, dengan pendekatan konvensional untuk kalangan terbatas, informasi tentang inovasi pengembangan teknologi konstruksi juga telah dimulai oleh Kementerian BUMN (2021). Teknologi-teknologi yang tercatat dalam dokumen tersebut

merupakan hasil penelitian dan pengembangan perusahaan-perusahaan milik negara yang dilakukan oleh unit internal bekerja sama dengan lembaga penelitian perguruan tinggi lembaga penelitian swasta.

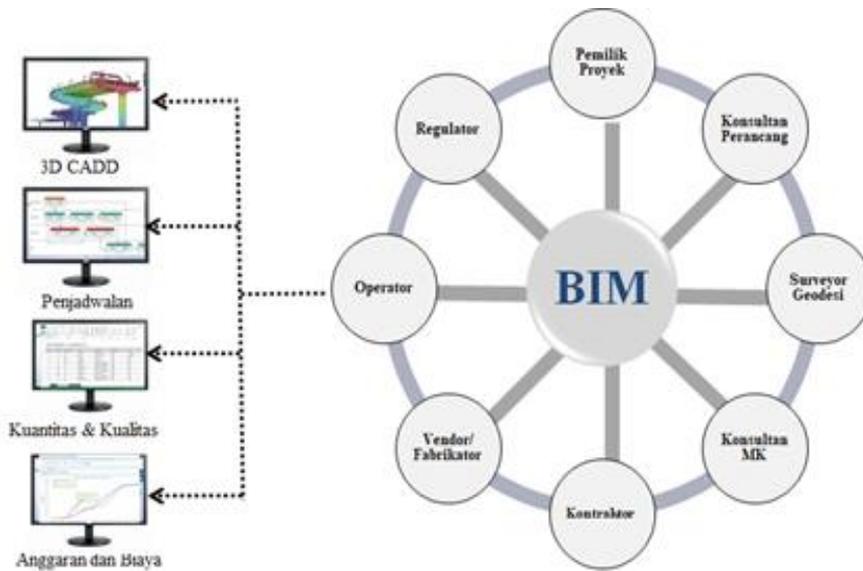
3.2.3 Penerapan dan Potensi Pengembangan Teknologi Konstruksi di Indonesia

a. Teknologi Siber, Internet, dan Telepon Selular

Hingga saat ini siber merupakan teknologi yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap kegiatan konstruksi. Selain komputer yang terhubung dengan internet gawai berbasis telepon selular juga sudah semakin lengkap dan canggih fiturnya, sehingga tidak lagi sekedar mengirimkan suara tetapi hingga gambar hidup. Adanya jaringan nirkabel memungkinkan interaksi dan komunikasi antarkomponen pada tempat yang berbeda tetap dapat dilangsungkan. Dengan menggunakan internet dan telepon seluler pengelolaan proyek dapat dipantau dari jarak jauh secara *real-time* (Abduh & Soemardi, 2002). Saat ini internet dan *cloud technology* sudah banyak digunakan sebagai media untuk *data exchange* dan kolaborasi secara virtual dengan menggunakan berbagai aplikasi. Di masa mendatang teknologi internet dan telepon selular, sistem siber, ini dapat dijadikan dasar untuk menerapkan konsep *Internet of Things* (IoT) di industri konstruksi.

b. Teknologi Visualisasi Proses Konstruksi

Sejak tahun akhir tahun 1990-an telah dilakukan investigasi terhadap potensi penerapan teknologi visualisasi untuk meningkatkan kinerja kegiatan konstruksi. Pada awalnya saat itu istilah BIM belum populer di Indonesia yang digunakan istilah nD untuk mencirikan dimensi informasi dari suatu objek. Kajian-kajian tersebut mencakup potensi teknologi Virtual Reality untuk *constructability analysis* terhadap proses instalasi elemen beton pracetak (Soemardi, 2000). Selanjutnya dikembangkan aplikasi berbasis BIM untuk melakukan identifikasi potensi bahaya pada proses konstruksi (Soemardi & Erwin, 2017). Saat ini BIM sudah merupakan instrumen alat bantu utama dalam pengelolaan proyek, bahkan pemerintah sudah mengeluarkan regulasi yang mewajibkan penggunaan teknologi BIM untuk proyek-proyek yang kompleks dan nilainya besar.



Gambar 13 BIM dalam pengelolaan proyek

Industri 4.0 mendorong terciptanya konsep Konstruksi 4.0 yang merupakan perwujudan era baru industri yang menggunakan konsep perpaduan sistem fisik-siber dan IoT. Teknologi BIM adalah kunci keterpaduan sistem fisik-siber (Abduh & Soemardi, 2023). Dipadukan dengan teknologi *cloud*, internet dan telepon seluler, model virtual yang dibangun berdasarkan platform BIM memungkinkan kolaborasi antar pihak dapat berjalan efektif tanpa harus secara fisik bertemu dalam suatu ekosistem digital, atau yang lebih populer dikenal dengan istilah *digital twin*.

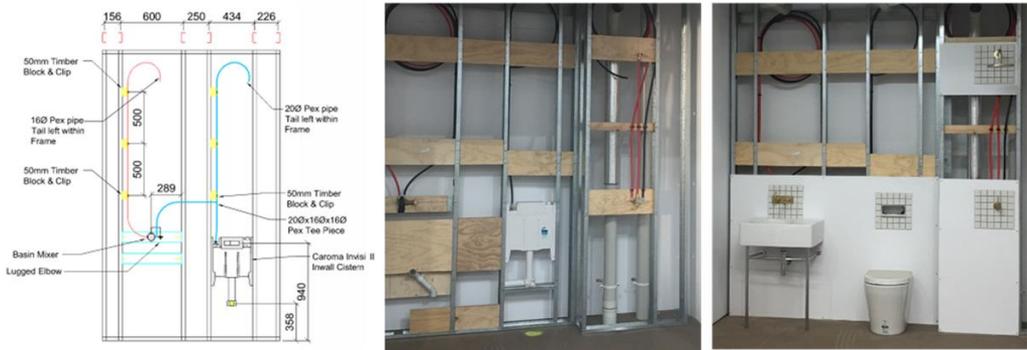
Saat ini BIM sudah dapat dikatakan sebagai teknologi standar untuk pengelolaan proyek-proyek besar dan kompleks. Tidak hanya untuk bangunan gedung, BIM saat ini banyak digunakan pada-proyek pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, bendungan, dan pengembangan kawasan. BIM digunakan sebagai instrumen yang memadukan aspek-aspek teknis pada tahap perancangan dengan kondisi dan situasi lapangan pada tahap konstruksi.

c. Teknologi Prefabrikasi

Selain teknologi informasi prefabrikasi merupakan teknologi yang banyak dikembangkan dan diterapkan di Indonesia. Di awal tahun 1980-an penggunaan beton pracetak sebagai elemen struktural mulai populer. Salah satu pionirnya adalah pracetak Buntu, mengambil nama daerah produksi di

Kabupaten Banyumas. Sekarang penggunaan elemen-elemen prafabrikasi semakin populer khususnya sebagai elemen struktur untuk proyek-proyek konstruksi besar seperti pada struktur jembatan, bangunan gedung dan lain sebagainya. Bahkan untuk elemen struktur yang besar pun sudah dilakukan pendekatan prafabrikasi sebagaimana diterapkan pada pembuatan bentang utama jembatan Holtekkamp yang dibuat di fasilitas galangan produksi PT PAL Surabaya yang kemudian melalui laut diangkut ke lokais pemasangan di Jayapura.

Pengembangan dan penerapan teknologi konstruksi modular merupakan langkah maju menuju industrialisasi konstruksi, yang perlahan bergeser dari proses konvensional in-situ menjadi prafabrikasi dan instalasi. Tentunya pergeseran ini juga harus didukung dengan prasarana dan sistem yang lengkap sebagaimana di industri pabrikan atau manufaktur, antara lain menyangkut kapasitas dana kemampuan pabrikan sistem rantai pasok, logistik, transportasi distribusi dan penyesuaian metode instalasi di lapangan. Teknologi modular yang saat ini ada dapat dikembangkan menjadi modul-modul yang lebih lengkap menjadi produk teknologi *Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC)* dan dapat diproduksi dalam volume yang besar melalui pendekatan *Design for Manufacture and Assembly (DfMA)*.

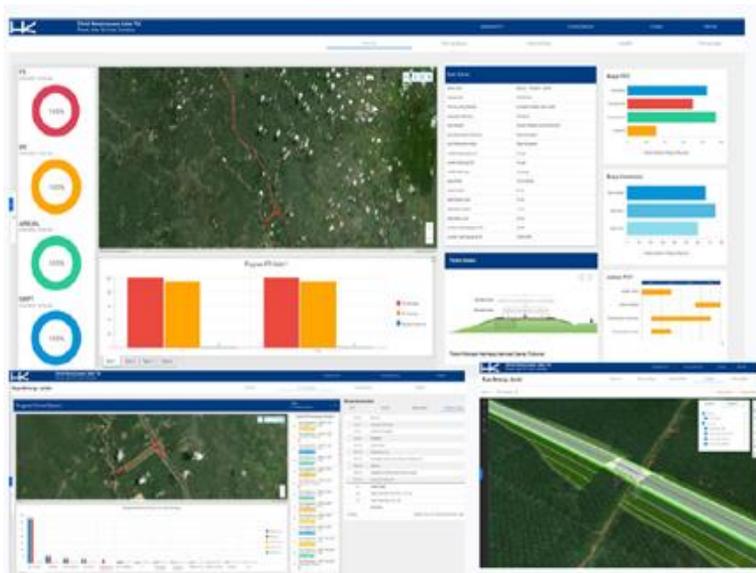


Gambar 14 Contoh PPVC – Flat-Pack Wall (sumber: T.K Chan)

Pada skala yang kecil, pengembangan awal ke arah teknologi prafabrikasi juga telah dilakukan oleh PUPR (Sabarudin & Sukmana, 2015) pada pengembangan dan penerapan teknologi RISHA yang banyak dimanfaatkan untuk membangun rumah sederhana pada saat rekonstruksi bangunan yang rusak akibat bencana alam.

d. Teknologi Pemetaan dan Pencitraan

Selain penggunaan instrumen standar seperti theodolite dan total station yang dilengkapi dengan GPS, sekarang ini untuk proyek-proyek pembangunan infrastruktur yang mencakup wilayah yang luas, penggunaan drone untuk fotogrametri udara sudah menjadi hal yang lumrah. Cakupan yang luas dan tingkat ketelitian yang tinggi memungkinkan estimasi volume pekerjaan tanah menjadi lebih cepat dan akurat. Demikian pula dengan penggunaan LiDAR yang selain digunakan untuk perencanaan dan perancangan juga dimanfaatkan sebagai alat bantu pengukuran untuk pemantauan hasil pekerjaan.



Gambar 15 Dashboard PMIS Proyek Jalan Tol Rengat-Pekanbaru
(sumber: BIM Portofolio Rengat – Pekanbaru Toll Road // Trans Sumatera)

Pada beberapa proyek jalan, penggunaan teknologi survei topografi digital ini dikombinasikan dengan aplikasi grafis AutoCad, ArcGIS, atau Global Mapper (Hidayat dkk, 2022) yang terintegrasi dalam platform BIM sehingga menjadi suatu aplikasi yang lengkap. Hasilnya dapat disajikan dalam monitor pengendalian proyek (*dashboard*).

Dalam sebuah model kembaran digital informasi kondisi di lapangan yang diperoleh dari data survei topografi ditumpangkan dengan gambar rancangan untuk memperoleh citra rekaan kondisi lapangan bila menerapkan rancangan. Pendekatan tersebut dikenal sebagai teknologi *augmented reality*

(AR). Pada proyek bangunan gedung AR dimanfaatkan untuk melakukan asesmen sebelum pelaksanaan konstruksi. Dengan membaca identifikasi sebuah objek struktur bangunan melalui pemindaian kode QR pengguna dapat memperoleh akses langsung terkait dengan semua informasi rancangan tentang objek tersebut termasuk untuk hal-hal yang belum dikerjakan.

d. Teknologi Sensor dan Otomatisasi

Sistem-sistem mandiri (*autonomous*) mungkin masih sangat jauh aplikasi praktisnya di industri konstruksi, khususnya di Indonesia yang masih sangat mengandalkan keterampilan tenaga manual. Namun demikian seiring dengan semakin kompleks dan besarnya proyek-proyek yang dihadapi, ketidakpastian dan kemampuan kendali manusia akan semakin terbatas. Demikian pula dengan semakin dominannya mekanisasi dengan penggunaan peralatan canggih, presisi dan dengan kapasitas dan bobot yang besar. Bergesernya cara kerja konstruksi menjadi serupa dengan manufaktur memerlukan penyesuaian cara kerja termasuk kebutuhan sensor kendali (Rao dkk, 2022). Untuk itu diperlukan sistem yang mampu mengendalikan mesin dan alat-alat konstruksi tersebut.

Selain sensor, diperlukan sistem pengendali otomatis sehingga keterlibatan manusia hanya terbatas untuk kegiatan-kegiatan spesifik yang tertentu saja, sementara kegiatan berulang dengan beban yang besar akan ditangani oleh mesin dan peralatan. Di sini peluang pengembangan sensor digital dan sistem kendali otomatis sangat berperan dan salah satu peluangnya adalah dengan memanfaatkan keunggulan teknologi kecerdasan buatan (AI).

Salah satu BUMN Karya telah mencoba mengembangkan teknologi kendali otomatis untuk pekerjaan timbunan dan pemadatan. Dua alat yang digunakan adalah *automatic grader* dan *intelligent compactor*. Pada dasarnya teknologi ini berupa perangkat tambahan pada mesin motor grader untuk secara otomatis menaik-turunkan pisau sesuai dengan ketinggian tanah yang dipantau melalui sensor-sensor elektronik. Alat kedua juga dilengkapi sensor untuk mengukur kepadatan tanah (*lift*). Selanjutnya data ketinggian tersebut akan dibandingkan dengan ketinggian sasaran, dan secara otomatis sistem kendali cerdas akan memerintahkan mesin pemadat (*compactor*) untuk menyesuaikan intensitas dan frekuensi pemadatnya.

e. Teknologi Material

Teknologi material saat ini masih fokus pada bahan dan bentuk produk konvensional. Material yang digunakan umumnya masih didominasi beton dan baja serta bitumen. Industri yang memproduksi ini semakin banyak jumlahnya dan tidak terkonstruksi di Pulau Jawa. Namun demikian industri seperti ini dianggap berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Karenanya perlu dikembangkan teknologi yang lebih hijau yang memberikan jejak karbon minimal.

Teknologi material merupakan wilayah pengembangan yang mempunyai potensi besar dan patut dieksplorasi. Perbaikan karakteristik bahan alam maupun penemuan dan penggunaan bahan olahan yang memberi nilai tambah, dapat menjadi alternatif pengganti material impor, akan mendukung upaya peningkatan tingkat komponen dalam negeri (TKDN). Untuk material beton misalnya, penyempurnaan dan penggunaan teknologi pembetonan seperti *mass concreting*, *self compacting concrete*, atau *shotcreting* juga dapat dikembangkan dalam bentuk penelitian dan pengembangan bahan maupun metode penyempurnannya. Hal yang sama juga dapat dilakukan untuk material lain seperti material bitumen yang dibuat teknologi daur ulang yang memanfaatkan limbah plastik.

Teknologi *3D printing* sudah mulai dicoba di Indonesia. Meskipun skalanya masih terbatas untuk struktur bangunan rumah tinggal sederhana tetapi upaya penerapan teknologi ini dapat dianggap suatu langkah berani yang patut diapresiasi. Beberapa penelitian dan pengembangan teknologi 3D printing ini telah dilakukan oleh Universitas Indonesia dan Universitas Gadjah Mada bekerja sama dengan *start up* yang dibiayai oleh BUMN karya.

Seiring dengan semakin besar dan beratnya elemen struktur yang ditangani semakin besar pula peralatan bantu (angkut, angkat, dorong) seperti *gantry*, *girder launcher*, dan peralatan khusus lainnya diperlukan. Sementara peralatan-peralatan mekanis seperti ini belum dapat dibuat di dalam negeri, paling tidak bagian aksesori pendukungnya sudah dapat dibuat atau dimodifikasi di Indonesia. Untuk itu diperlukan industri pendukungnya. Kebutuhan industri juga diperlukan untuk memproduksi alat bantu konstruksi konvensional lainnya seperti teknologi perancah dan bekisting portabel yang ringan, ringkas dan fleksibel untuk dirangkai menjadi berbagai bentuk bekisting.

4 PENUTUP

Studi tentang teknologi memberikan keyakinan kembali bahwa keberhasilan pembangunan infrastruktur tidak dapat dipisahkan dari bagaimana teknologi konstruksi dikembangkan dan diterapkan. Studi ini juga mengungkapkan bahwa teknologi bersifat dinamis dan global. Sejarah menunjukkan bahwa sering dengan perubahan zaman teknologi konstruksi yang dikembangkan dan diterapkan di Indonesia sangat dipengaruhi apa yang terjadi di luar negeri. Para insinyur Belanda pada zaman kolonial sebenarnya bukan saja meninggalkan karya rekayasa yang mengagumkan dan masih berfungsi hingga sekarang tetapi yang lebih penting mereka telah wariskan prinsip-prinsip utama berkegiatan rekayasa: kreatif, adaptif dan terbuka. Setiap tindakan rekayasa hendaknya didasarkan pada fondasi keilmuan yang kokoh, tetapi harus terbuka terhadap hal-hal baru dan secara kreatif diadopsi untuk menyelesaikan masalah-masalah kerekayasaan secara optimal. Hal yang sama berlaku untuk teknologi.

Lanskap teknologi merupakan landasan penting dalam pemilihan, adopsi, penerapan dan pengembangan teknologi konstruksi. Lanskap ini merupakan rujukan bagaimana teknologi tersebut dikaji untuk melihat dampaknya bagi kemajuan industri, usaha dan proses konstruksi. Lanskap ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran tentang darimana teknologi tersebut berasal, di bidang apa diterapkan sebelumnya, apa karakteristik teknis dan fungsinya serta apakah secara kreatif dapat diadopsi pada lingkungan konstruksi. Melalui lanskap ini dapat dibangun koleksi pengetahuan tentang teknologi konstruksi dan kerekayasaan.

Lanskap dan teknologi dapat diibaratkan sebagai sebuah peta penuntun menuju sebuah kunci untuk membuka pintu keberhasilan. Kesalahan dalam membuat peta akan berakibat perolehan kunci yang salah. Hal yang sama berlaku bagi kuncinya. Dalam hal ini kunci merepresentasi pengguna teknologi. Sehingga pengetahuan, pemahaman dan keterampilan dalam memilih dan menggunakan teknologi menjadi syarat utama.

Era industri 4.0 telah berlangsung dan industri konstruksi tidak dapat lepas dari paradigma ini. Meskipun banyak yang berargumen tentang perlu tidaknya mengkaji lebih mendalam penerapan industri 4.0 di bidang konstruksi, khususnya di Indonesia, mau tidak mau keberadaan era industri

4.0 sudah merupakan keniscayaan. Di masa mendatang celah antara perancangan dan konstruksi akan semakin berkurang lagi dan aspek keterbangunan (*constructability*) menjadi keharusan. Diperkirakan pergeseran arah produksi dari konstruksi konvensional ke (semi) manufaktur dan pendekatan rancang-bangun terintegrasi akan lebih meningkat penggunaannya. Seiring dengan upaya penerapan dan pemanfaatan keunggulan industri 4.0, industri konstruksi Indonesia juga harus segera meningkatkan kapasitas dan kemampuan produksinya dengan lebih menguasai dan memanfaatkan lebih intensif teknologi-teknologi industri 3.0. Hal ini dapat diwujudkan melalui penguatan sistem prafabrikasi dan produksi massal seperti produksi sistem modular dan PPVC (Pribadi & Soemardi, 2021).

Untuk memenuhi kondisi ini maka para pelaksana konstruksi juga harus diimbangi dengan kemampuan dasar rekayasa dan perancangan. Industri konstruksi nasional harus mempersiapkan sumber daya manusia konstruksi dengan kompetensi yang relevan dengan kebutuhan dan ketersediaan teknologi. Dalam konteks ini perguruan tinggi harus mampu memainkan peran strategis dalam mempromosikan peran vital kerekayasaan dan teknologi melalui kemitraan dengan pelaku praktis di industri konstruksi.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah Swt. yang maha pengasih dan penyayang atas rahmat dan kenikmatan yang dilimpahkan untuk mengemban amanah sebagai guru besar. Semoga Allah Swt. senantiasa memberikan bimbingan dan peringatan agar amanah besar ini dapat saya jalankan dengan baik dan penuh tanggung jawab.

Pencapaian suatu tonggak capaian penting dalam karier dan pengabdian sebagai pendidik dan peneliti tidak akan tercapai tanpa bantuan dukungan berbagai pihak. Ucapan terima kasih dan apresiasi yang tinggi disampaikan kepada segenap pimpinan, Forum Guru Besar, Senat Akademik dan sejawat dosen, serta seluruh civitas akademika Institut Teknologi Bandung atas kepercayaan dan dukungan yang diberikan untuk mengemban tugas di lingkungan akademik sejak 30 tahun yang lalu.

Terima kasih juga disampaikan kepada seluruh sejawat akademisi dari berbagai perguruan tinggi lingkungan pendidikan tinggi nasional. Terima kasih dan apresiasi disampaikan kepada mitra kerja profesional di industri konstruksi, Kementerian PUPR, LPJK, asosiasi-asosiasi profesi dan lembaga serta praktisi profesional atas interaksi dan tukar pendapat intensif yang membantu pengkayaan pemahaman saya terhadap dinamika di lingkungan industri konstruksi Indonesia.

Terima kasih dan apresiasi disampaikan pada segenap pimpinan, sejawat dosen dan tenaga kependidikan di lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan atas dukungan dan kerjasamanya. Ucapan terima kasih dan apresiasi yang tinggi khusus disampaikan kepada sejawat anggota KK Manajemen dan Rekayasa Konstruksi dan para mahasiswa atas semua dukungan, kebersamaan, keramahan dan kekeluargaan yang selalu menjadi penyemangat untuk berkarya.

Tak lupa saya sampaikan ucapan terima kasih pada guru senior di lingkungan FTSL maupun ITB yang telah senantiasa memberi inspirasi dan menjadi suri tauladan untuk selalu bersikap, bertindak dan berkarya dengan bijak.

Terima kasih dan penghargaan saya sampaikan kepada Prof. Krishna Suryanto Pribadi yang telah meluangkan waktu dan perhatiannya untuk

menelaah dan memberi masukan dalam penyusun buku orasi ini. Terima kasih saya sampaikan juga untuk asisten Andira dan Fikri yang telah berjuang membantu menyusun naskah dan bahan presentasi orasi.

Terakhir dan terutama saya sampaikan ucapan terima kasih dengan penuh kasih sayang kepada istri, kedua putri dan keluarga atas doa, kesabaran, dukungan dan kehangatan hati selama proses pengajuan usulan guru besar hingga penyampaian naskah orasi ini.

Semoga Allah Swt. membalas budi bapak/ibu sekalian dan menjadikan ilmu yang dikembangkan ini bermanfaat bagi nusa bangsa.

Aamiin ya rabbal'amin

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. (2007). Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia: Sebuah Analisa Rantai Nilai, Seminar dan Pameran HAKI.
- Abduh, M. & Imran, I. (2013). Holistic Approach for Green Construction in Indonesia, *Proceedings of the SEA Regional-SB13 Manila Conference*, 25-27 November 2013, Manila, Philippine.
- 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 structures; APEC Construction, Bali
- Abduh, M., Soemardi, B.W, & Suraji, A. (2020), Bab IV: Kinerja Jasa Konstruksi Indonesia, *20 Tahun LPJK: Konstruksi Indonesia 2001-2020*, B. W. Soemardi & K. S. Pribadi, editor: 84-123, ITB Press.
- Abduh, M, & Soemardi, B. W. (2023), Konsepsi kembar digital untuk transformasi digital sektor konstruksi, *Konstruksi Indonesia 2023: Transformasi Digital Sektor Konstruksi Untuk Mewujudkan Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*, 179-192, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Bakker, M. (2008), Chapter 4: Free Extending Over the Bandjir; Building bridges for roads and railways, *For Profit and Prosperity: The Contribution Made by Dutch Engineers to Public Works in Indonesia, 1800-2000*, Ravesteijn, W. & Kp, J. editors: 138-161, Aprilis-Zalbommel, KITLV Press – Leiden.
- Barbosa, F, Woetzel, J, Mischke, J, Ribeirinho, M. J., Mukund, S., Parson, M., Bertram, N. & Brown, S. (2017) *Reinventing construction through a productivity revolution*, February 2017, McKinsey, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>, diakses 20 Oktober 2023
- Barbosa, J, Mischke, & Parson, M. (2017), *Improving construction productivity*, July 2017, McKinsey, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/improving-construction-productivity>, McKinsey & Company, diakses 20 Oktober 2023.

- BP Konstruksi. (2011). *Penyelenggaraan Infrastruktur Berkelanjutan*. Buku *Konstruksi Indonesia 2011*. Kementerian Pekerjaan Umum
- BPKP (2013), *Kearsitekturan Candi Borobudur*, halaman 50, Balai Konservasi Borobudur
- BUMN (2021), E-Katalog Riset & Inovasi BUMN 2021: Dengan Inovasi Mendorong Perubahan, Deputi Bidang Sumber Daya Manusia, Teknologi & Informasi, Kementerian Badan Usaha Milik Negara.
- Chen, X., Chang-Richard, Y., Pelosi, A., Jia, Y., Shen, X., Siddiqui, M., & Yang, N. (2022), Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review, *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 29, No. 8: 3181-3209.
- Ertsen, M. (2008), Chapter 10: Indigenous or International; The Evolution and significant of East Indian civil engineering, *For Profit and Prosperity: The Contribution Made by Dutch Engineers to Public Works in Indonesia, 1800-2000*, Ravesteijn, W. & Kp, J. editors: 382-401, Aprilis-Zalbommel, KITLV Press – Leiden.
- Hidayat, F., Arifin, A., Farrosi, M. A. A., Soemardi, B. W., Pradoto, R. G. K., & Puri, E. R. (2022). Technology Landscape for Surveying and Mapping in Construction Industry. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(9): 74-80.
- Pribadi, K., S. & Soemardi, B. W. (2021), Penyelenggaraan Jasa Konstruksi di Era Industri 4.0, Buku 1: *Konstruksi Indonesia 2021: Era Baru Konstruksi – Berkarya Menuju Indonesia Maju*: 140-156, Kementerian PUPR.
- Oti-Sarpong, K. & Leiringer, R. (2016), The role of learning in construction technology transfer: A SCOT perspective, *Proceeding of the 32nd Annual Conference ARCOM*, Volume 2, P. W. Chan & C. J. Nelson, editors: 699-708
- Patmadjaja, H. (2020), An Indonesian View and Epilog: A tale of Two Cities; The impact of the Dutch architectural and civil engineering legacy on Surabaya and Malang, *For Profit and Prosperity: The Contribution Made by Dutch Engineers to Public Works in Indonesia, 1800-2000*, Ravesteijn, W. & Kp, J. editors: 428-453, Aprilis-Zalbommel, KITLV Press – Leiden.
- Pattekar, K. (2020), *Belgian Method of Tunneling*, KPSTRUCTURES, <https://www.kpstructures.in/2020/12/belgian-method-of-tunneling.html>, diakses 8 September 2023.

- Pradoto, R. G. K., Soemardi, B. W., Gazali, A., Putri, A. T., Purba, R. P., & Mahardika, I. (2022). The Technology Landscape of Construction Material in The Indonesian Construction Industry. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1022, No. 1, IOP Publishing
- Pribadi, K. S. & Soemardi, B. W (2020), Bab VII Tantangan Konstruksi Indonesia 2045, *20 Tahun LPJK: Konstruksi Indonesia 2001-2020*, B. W. Soemardi & K. S. Pribadi, editor: 180-210, ITB Press.
- Ravesteijn, W & Horn-van Nispen, M. L. (2008), Engineering and Empire: The Creation of Infrastructural Systems in the Netherlands East Indies 1800–1950, *Indonesia and the Malay World*, 35(103): 273-292.
- Regona, M., Tigicanla, T., Xia, B. & Man Li, R Y. (2021), Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA review, *Journal of Open Innovation, Technology, Market and Complexity*, Volume 8, Issue 1, March 2022, article 45.
- Sabarudin, A. & SUkmana, N. P. (2015), Rumah Instan Sederhana Sehat, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Penelitian dan Pengembangan,
- Skibniewski, M. J, & Caho, L. C (1992), Evaluation of advanced construction technology with AHP method., *Journal of Construction Engineering and Management*, 118 (3): 577-593, ASCE.
- Rao, S. A., Radanovic, M., Lui, Y., Hu, S., Fang, Y., Khoselham, K., Palaniswami, M., & Ngo, T. (2022), Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications, *Automation in Construction*, Vol. 136, Article 104099.
- Sobanke, V., Adegbite, S., Ilori, M., & Egbetokun, A. (2014), Determinants of technological capability of firms in a developing country, *Procedia Engineering*, 69: 577-593.
- Soemardi, B. W, & Pribadi, K. S. (2022), Chapter 4: The Indonesian Construction Industry, 1995-2019, *Construction Industry Advance and Change: Progress in Eight Asian Economies Since 1995*, Anson, M., Chiang, P. L., and Shen, J. editor: 63-87, Emerald Publishing.
- Soemardi, B. W. & Chan, T-K, (2022), China's Belt and Road Initiative in Indonesia: A case Study of the Jakarta-Bandung High-speed Rail,

- Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Pribadi, K. S. & Chan, T-K, editors: 131-142, Routledge.
- Soemardi, B. W & Rivai, R. (2020), Bab I: Pendahuluan, *20 Tahun LPJK: Konstruksi Indonesia 2001-2020*, B. W. Soemardi & K. S. Pribadi, editor: 180-210, ITB Press.
- Soemardi, B. W., Kusuma, B., & Abduh, M. (2020). Technology assessment in Indonesian construction industry. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 849, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.
- Soemardi, B. W., & Erwin, R. G. (2017). Using BIM as a tool to teach construction safety. In MATEC Web of Conferences (Vol. 138, p. 05007). EDP Sciences.
- Soemardi, B. W. (2000). VR for Precast Concrete Constructability Analysis. In *Computing in Civil and Building Engineering*: 302-308.
- Tsai, K. H. & Wang, J. C. (2008), External technology acquisition and firm performance: A longitudinal study. *Journal of Business Venturing*, 23: 19-112.
- Van Egmond, E., De Ligny, D. W., & Smook, R. A. F. (2021), *The Technology Mapping Methodology for Benchmarking the Construction Performance*, CIB World Building Congress: 1-12.
- Veenendaal, Jr, A. (2008), Chapter 3: The Locomotive of Modernity; *For Profit and Prosperity: The Contribution Made by Dutch Engineers to Public Works in Indonesia, 1800-2000*, Ravesteijn, W. & Kp, J. editors: 94-133, Aprilis-Zalbommel, KITLV Press – Leiden.
- Wiratman, W. (2011), Orasi Ilmiah Prof. Dr. Ir. Wiratman Wangsadinata dalam rangka penganugerahan Gelar Perekayasa Utama Kehormatan dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

CURRICULUM VITAE



Nama : Biemo W. Soemardi
Tempat/tgl lahir : Bandung, 9 April 1961
Kel. Keahlian : Manajemen & Rekayasa Konstruksi
Alamat Kantor : Gedung CIBE, Lt 6, FTSL, ITB
Nama Istri : Primanti L. Soemardi
Nama Anak : Ardita A. Soemardi
Arlene S. Soemardi

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, 1985
2. Master of Science in Engineering, Construction Engineering and Management, The University of Michigan, 1988
3. Master of Science in Engineering, Civil Engineering – Construction Material, The University of Michigan, 1989
4. Doctor of Philosophy, Civil Engineering, University of Kentucky, Lexington, 1993
5. Profesi Insinyur, Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, 2019

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

1. Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, FTSL - ITB, 1994 – sekarang
2. Sekretaris Senat FTSL – ITB, 2023 – sekarang
3. Anggota Senat Akademik ITB, 2024 - sekarang
4. Ketua Kelompok Keahlian Manajemen Rekayasa & Konstruksi, FTSL – ITB, 2023 – sekarang
5. Kepala Laboratorium Manajemen Rekayasa & Konstruksi, FTSL – ITB, 2016 - 2019
6. Wakil Dekan Bidang Sumberdaya dan Perencanaan, Sekolah Pasca Sarjana – ITB, 2008 – 2011
7. Ketua Kelompok Keahlian Manajemen Rekayasa & Konstruksi, FTSL – ITB, 2008 – 2010
8. Asisten Direktur Bidang Penjaringan Mahasiswa, Sekolah Pasca Sarjana - ITB

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

1. Calon PNS III/a : Maret 1992
2. Penata Muda III/a : Agustus 1994
3. Penata Muda Tingkat I III/b : September 1996
4. Penata III/c : April 1999
5. Penata Tingkat I III/d : April 2001
6. Pembina IV/a : April 2004
7. Pembina Tingkat I IV/b : Desember 2007

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

1. Asisten Ahli : Agustus 1994
2. Lektor Muda : Juni 1997
3. Lektor Madya : Januari 2000
4. Lektor : Januari 2001
5. Lektor Kepala : April 2004
6. Guru Besar : April 2023

V. KEGIATAN PENELITIAN

1. 2023 – 2024,
P2MI ITB Peneliti Utama
Komponen-komponen Penting Framework
Sistim Informasi Terintegrasi Industri
Konstruksi Indonesia
2. 2022 – 2023,
P2MI ITB Peneliti Utama
Kajian Peta Lanskap Perkembangan dan
Pemanfaatan Teknologi Material di Indonesia
3. 2021 – 2022,
P3MI ITB Peneliti Utama
*On the Resolution of Construction Litigation in
Indonesia*
4. 2021 – 2022,
P3MI ITB Peneliti Utama
Terlurus Teknologi Konstruksi melalui
Teknologi Big Data
5. 2020 – 2021,
P3MI ITB Peneliti Anggota
Pengembangan Model Basis Data Indeks dan
Statistik Konstruksi untuk Mendukung
Pembangunan Infrastruktur di Indonesia

6. 2020 – 2021,
P3MI ITB Peneliti Utama
Implementasi COST Model untuk Sektor Publik
7. 2020 – 2021,
P3MI ITB Peneliti Utama
Lansekap dan prakiraan teknologi konstruksi di Indonesia
8. 2019 – 2020,
P3MI ITB Peneliti Anggota
Kajian Transparansi dan Akuntabilitas Pada Penyelenggaraan Konstruksi di Sektor Pemerintah
9. 2018 – 2019
P3MI ITB Peneliti Anggota
Kajian Potensi Penerapan Building Information Modelling (BIM) untuk Identifikasi Bahaya pada Proyek Konstruksi
10. 2017 – 2018,
P3MI ITB Peneliti Utama
Perumusan Peta Pengetahuan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Dinamika Kinerja Kontraktor di Indonesia
11. 2009 – 2010,
Hibah Peneliti Utama
Kompetitif Pengembangan Project Delivery System dalam Batch I, DIKTI Pengadaan Jalan Nasional
12. 2009, Hibah Peneliti Anggota
Bersaing XVII, Pemodelan Estimasi Biaya Tidak Langsung DIKTI Proyek Konstruksi
13. 2006, Riset ITB Peneliti Anggota
Pengembangan Sistem Earned Value untuk Pengelolaan Proyek Konstruksi di Indonesia
14. 2003 – 2004,
RUT X – Peneliti Utama
KMNRT - LIPI Pengembangan Sistem Manajemen Jembatan Berbasis Teknologi Informasi
15. 2000 – 2002,
Hibah Bersaing Peneliti Utama
IX, DIKTI Pengembangan Model Sistem Manajemen Infrastruktur pada Proyek Pemeliharaan dan Rehabilitasi Jembatan
16. 1995 – 1997,
Graduate Team Peneliti Utama
Grant, URGE *Design, Production and Erection of Precast*
Project Batch *Concrete for Building's Structural Element System*
III, DIKTI

VI. PUBLIKASI

Buku dan Bagian Buku

20 Tahun LPJK: *Konstruksi Indonesia 2001-2020*, Editor **Biemo W. Soemardi**, Krishna S. Pribadi, & Edi Warsidi, ISBN 978-623-297-094-6, ITB Press, 2020.

Biemo W. Soemardi, & Toong Khuan Chan, (2022), Chp. 9: China's Belt and Road Initiative in Indonesia: A Case Study of the Jakarta-Bandung High-speed Rail, *Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Toong Khuan Chan & Krishna S. Pribadi, editors: 131-142, ISBN 978-0-367-71217-4, Routledge.

Krishna S Pribadi, **Biemo W Soemardi**, Akhmad Suraji & Toong Khuan Chan (2022), Chp. 2: Construction Industry and Governing Legislation, *Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Toong Khuan Chan & Krishna S. Pribadi, editors: 19-36, ISBN 978-0-367-71217-4, Routledge.

Muhamad Abduh, Krishna S. Pribadi, **Biemo W. Soemardi** & Toong Khuan Chan (2022), Chp. 8: Education, Training and Certification, *Construction in Indonesia: Looking Back and Moving Forward*, Toong Khuan Chan & Krishna S. Pribadi, editors: 119-130, ISBN 978-0-367-71217-4, Routledge.

Biemo W. Soemardi, & Krishna S. Pribadi. (2022), Chapter 4: The Indonesian Construction Industry, 1995-2019, *Construction Industry Advance and Change: Progress in Eight Asian Economies Since 1995*, Anson, M., Chiang, P. L., and Shen, J., editor: 63-87, ISBN 978-1-88043-505-6, Emerald Publishing.

Biemo W. Soemardi & Reini D. Wirahadikusumah (2022), Teknologi Building Information Modeling Dalam Manajemen Konstruksi Jalan Tol, *Buku II Kajian Kritis Pembangunan Jalan Tol di Indonesia, Pengelolaan Aspek Teknis dalam Perencanaan dan Pembangunan Jalan Tol*. Editor: Wimpy Santosa, Danang Parikesit, Yuki M.A Wardhana, Dewanti, Amelia Makmur, Safrilah, Dwi Ardianta Kurniawan: 53-84, ISBN 978-623-92614-4-3

Jurnal & Publikasi Konferensi

Soemardi, B. W. (2000). VR for Precast Concrete Constructability Analysis. In *Computing in Civil and Building Engineering (2000)* (pp. 302-308).

- Soemardi, B. W.,** & Sumirto, D. (2007). Optimasi Penjadwalan Sumberdaya dengan Metode Algoritma Genetik dan Algoritma Momen Minimum. *Jurnal Teknik Sipil ITB, 14(3)*, 125-134.
- Soemardi, B. W.** (2008). Peningkatan Daya Saing Industri Konstruksi Nasional Melalui Inovasi Konstruksi. *Konfrensi Nasional Teknik Sipil, 2*.
- Abduh, M., **Biemo, W. S.,** & Reini, D. W. (2008). Kesenjangan antar kompetensi pendidikan tinggi dengan kompetensi keahlian konstruksi. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil, 2*.
- R.D. Wirahadikusumah, **B.W. Soemardi,** M. Abduh, dan C.Z. Oktaviani. (2008). Gambaran Kinerja Supply Chain pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Jurnal Teknologi, Edisi 4 Tahun XXII*, 258-269.
- Soemardi, B.** (2008). Improving quality of graphical representation of bar chart scheduling. EASEC-11 - Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction.
- Wirahadikusumah, R. D., **Soemardi, B.,** Abduh, M., & Noorlaelasari, Y. (2008). Pengembangan Indikator Kinerja Supply Chain Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Jurnal Teknologi, Edisi, (3)*.
- Soemardi, B. W.,** & Wirahadikusumah, R. D. (2009). The Indonesian Construction Law: Challenges towards Globalization. In *COBRA-The RICS Construction and Building Research Conference*.
- Soemardi, B. W.,** Soenaryo, I., Budiman, A., & Soekiman, A. (2010). Assessing the Role and Competence of Mandor in Indonesia Construction Industry. In *Second International Conference on Contruction in Developing Country (ICCIDC-II)*.
- Soemardi, B. W.,** & Pribadi, K. S. (2010). The Role of Central and Local Agencies in Indonesia's Road Project Delivery System. In *Australian Structural Engineering Conference (2010: Sydney, NSW)* (pp. 1288-1294). Sydney, NSW: Engineers Australia.
- Krishna S. Pribadi and **Biemo W. Soemardi.** (2010). Mainstreaming Disaster Risk Reduction Strategy in Urban Management of Medium Sized Cities in Indonesia. *Proceedings of the 5th Engineering Conference in the Asian Region and Australian Structural Engineering Conference 2010* (p. 1-7). Informit, Sydney, Australia.
- Soekiman, Anton & Pribadi, Krishna & **Soemardi, Biemo.** (2010). Challenges in managing human resource in Indonesian construction industry. *Proceedings of the 2nd International Postgraduate Conference on Infrastructure and Environment, IPCIE 2010.* 1. 314-321.

- Soekiman, A., Pribadi, K. S., **Soemardi, B. W.**, & Wirahadikusumah, R. D. (2011). Factors relating to labor productivity affecting the project schedule performance in Indonesia. *Procedia engineering*, 14, 865-873.
- Soemardi, B.**, Tamin, R., Soekiman, A., & Hutama, H. (2011). Assessing the effectiveness of road construction project delivery system in Indonesia. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 8 (The 9th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011)* (pp. 45-45). Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- Soemardi, B. W.**, Soenaryo, I., & Wahyudi, E. (2011). The role and function of mandor in construction project organization in Indonesia. *Procedia Engineering*, 14, 859-864.
- Soekiman, A., Pribadi, K. S., **Soemardi, B. W.**, & Wirahadikusumah, R. D. (2011). Study on factors affecting project level productivity in Indonesia. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 9(3), 35.
- Abduh, M., **Soemardi, B. W.**, & Wirahadikusumah, R. D. (2012). Indonesian construction supply chains cost structure and factors: a case study of two projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(2), 209-216.
- Ervianto, W. I., **Soemardi, B. W.**, & Abduh, M. (2012). Kajian Reuse Material Bangunan dalam Konsep Sustainable Construction di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 18-27.
- Moeliodihardjo, B. Y., **Soemardi, B. W.**, Brodjonegoro, S. S., & Hatakenaka, S. (2012). University, industry, and government partnership: Its present and future challenges in Indonesia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 52, 307-316.
- Biemo W. Soemardi** and Bambang Goeritno. (2013). Policies and Practices in Promoting Transparency and Corruption Eradication in Indonesian Construction Industry. *Proceedings of the 6th Civil Engineering Conference in Asia Region: Embracing the Future Through Sustainability* (pp. SS1-13 - SS1-21). August 20-22, 2013, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI).
- Wirahadikusumah, R., Susanti, B., Safitri, S., **Soemardi, B.** (2013). Concession award for Indonesian toll roads - A comparison analysis. *Proceeding of ISEC 2013 - 7th International Structural Engineering and Construction Conference: New Developments in Structural Engineering and Construction* (pp. 1591-1596).

- Biemo W. Soemardi**, Ivindra Pane, and Eka P. Susanto. (2013). Study on the Development of Foamed Concrete for Wall Thermal Insulation. *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment (SIBE), Volume I, 2013* (pp. 213-220). Faculty of Civil and Environmental Engineering, ITB.
- Muhamad Abduh, **Biemo W. Soemardi**, and Andi Cakravastia. (2013). The Need of Green Construction Supply Chain Management for Delivering Sustainable Construction Indonesia. *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment (SIBE), Volume I, 2013* (p. 429-443). Faculty of Civil and Environmental Engineering, ITB.
- Wirahadikusumah, R. D., Sapitri, S., Susanti, B., & **Soemardi, B. W.** (2013). Isu Strategis pada Pengadaan Perusahaan Jalan Tol dalam Kerjasama Pemerintah dan Swasta. *Jurnal Teknik Sipil ITB, 20(3)*, 233-244.
- Soemardi, B. W.**, & Fajri, A. R. (2013). Alternative Performance Measurement for Road Management Agencies using Data Envelopment Analysis Method, *Jurnal Teknik Sipil ITB, 20(3)*, 161-172.
- Wirahadikusumah, R. D., Sapitri, B. S., & **Soemardi, B.** (2014). Risk inclusion in the reserve price estimation for toll road concession award. *Journal of Traffic and Logistics Engineering Vol, 2(1)*.
- Soemardi, Biemo** & Ervianto, Wulfram. (2015). Development Of Green Construction Assessment Model for Building Project. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction. 2.* 10.14455/ISEC.res.2015.49.
- Lukmanasari, S. H. S., & **Soemardi, B. W.** (2016). Studi Upah dan Beban Biaya Pekerja Konstruksi di Indonesia (Studi Kasus: Pekerja Konstruksi Gedung di Pulau Jawa). *Media Komunikasi Teknik Sipil, 22(2)*, 87-98.
- Hidayat, Felix & **Soemardi, Biemo.** (2016). The Development of Anatomy of Construction Dispute. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction. 3.* 10.14455/ISEC.res.2016.136.
- Martina, A., Lupasteanu, R., & **Biemo, W. S.** (2016). Analyses Implementation ISO 9001 Quality Management System in Indonesian and Romanian Construction Company. *World Applied Sciences Journal, 34(12)*, 1774-1782.
- Susanti, B., Wirahadikusumah, R. D., **Soemardi, B. W.**, & Sutrisno, M. (2016). Impact of Performance Based Contract Implementation on National

- Road Maintenance Project to Road Functional Performance. *Applied Mechanics and Materials*, 845, 364-368.
- Matsuo, T., Koshimizu, S., Sasaki, N, Kwata, S., Sison, R., Haron, H.N., Mohamed, Z., Abu Bakar, M.S., Zaini, J.H., Sjafruddin, A., **Soemardi, B.**, Nguyen, P.Q. (2017). A Human Capital Development Model in Higher Engineering Professions In *2017 7th World Engineering Education Forum (WEEF)* (pp. 377-382). IEEE.
- Soemardi, B. W.**, & Erwin, R. G. (2017). Using BIM as a tool to teach construction safety. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 138, p. 05007). EDP Sciences.
- Annisa, A., & **Soemardi, B. W.** (2018). Tinjauan Pendidikan dan Penelitian MRK di Indonesia. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(2), 124.
- Wirahadikusumah, R. D., Susanti, B., & **Soemardi, B. W.** (2018). Risk in government's estimate for toll road: based on investors' perspective. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(2), 475-482.
- Susanti, B., Wirahadikusumah, R. D., **Soemardi, B. W.**, & Sutrisno, M. (2019). Life Cycle Cost Analysis of A PBC Pilot Project for Road in Indonesia. *IIUM Engineering Journal*, 20(2), 57-69.
- Kusuma, B., **Soemardi, B. W.**, Pribadi, K. S., & Yuliar, S. (2019, October). Indonesian contractor technological learning mechanism and its considerations. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 650, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- Yustiarini, D., **Soemardi, B. W.**, Pribadi, K. S., Mahani, I., & Setyawan, M. F. (2019). Transparency and Accountability Public Sector Procurement for Infrastructure in Indonesia: A Literature Review. In *Third International Conference on Sustainable Innovation (ICoSi 2019)* (pp. 305-313). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Yustiarini, D., **Soemardi, B. W.**, Pribadi, K. S., Mahani, I., & Setyawan, M. F. (2019). Transparency in The Implementation of Construction Services Based on The Perception of The Public Information Disclosure Act in Indonesia. In *First International Conference on Administration Science (ICAS 2019)* (pp. 317-321). Atlantis Press.
- Yustiarini, D., & **Soemardi, B. W.** (2020). A review of corruption in public procurement in Indonesia. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 849, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.

- Soemardi, B. W.**, Kusuma, B., & Abduh, M. (2020). Technology assessment in Indonesian construction industry. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 849, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.
- Rizal, S., Nugroho, W. S., Ahza, A. B., Subekti, A., Lakitan, B., **Soemardi, B. W.** & Ikhwan, M. (2020). The correlation between supervisor's h-index and the number of PMDSU student's publications. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1460, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
- Soemardi, B. W.**, Kusuma, B., Pribadi, K. S., & Yuliar, S. (2021). Technological capabilities of medium-sized contractors in Indonesia. *Journal of Construction in Developing Countries*, 26(2), 1-15.
- Soemardi, B. W.**, & Putri, A. T. (2021). Fuzzy Green Construction for Measuring Environmental Performances of Construction Projects. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 8, 1.
- Pradoto, R. G. K., **Soemardi, B. W.**, Gazali, A., Putri, A. T., Purba, R. P., & Mahardika, I. (2022). Development of Concrete Material Technology in the context of supply-demand based on geographical aspects. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1065, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.
- Soemardi, B. W.**, Putri, A. T., & Haryadi, H. W. (2022) Strategy for The Preparation of Construction Technology Database. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 9(2).
- Pradoto, R. G. K., **Soemardi, B. W.**, Gazali, A., Putri, A. T., Purba, R. P., & Mahardika, I. (2022). The Technology Landscape of Construction Material in The Indonesian Construction Industry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1022, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Hidayat, F., Arifin, A., Farrosi, M. A. A., **Soemardi, B. W.**, Pradoto, R. G. K., & Puri, E. R. (2022). Technology Landscape for Surveying and Mapping in Construction Industry. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(9), 74-80.

VII. PENGHARGAAN

1. Penghargaan Bidang Pengajaran, ITB, 2020
2. Pemakalah Terbaik pada Seminar Online Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) ke-14, Program Studi Teknik Sipil ITB, 2020
3. Best Presenter Award, 4th ICONBUILD & 12th RCEE, 2019

4. Pengabdian 25 Tahun ITB, ITB, 2017
5. Satyalencana Karya Satya XX Tahun, Pemerintah RI, 2016
6. Dosen ITB Berkinerja Sangat Baik pada Semester II Tahun 2011-2012, ITB, 2012
7. Penghargaan Pengabdian Wakil Dekan Bidang Sumberdaya dan Perencanaan Sekolah Pascasarjana ITB, ITB, 2011
8. Satyalencana Karya Satya X Tahun, Pemerintah RI, 2008
9. Dosen Teladan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, 1997

VIII. SERTIFIKASI

1. Insinyur Profesional Utama, PII, Maret 2021
2. Ahli Manajemen Proyek Utama, LPJK, November 2020
3. Sertifikat Mediator, Pusat Mediasi Indonesia - UGM, Juni 2020
4. Sertifikat Pendidik, Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia, Oktober 2008

IX. ANGGOTA PROFESI

1. Persatuan Insinyur Indonesia – PII, Ketua Komite Manajemen Proyek dan Manajemen Sistem, Badan Kejuruan Sipil
2. Ikatan Ahli Manajemen Proyek, IAMPI, Anggota
3. Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, HAKI, Anggota
4. Himpunan Pengembang Jalan Indonesia, HPJI, Ketua Bidang Manajemen Konstruksi dan Jembatan



📍 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 [FgbItb](#) [FGB_ITB](#)
📱 [@fgbitb_1920](#) 📺 [Forum Guru Besar ITB](#)

