

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah aplikasi dari pengetahuan, keahlian, alat dan teknik untuk melaksanakan aktivitas sesuai dengan kebutuhan proyek (Tantra, 2012). Tujuan utama dari manajemen proyek adalah agar proyek dapat dilaksanakan dengan efisien, tepat waktu, dan mencapai hasil yang diinginkan. Sering terjadi pada sebuah proyek yang berlarut pada pekerjaannya sehingga pada akhirnya harus mengalami penjadwalan ulang. Oleh karena itu, peran perencanaan dalam suatu proyek sangat penting, segala sesuatu harus dimulai dari rencana dan harus disepakati bersama antara para *stakeholder* yang terlibat pada proyek. *Stakeholder* yang dimaksud didalam proyek adalah pemilik proyek (*project owner*), komite pengarah (*steering committee*), pengguna hasil proyek dan pelaksana proyek (Heryanto, 2015).

II.2 Proyek Konstruksi

Proyek merupakan suatu rangkaian pekerjaan yang bertujuan untuk mencapai tujuan proyek sesuai persyaratan yang telah ditetapkan pada awal proyek seperti persyaratan mutu, waktu dan biaya (Purnomo Soekirno, 1999). Menurut (Istimawan Diposhudo, 1996), Proyek konstruksi adalah proyek yang berkaitan dengan upaya pembangunan suatu infrastruktur, yang umumnya mencakup pekerjaan pokok yang didalamnya termasuk dalam bidang Teknik sipil dan arsitektur.

Dalam Suatu proyek konstruksi terdapat tiga hal penting yang harus diperhatikan yaitu hal mengenai waktu, biaya dan mutu. Pada umumnya, mutu konstruksi merupakan elemen dasar yang harus dijaga untuk senantiasa sesuai dengan perencanaan. Namun demikian, pada kenyataannya sering terjadi pembengkakan biaya sekaligus keterlambatan waktu pelaksanaan (Tjaturono, 2004). Dengan demikian, seringkali efisiensi dan efektivitas kerja yang diharapkan tidak tercapai. Hal itu mengakibatkan pengembang akan kehilangan nilai kompetitif dan peluang pasar.

II.2.1 Metode Pelaksanaan Kontruksi

Metode adalah suatu perosedur atau cara yang ditempuh untuk mencapai tujuan tertentu, pelaksanaan adalah suatu usaha atau kegiatan tertentu yang dilakukan untuk mewujudkan rencana atau program dalam kenyataan, konstruksi adalah suatu kegiatan membangun sarana maupun prasarana. Metode palaksanaan konstruksi dapat diartikan suatu kegiatan pembangunan sarana ataupun prasarana dengan cara tertentu demi mencapai suatu tujuan (Etika Christin Onibala, 2018).

Penentuan sebuah metode pelaksanaan berperan signifikan dalam pengerjaan suatu proyek konstruksi sebab dengan metode pelaksanaan yang tepat dapat mewujudkan hasil yang maksimal terlebih apabila ditinjau dari segi waktu dan segi biaya (Khadafi Anugerahanto,). Menurut Najoan (2016), usaha yang dapat dilakukan pengelola proyek salah satunya yaitu dengan mengubah sistem konvensional menjadi lebih modern, dengan menerapkan sistem beton pracetak. Upaya ini tentunya bertujuan untuk memperbaiki dan mendapatkan hasil pekerjaan yang optimal dengan mutu yang baik.

II.2.2 Produktivitas

Secara umum produktivitas adalah perbandingan antara hasil kegiatan (*output*) dan masukan (*input*) (Pilcher,1992). Dalam bidang konstruksi, pengertian produktivitas tersebut biasanya dihubungkan dengan produktivitas pekerja dan dapat dijabarkan sebagai perbandingan antara hasil kerja dan jam kerja (Boy, R.A,1986). Menurut (Swasta) pada penelitian (Jumliati, 2015) produktivitas adalah konsep yang menggambarkan hubungan antara hasil dengan sumber yang dipakai untuk menghasilkan suatu produk tertentu. Terdapat dua aspek penting dalam produktivitas yaitu aspek efisiensi dan aspek efektivitas. Pertama dari aspek efisiensi, efisiensi itu berkaitan dengan kemampuan untuk menghasilkan produk lebih banyak dibanding dengan input yang minimum, menghasilkan sesuatu berkualitas tinggi dengan waktu yang sesingkat mungkin dan pengeluaran seminimal mungkin. Kedua dari aspek efektivitas, efektivitas itu berkaitan dengan tingkat produksinya dapat dicapai atau tidak. Efisiensi dan efektivitas yang tinggi dapat menghasilkan produktivitas yang tinggi begitu pula sebaliknya. Contohnya, jika terjadi efektivitas tinggi namun

efisiensinya rendah, cara tersebut dianggap mengalami pemborosan. Menurut penelitian (Mandani, 2010), faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas yaitu;

1. tingkat kemampuan kerja dalam melaksanakan pekerjaan baik dari hasil pendidikan, pelatihan, maupun pengalaman kerja sebelumnya.
2. Tingkat kemampuan kerja pemimpin dalam memberi motivasi kerja kepada pekerja sehingga dapat bekerja dengan secara maksimum.
3. Latar belakang pribadi seperti pendidikan, dan pengalaman kerja; bakat dan minat. kemampuan untuk analitis.
4. ketrampilan teknis.
5. kesehatan, tenaga dan fisik pekerja.

Produktivitas juga dapat diartikan sebagai tingkat efisiensi dalam memproduksi suatu barang atau jasa. Efisiensi dan efektivitas yang tinggi dapat menghasilkan produktivitas yang tinggi begitu pula sebaliknya. Contohnya, jika terjadi efektivitas tinggi namun efisiensinya rendah, cara tersebut dianggap mengalami pemborosan.

Menurut Gaspersz (1998) dalam penelitian (Murodif, 2016), terdapat beberapa manfaat pengukuran produktivitas dalam organisasi perusahaan antara lain:

1. Perencanaan sumber daya yang digunakan akan menjadi lebih efektif dan efisien, baik dalam perencanaan jangka pendek maupun jangka panjang,
2. Strategi untuk meningkatkan produktivitas dapat ditetapkan berdasarkan tingkat produktivitas realita dan tingkat produktivitas ekspektasi.
3. Menjadi informasi yang bermanfaat untuk membandingkan tingkat produktivitas di antara industri yang sejenis baik dalam skala nasional maupun global.
4. Menimbulkan tindakan-tindakan kompetitif berupa upaya-upaya peningkatan produktivitas terus menerus.
5. Memberikan informasi yang bermanfaat untuk menentukan dan mengevaluasi kecenderungan perkembangan produktivitas dari waktu ke waktu.

6. Memberikan motivasi kepada orang secara terus menerus untuk melakukan perbaikan serta meningkatkan kualitas kerja.

Pada penelitian (Jessica Clarita & Basuki Anondho) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas yang kemudian dibagi menjadi 3 bagian, yang di antaranta:

1. Sumber Daya Manusia

Sebuah perusahaan meskipun memiliki sumber daya seperti modal, metode, dan mesin tidak dapat memberikan hasil yang optimum apabila tidak didukung oleh sumber daya manusia yang memiliki kinerja optimum (Raditya & Nazzario, 2020). Faktor sumberdaya manusia yang dapat mempengaruhi produktivitas konstruksi yaitu, tingkat keterampilan, komunikasi, ketersediaan tenaga kerja, dan tingkat keselamatan.

2. Teknologi

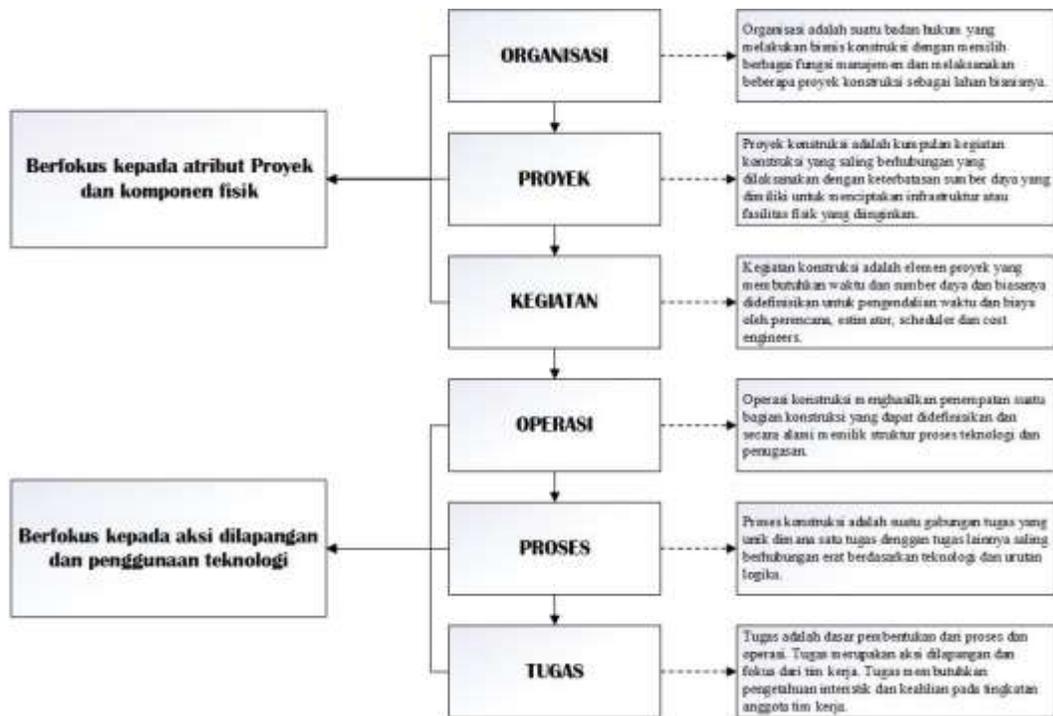
Ketersediaan dan kemampuan alat pada saat proses konstruksi menentukan mutu dari konstruksi itu sendiri dengan dinilai dari efektivitas dan produktivitasnya (Permono & Mulyono, 2006). Faktor teknologi yang dapat mempengaruhi produktivitas yaitu, ketersediaan dan mobilitas.

3. Ekonomi

Proyek konstruksi terkenal dengan risiko dan ketidakpastian yang tinggi, terutama pada tahap perkiraan biaya proyek konstruksi yang memiliki informasi yang sangat terbatas. Oleh karena itu, manajemen arus kas yang efektif akan sangat penting bagi kontraktor untuk bertahan dalam konstruksi yang kompetitif (Snyman & Smallwood, 2017). Faktor ekonomi yang mempengaruhi produktivitas konstruksi yaitu, upah yang sepadan, ketepatan waktu, dan tingkat inflasi.

II.2.3 Hirarki Proses Konstruksi

Hirarki konstruksi dimulai dari organisasi, proyek, kegiatan, operasi, proses, hingga work task (tugas). Organisasi, proyek dan kegiatan dapat digolongkan pada bagian manajemen yang fokus pada atribut dan komponen proyek. Sementara operasi, proses dan work task dapat digolongkan pada bagian rekayasa konstruksi yang fokus pada penggunaan teknologi dan aksi di lapangan (Halpin dan Riggs, 1992).



Gambar 2. 1 Hirarki Konstruksi

Pada setiap tingkat hirarki konstruksi, memiliki proses yang spesifik sesuai tingkatannya. Berikut proses pada setiap tingkatan proses konstruksinya (Halpin, 1992):

1. *Organizational*, tingkat proses konstruksi yang berfokus pada aspek legal dan struktur bisnis perusahaan, dan berbagai fungsi manajemen yang dikerjakan oleh interaksi antara kantor pusat dan perwakilan di proyek konstruksi;
2. *Project*, tingkat proses konstruksi yang berfokus pada pengendalian jadwal dan biaya;
3. *Activity*, tingkat proses konstruksi yang berfokus pada atribut sumber daya proyek yang penurunan dari project.
4. *Operation*, tingkat proses konstruksi yang berfokus pada teknologi dan detail bagaimana konstruksi berjalan;
5. *Task*, tingkat proses konstruksi yang berfokus pada identifikasi porsi tugas pekerja di lapangan.

Sementara dari faktor internal dan eksternal, risiko proyek konstruksi dapat dikelompokkan menjadi (Prabawani, 2012):

1. Risiko operasional, risiko yang berskala dari tingkat operasional perusahaan. Sebagai contoh adalah risiko proses kerja, teknologi, sumber daya, perijinan, dan kebijakan regulator;
2. Risiko finansial, risiko yang berdampak pada keuangan perusahaan. Sebagai contoh adalah risiko kredit, likuiditas, inflasi, cost overrun, dan pasar;
3. Risiko hazard, risiko yang berhubungan dengan kecelakaan fisik. Sebagai contoh stabilitas politik, dan force majeure.
4. Risiko strategis, risiko yang disebabkan kesalahan keputusan strategis perusahaan yang tidak sesuai dengan lingkungan perusahaan. Sebagai contoh adalah risiko kompetisi, dan joint venture.

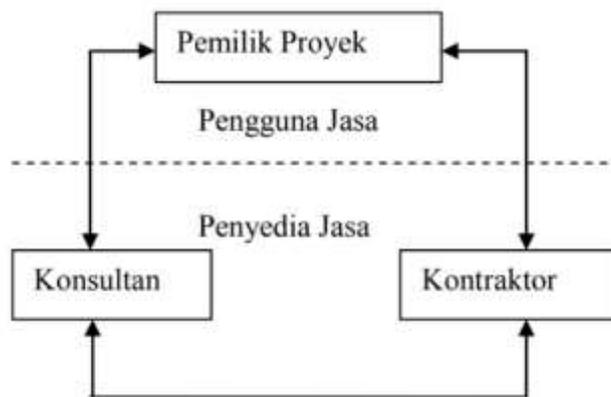
II.3 Manajemen Konstruksi

Manajemen dapat diartikan sebagai salah satu rangkaian kegiatan yang mengarah pada pemanfaatan sumber daya yang ada dengan semaksimal mungkin. Ada 3 kegiatan dari fungsi dasar manajemen proyek yaitu perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian. Dari ketiga kegiatan tersebut dilakukan pengendalian terhadap sumber daya pada suatu proyek yang meliputi tenaga kerja (*manpower*), peralatan (*machine*), bahan (*material*), uang (*money*), dan metode (*method*). Pada dasarnya sebuah proyek memiliki aspek pokok diantaranya, Biaya (*Money*), Mutu (*Quality*), dan Waktu (*Time*) (Trisno Adi Saputa, 2019).

Manajemen konstruksi adalah perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan koordinasi suatu proyek konstruksi mulai dari gagasan awal sampai proyek konstruksi tersebut berakhir untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat mutu dan tepat biaya. Ada 4 hal yang harus diperhatikan mengenai manajemen konstruksi diantaranya, perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pengendalian. Untuk mengetahui cara yang tepat dalam pelaksanaan suatu konstruksi dengan pencapaian hasil yang maksimal mengenai tepat waktu, tepat mutu, dan tepat biaya (Erviyanto, 2006). Ada beberapa faktor yang menjadi pendukung dalam manajemen konstruksi, diantaranya :

- Keterlibatan/peran serta user dalam pelaksanaan konstruksi.
- Pengalaman dari manajer konstruksi.
- Tujuan konstruksi yang jelas.
- Scope yang kecil.
- Estimasi biaya yang sesuai.

Manajemen konstruksi di kelola oleh sekelompok orang yang memiliki tugas dan tanggung jawab yang berbeda – beda. Berikut merupakan pihak-pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi.



Gambar 2. 2 Pihak Yang Terlibat Pada Proses Konstruksi

Jika proses penerapan manajemen konstruksi ini terlaksana dengan baik, maka akan di capai keuntungan sebagai berikut :

- Perencanaan yang tepat dan staff yang kompeten.
- Waktu pelaksanaan yang sesuai dengan rencana.
- Biaya yang tidak jauh beda dengan rencana.
- Mutu sesuai dengan rencana.

Oleh karena itu manajemen konstruksi merupakan hal yang sangat penting demi pelaksanaan konstruksi yang baik, dengan melibatkan 5M yaitu: *manpower* (tenaga kerja), *machiners* (alat dan peralatan), *material* (bahan bangunan), dan *money* (uang), serta *method* (metode). Dan juga manajemen konstruksi bisa mengontrol seluruh kegiatan konstruksi dari awal mullai hingga konstruksi tersebut selesai, da juga dapat menentukan estimasi waktu pelaksanaan dan meminimalisir dana yang digunakan selama proses pelaksanaan konstruksi.

Menurut Husen (2010), mengenai manajemen yang harus diperhatikan antara lain:

a. Perencanaan (*Planning*)

Pada perencanaan tercantum adanya sasaran, tujuan yang dicapai hingga kebijakankebijakan lain untuk menunjang keberhasilan. Sehingga dalam perencanaan perlu dikerjakan secara, cermat, dan meminimalkan risiko kesalahan kerja, walaupun perencanaan tersebut terus disempurnakan sesuai dengan perubahan dan perkembangan yang terjadi pada proses pelaksanaan.

b. Pengorganisasian (*Organizing*)

Kegiatan ini melingkupi pengelompokan dari jenis-jenis pekerjaan (*work breakdown structure*), menentukan personil yang akan bertanggung jawab dalam pekerjaan tersebut. Sehingga perlu adanya struktur organisasi yang disesuaikan dengan kebutuhan pelaksanaan proyek dan kerangka penjabaran yang sesuai dengan keahlian dan kemampuan dari tiap personilnya.

c. Pelaksanaan (*Actuating*)

Kegiatan ini mengimplementasikan dari perencanaan yang telah ditetapkan dengan melakukan tahapan pekerjaan sesungguhnya secara fisik maupun non fisik sehingga produk akhir sesuai dengan sasaran dan tujuan yang direncanakan.

d. Pengendalian (*Controlling*)

Kegiatan ini dimaksudkan untuk memastikan mengenai proses dan aturan kerja yang telah ditetapkan dapat dicapai dengan hasil yang maksimal.

II.3.1 *Project Life Cycle (PLC)*

Menurut (Santoso dan Desianti, 2022) pendekatan mengenai tahapan proyek adalah mengidentifikasi urutan langkah yang harus diselesaikan. PLC ini juga dapat disebut dengan “Siklus Hidup Proyek”. Secara umum, siklus hidup proyek merupakan suatu metode yang digunakan untuk menggambarkan bagaimana sebuah proyek direncanakan, dikontrol, dan diawasi sejak proyek disepakati untuk dikerjakan hingga tujuan akhir proyek tercapai. Terdapat lima tahap kegiatan utama yang dilakukan dalam siklus hidup proyek yaitu:

- a. Tahap Inisiasi Tahap inisiasi proyek merupakan tahap awal kegiatan proyek sejak sebuah proyek disepakati untuk dikerjakan. Pada tahap ini, permasalahan

yang ingin diselesaikan akan diidentifikasi. Beberapa pilihan solusi untuk menyelesaikan permasalahan juga didefinisikan. Sebuah studi kelayakan dapat dilakukan untuk memilih sebuah solusi yang memiliki kemungkinan terbesar untuk direkomendasikan sebagai solusi terbaik dalam menyelesaikan permasalahan. Ketika sebuah solusi telah ditetapkan, maka seorang manajer proyek akan ditunjuk sehingga tim proyek dapat dibentuk.

- b. Tahap Perencanaan dan Desain Ketika ruang lingkup proyek telah ditetapkan dan tim proyek terbentuk, maka aktivitas proyek mulai memasuki tahap perencanaan. Pada tahap ini, dokumen perencanaan akan disusun secara terperinci sebagai panduan bagi tim proyek selama kegiatan proyek berlangsung.
- c. Tahap Eksekusi Dengan definisi proyek yang jelas dan terperinci, maka aktivitas proyek siap untuk memasuki tahap eksekusi atau pelaksanaan proyek. Pada tahap ini, tujuan proyek secara fisik akan dibangun. Seluruh aktivitas yang terdapat dalam dokumentasi rencana proyek akan dieksekusi.
- d. Tahap Pemantauan dan Sistem Pengendalian Sementara kegiatan pengembangan berlangsung, beberapa proses manajemen perlu dilakukan guna memantau dan mengontrol penyelesaian tujuan proyek sebagai hasil akhir proyek.
- e. Tahap Penutupan Tahap ini merupakan akhir dari aktivitas proyek. Pada tahap ini, hasil akhir proyek beserta dokumentasinya diserahkan kepada pelanggan, kontak dengan supplier diakhiri, tim proyek dibubarkan dan memberikan laporan kepada semua *stakeholder* yang menyatakan bahwa kegiatan proyek telah selesai dilaksanakan. Langkah akhir yang perlu dilakukan pada tahap ini yaitu melakukan *post implementation review* untuk mengetahui tingkat keberhasilan proyek dan mencatat setiap pelajaran yang diperoleh selama kegiatan proyek berlangsung sebagai pelajaran untuk proyek-proyek dimasa yang akan datang. Organisasi proyek tahapan ini merupakan tahapan sebuah proyek sebelum kemudian ditutup (penyelesaian). Namun tidak semua proyek akan melalui setiap tahap, artinya proyek dapat dihentikan sebelum mereka mencapai penyelesaian.

II.3.2 *Project Delivery Methods (PDM)*

Menurut (Carpenter dan Bausman, 2016), *Project Delivery Methods (PDM)* merupakan sistem tentang hubungan timbal balik, peran, tanggung jawab, dan kewenangan bagi setiap pihak yang terlibat untuk mengelola seluruh tahanan proyek dari tahap desain sampai pemeliharaan fasilitas. PDM sendiri memiliki beberapa jenis, diantaranya :

a. *Single General Contractor*

Struktur organisasi ini ditandai dengan adanya pemisahan kontrak antara *owner* dengan konsultan dan *owner* dengan general contractor. Pada PDM ini, *general contractor* juga dapat berkontrak dengan subkontraktor namun subkontraktor tidak berkontrak pada *owner* (Ervianto, 2005). Menurut Bolpagni (2013), kelebihan single general contractor bagi *owner* adalah kontrol penuh atas detail desain dan tawaran harga kompetitif terendah. Sedangkan, kekurangan single general contractor adalah durasi proyek lebih lama karena proses konstruksi dimulai setelah desain selesai 100% dan risiko *owner* lebih tinggi karena pendekatan kontraktor melalui biaya terendah.

b. *Multiple Prime*

Menurut (*The Construction Management Association of America*, 2012), *owner* berkontrak langsung kepada konsultan dan beberapa kontraktor khusus sesuai keahlian masing-masing berdasarkan pendekatan penawaran yang kompetitif. Sehingga, *owner* harus memiliki kontrol dan tanggung jawab yang besar terhadap seluruh tahapan konstruksi (Kuprenas dan Rosson, 2012). Kelebihan dari *multiple prime* adalah adanya kesempatan untuk mempercepat tahapan konstruksi sebelum penyelesaian desain 100%, namun *owner* harus memikul tanggung jawab koordinasi antar pihak kontraktor (*The Construction Management Association of America*, 2012).

c. *Design Build*

Design build ditandai dengan kontrak tunggal antara *owner* dengan satu perusahaan *design build*, yang mengerjakan mulai dari perencanaan, penerapan, dan pengendalian seluruh proyek (Carpenter dan Bausman, 2016). *Tim design*

build bertanggung jawab penuh atas semua aspek pembiayaan sesuai pekerjaan yang telah disepakati (Fong dkk, 2014). Menurut Pooyan (2012), kelebihanannya pada durasi proyek berkurang karena *overlapping* antara pekerjaan konstruksi dan desain dan adanya integrasi pengetahuan konstruksi ke fase desain. Sementara, kekurangan bagi *owner* adalah kendali proyek yang terbatas/keterlibatan lebih minim dan tidak menerima penghematan biaya selama proses konstruksi.

II.3.3 Stakeholder

Stakeholder adalah individu, kelompok organisasi baik laki-laki atau perempuan yang memiliki kepentingan, terlibat atau dipengaruhi (*positive* atau *negative*) oleh suatu kegiatan program pembangunan (Hertifah, 2003). Keberhasilan pekerjaan konstruksi sangat tergantung kepada bagaimana para pihak yang terlibat di dalam proyek bersikap satu sama lain. Dalam sebuah proyek biasanya melibatkan banyak sekali organisasi/ institusi/ perusahaan/ *stakeholder* yang berperan aktif maupun tidak. Besar kecilnya peran masing-masing *stakeholder* tetap menentukan jalannya proyek apakah sesuai dengan yang direncanakan, (Bukit 2017).

Menurut PMBOK 2013, *stakeholder* adalah individu, kelompok, atau organisasi yang dapat mempengaruhi, atau menganggap diri mereka dipengaruhi oleh keputusan, kegiatan, atau hasil dari sebuah proyek. (Kristiana R, 2021)

a. Pemilik Proyek (*Owner*)

Pemilik Proyek (*Owner*) adalah nama atau istilah dari amerika utara yang artinya pemilik suatu proyek. (F Ahmad, 2021)

b. Konsultan Perencana

Adalah perusahaan atau lembaga yang memberikan jasa dalam merencanakan suatu bangunan dalam bentuk design secara teknik beserta besar biaya yang diperlukan dan susunan pelaksana dalam bidang administrasi maupun kerja dalam bidang teknik. (F Ahmad, 2021)

c. Konsultan Pengawas

Adalah perusahaan atau lembaga yang bertugas mengawasi pekerjaan secara menyeluruh dari awal sampai akhir pelaksana pembangunan dan meliputi seluruh bidang-bidang keahlian yang diperlukan. (F Ahmad, 2021)

d. Kontraktor Pelaksana

Kontraktor sebagai pelaksana proyek merupakan badan hukum yang dipilih sebagai pelaksana suatu proyek sesuai dengan keahliannya. Sistem kontraktor adalah suatu penawarannya telah diterima dan juga telah menandatangani surat perjanjian pemborong kerja dan pemberi tugas yang berhubungan dengan pekerjaan proyek tersebut. (Triana dan Oktavianto, 2013).

Menurut Handyaningrat (1984) terdapat dua bentuk koordinasi, yakni : koordinasi intern dan koordinasi ekstern.

a. Koordinasi intern.

1. Koordinasi vertikal atau disebut juga koordinasi struktural, dimana antara yang mengkoordinasikan mempunyai hubungan hierarchies secara struktural.
2. Koordinasi horizontal atau koordinasi fungsional, dimana mempunyai kedudukan eselon yang sama antara yang mengkoordinasi dan yang dikoordinasi.
3. Koordinasi diagonal atau koordinasi secara fungsional, dimana pihak yang mengkoordinasikan mempunyai tingkat eselon yang lebih tinggi ketimbang yang dikoordinasikan namun tidak berada pada satu garis komando (line of command).

b. Koordinasi ekstern.

1. Koordinasi ekstern yang bersifat horizontal.
2. Koordinasi ekstern yang bersifat diagonal.

II.4 Teknologi Konstruksi

Menurut (Arman Jayady, 2018) istilah teknologi konstruksi biasanya dikaitkan dengan segala hal yang bersifat *advanced*, *sophistecated*, atau yang memiliki unsur kebaruan dalam dunia konstruksi yang mendukung efisiensi, kualitas, serta daya saing baik dari sisi produk maupun proses.

Teknologi konstruksi sudah mulai berkembang sejak industri 1.0. Pada konstruksi 1.0 dimulai dengan produksi energi dari sumber air dan tenaga uap sebagai sumber mekanik produksi energi (Klinc & Turk, 2019). Sebagian besar berorientasi pada tenaga kerja, dengan tidak banyak disiplin ilmu khusus yang sangat umum saat ini. Desain dan arsitektur, manajemen proyek dan lainnya dikerjakan oleh sekelompok orang yang sama. Hanya dengan peralatan sederhana yang digunakan oleh tenaga kerja untuk pembangunan proyek konstruksi (Rastogi, 2015).

Pada era konstruksi 2.0 mulai mengenal produksi massal dengan penggunaan sumber daya listrik (Nowotarski & Paslawski, 2017). Hal ini memungkinkan produksi massal barang bertenaga listrik atau, dengan kata lain, produksi serial. Proses produksi menjadi lebih relative mudah, menghasilkan produktivitas massal mesin-mesin yang dibantu tenaga kerja dan akibatnya dalam pembentukan kelas menengah sosial dengan kesejahteraan ekonomi (Klinc & Turk, 2019). Tetapi pada era ini konstruksi masih memiliki Sebagian besar kegiatan non-value added dan produktivitas tenaga kerja dan peralatan yang sangat rendah (Rastogi, 2015).

Pada era ini berkaitan dengan penemuan teknologi informasi dan pengenalan teknologi teknologi kedalam produksi serta penggunaan otomatisasi dalam sebuah proses (Nowotarski & Paslawski, 2017). Teknologi arsitektur dan perancangan sudah mengembangkan BIM 2D dan BIM 3D dan juga penerapan konsep *Lean* mulai dikenalkan untuk sistem produksi yang mengeliminasi *waste* (Rastogi, 2015).

Era konstruksi 4.0 berkembang dari revolusi industri 4.0 dan yang telah berkembang dengan sukses di sector manufaktur dan memerlukan penggabungan dunia fisik dan virtual menggunakan *Internet Of Things*, simulasi dan virtualisasi (Temidayo, 2018). Penggerak utama konstruksi 4.0 adalah berbagai teknologi digital dan interkasinya satu sama lain. Penelitian yang ada telah mencatat baik adopsi teknologi dan konsep dari berbagai sektor dan teknologi khusus industry sebagai pendorong yang signifikan (Karmakar & Delhi, 2021). Konsep utama pada era ini adalah kombinasi antara ekosistem digital dan *cyber-physical system* (CPS) untuk mendapatkan paradigma baru pada perancangan dan konstruksi untuk pembangunan. Integrasi antara *cyber*

(komputasi) dan *physical* (fisik) dari sebuah teknologi kemudian menjadi *enabler* (perwujudan) dalam menjalankan konstruksi 4.0 (Sawhney et. Al., 2020)

Menurut Egmond (2012), berdasarkan karakteristik penggunaannya, teknologi dapat dikategorikan menjadi *technoware* (*equipment, tools, dan machines*), *humanware* (*manpower*), *infoware* (*document facts*), dan *orgaware* (*organizational framework*). Dengan dasar pengertian teknologi yang ada, studi mengelompokan teknologi konstruksi menjadi 5 bagian, yaitu: 1) perkakas kerja (*tools*), 2) peralatan berat/besar, 3) material, 4) teknik atau metoda konstruksi, dan perangkat lunak bantu (*software*) Teknologi Konstruksi diartikan sebagai koleksi dari perkakas (*tools*), peralatan (*equipment/machinery*), *material*, *software*, dan metoda/teknik pelaksanaan konstruksi. Tujuan dari pendefinisian ini untuk menjelaskan kepada responden terhadap pertanyaan seberapa penting atau dibutuhkannya jenis-jenis teknologi konstruksi tersebut dan komponen-komponen di dalam setiap jenis teknologi konstruksi.

Salah satu contoh pemanfaatan teknologi digital yang antara lain dapat digunakan untuk mengatasi masalah-masalah yang berkaitan dengan hal-hal sebagai berikut (Mize, 2020):

1. Penjadwalan

Kontraktor terpaksa membatasi jumlah pekerja di lapangan karena adanya ketentuan protokol kesehatan yang harus dipenuhi. Dengan bantuan alat penjadwalan digital, penjadwalan dapat dikelola dengan efektif.

2. Kolaborasi

Kolaborasi yang baik akan sangat menentukan keberhasilan dari suatu proyek. Kunjungan langsung ke lapangan sulit dilakukan disaat pandemi. Aplikasi berbasis *cloud* memungkinkan tim untuk bekerja tanpa harus meninjau lapangan untuk memberikan pembaruan, monitor progres, dan meninjau data keuangan.

3. Komunikasi

Perangkat seluler memungkinkan untuk melakukan panggilan dan konferensi video untuk mendapatkan laporan langsung dari lapangan. Manajer proyek juga

dapat memperbarui data, melacak pengiriman material, dan memantau progress setiap entitas yang terlibat dari kantor atau rumah.

4. Material dan pemasok

Tekanan bisnis konstruksi akibat pandemi mengharuskan perusahaan melakukan peninjauan ulang arus kas dan memprioritaskan pengeluaran. Kontraktor harus mengatur bagaimana material yang dipesan agar dapat digunakan dengan efisien.

5. Analisis data

Kontraktor dapat menggunakan alat digital untuk membantu menganalisis biaya pengeluaran dan jadwal. Dengan kemajuan teknologi, harga aplikasi untuk analisis data telah turun secara perlahan, hal ini membuat aplikasi ini dapat diakses secara lebih luas.

6. *Internet of Things*

Internet of Things dapat membantu memprediksi dan mencegah kemacetan di lokasi kerja, mengoptimalkan penggunaan peralatan, dan meningkatkan efisiensi.

7. Pemasaran

Karena resesi ekonomi yang terjadi akibat pandemi, menyebabkan banyaknya pembatalan proyek, kontraktor perlu menyusun strategi proyek baru. Analisis pemasaran dapat membantu perusahaan menemukan calon pengembang dan klien.

Salah satu kendala umum yang terjadi pada dunia konstruksi yaitu pada pengiriman ‘*delivery*’ yang terfragmentasi dan mengandalkan dokumentasi dan komunikasi berdasarkan kertas ‘*paper-based*’. Kesalahan dan kelalaian dokumentasi dan komunikasi berdasarkan kertas sering mengakibatkan pembengkakan biaya, keterlambatan yang akhirnya menimbulkan konflik dan sengketa antar pihak yang terkait dalam proyek (Januar Pantiga, 2021).

Perkembangan Konstruksi 4.0 perlu didukung oleh 4 komponen fungsional Industri 4.0, yaitu *internet of things*, *internet of services*, *cyber security*, dan *big data*.

Perancangan *big data* menjadi sangat krusial dalam Konstruksi 4.0, karena besarnya data konstruksi yang disimpan, diolah, dan dibagikan memerlukan tingkat keakuratan dan keamanan yang tinggi. Selain itu, data jalan dan jembatan memiliki karakteristik khusus. Untuk itu, perancangan *big data* yang tepat harus memerhatikan 3 faktor, yaitu besarnya data, kecepatan transfer, dan variasi data (Dimas Sigit Dewandaru, 2020).

II.4.1 Digitalisasi Konstruksi

Perkembangan industri 4.0 saat ini telah mengubah tahapan proses bisnis suatu pekerjaan, dengan setiap tahapan pekerjaan menjadi semakin cepat, sederhana, dan efisien. Hal tersebut juga berlaku di bidang konstruksi, yang bertransformasi ke arah digitalisasi, yang dikenal dengan nama Konstruksi 4.0. Penerapan Konstruksi 4.0 ditandai dengan perkembangan pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi guna mencapai efisiensi yang tinggi dan dengan kualitas produk konstruksi yang baik (Dimas Sigit Dewandaru, 2020).

Building Information Modeling (BIM) merupakan paradigma baru bagi para pelaku di industri konstruksi, yang dapat mendorong terintegrasinya antar *stakeholder* suatu proyek. Integrasi ini berpotensi memberikan keselarasan dan efisiensi yang lebih baik diantara para pelaku konstruksi (Januar Pantiga, 2021). BIM adalah sistem informasi untuk mengelola sumber daya informasi yang memproses data/input menjadi informasi dalam bentuk pemodelan bangunan untuk diberikan kepada pelaku proyek dalam aktivitas konstruksi sebagai dasar dalam pengambilan keputusan, proses menghasilkan dan mengelola data bangunan dalam siklus proyeknya. BIM dapat menampilkan informasi-informasi menggunakan tiga dimensi secara *real-time*, *software* bangunan pemodelan dinamis untuk meningkatkan produktivitas dalam membangun desain dan konstruksi. Proses ini menghasilkan Informasi Model Bangunan yang meliputi bangunan geometri, hubungan spatial, informasi geografis, dan jumlah dan sifat dari komponen bangunan. (Hutama dan Sekarsari, 2018). Konsep dan implementasi berbasis teknologi yang lebih baru juga telah mulai berkembang dalam domain konstruksi seiring dengan meningkatnya adopsi BIM. Misalnya, disarankan agar otomatisasi konstruksi, yang dianggap mencakup penggunaan teknologi yang relatif

muda (misalnya lebih muda dari 20 tahun) dalam proses desain dan konstruksi untuk meningkatkan produktivitas, mengikuti protokol BIM untuk pertukaran informasi yang lancar antara pemangku kepentingan (Chenet al.,2018)

(Menurut Rayendra, 2014) Keuntungan layanan BIM :

- a. Meminimalisir desain *lifecycle* dengan meningkatkan kolaborasi antara *owner*, konsultan dan kontraktor
- b. Kualitas tinggi dan akurasi dokumentasi dari proses konstruksi
- c. Teknologi BIM digunakan untuk sistem hidup seluruh bangunan, termasuk fasilitas, operasi dan pemeliharaan
- d. Produk dengan kualitas yang tinggi dapat memperkecil kemungkinan konflik
- e. Pemotongan biaya proyek dan meminimalisir limbah konstruksi
- f. Meningkatkan manajemen konstruksi.

II.4.2 Otomatisasi Konstruksi

Otomatisasi adalah penciptaan dan penerapan teknologi untuk memproduksi dan mengirimkan barang dan jasa dengan intervensi manusia yang minimal. Penerapan teknologi, teknik, dan proses otomatisasi meningkatkan efisiensi, keandalan, dan/atau kecepatan banyak tugas yang sebelumnya dilakukan oleh manusia (La Rivera, 2020). Secara teoritis ORK adalah suatu alat atau proses yang dapat bekerja sendiri dengan hanya sedikit bantuan manusia secara langsung (OED, 2018). ORK merupakan salah satu jenis teknologi konstruksi, sama halnya dengan *Building Information Modeling* (BIM) yang merupakan sekumpulan informasi yang dimunculkan dan dipertahankan sepanjang siklus hidup suatu bangunan (W Shi, 2019).

Proses dan teknologi baru sangat penting untuk meningkatkan produktivitas konstruksi. Interaksi manusia-robotika harus dipertimbangkan agar meminimalisir konflik di masa depan, khusus otomatisasi dan robotika pada bidang konstruksi (Garcia et al, 2020).

II.4.3 Klasifikasi Teknologi Konstruksi 4.0

Tabel 2. 1 Klasifikasi Teknologi Konstruksi 4.0

Klasifikasi ORK

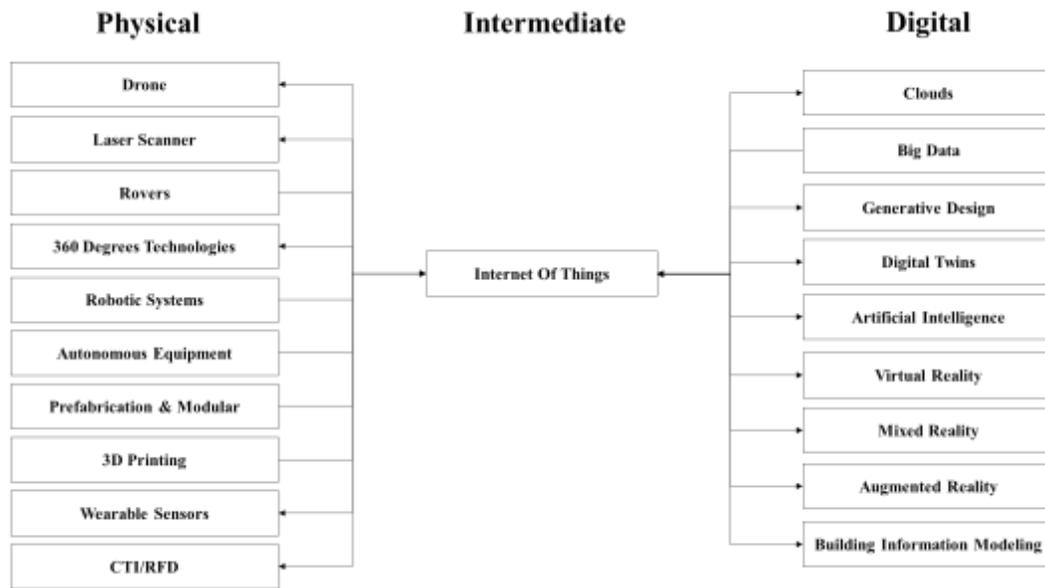
	Teknologi	Deskripsi	Sumber
<i>Reality Computing Technology</i>	<i>Unmanned Aerial Systems (Drones)</i>	Suatu teknologi udara yang dapat bekerja secara mandiri atau dioperasikan dari jarak jauh dengan menggunakan smartphone atau tablet. Drone dapat digunakan untuk mengambil gambar/video dari jarak tertentu. Contoh penggunaan di konstruksi; Monitoring progress, evaluasi kondisi lapangan, inpeksi, dan dokumentasi proyek.	(Bademosi & Issa, 2022), (Irizzay & Costa, 2006), (Xu & Lu, 2018)
	<i>Laser Scanners</i>	Teknologi yang digunakan untuk mendapatkan data dan kondisi real di lapangan, baik dari segi kuantitas dan kualitas. Caranya adalah dengan mengukur lokasi memindainya, dan kemudian mengevaluasinya. Contoh penggunaan di konstruksi; modeling dan mapping site, monitoring konstruksi, inpeksi, dan lain-lain	(Bademosi & Issa, 2022), (Alizadehsa lehi et al, 2015), (Xu & Lu, 2018)
	<i>Rovers</i>	Mesin yang dilengkapi dengan kamera beresolusi tinggi dan sensor perekam yang dapat menavigasi lokasi konstruksi. Contoh penggunaan di konstruksi; <i>Quality Control</i> , untuk mengambil foto di lingkungan kerja, memvalidasi situasi di lapangan, mengidentifikasi permasalahan di lapangan.	(Bademosi & Issa, 2022)
	<i>360-degree Technologies</i>	Alat untuk mengambil gambar dengan menggunakan kamera 360 derajat. Gambar yang dihasilkan dapat merepresentasikan suatu lokasi secara realistis. Contoh penggunaannya di konstruksi: dokumentasi progres. identifikasi dan visualisasi bahaya di lapangan, dan lain-lain.	(Bademosi & Issa, 2022), (Moore et al, 2019)
<i>Visualization Technologies</i>	<i>Virtual Reality (VR)</i>	Teknologi yang memanfaatkan komputer untuk menciptakan suatu lingkungan yang dapat memberikan sensasi nyata pada penggunaanya karena dapat melihat dan berjalan di sekitar model bangunan. Ketika menggunakan kacamata VR, kita seolah-olah ada di lokasi konstruksi. Contoh penggunaannya di konstruksi: estimasi	(Bademosi & Issa, 2022), (Delgado et al, 2020)

		biaya, optimasi layout lokasi proyek, monitoring progres, edukasi, pelatihan, dan lain-lain.	
	Augmented Reality (AR)	Teknologi yang dapat memindahkan informasi digital ke dalam lokasi proyek secara real time. Ketika kita berjalan di lokasi proyek dengan menggunakan kacamata AR, maka kita dapat memonitor dan menginspeksi progres dengan membandingkan antara kondisi di lapangan dengan desain rencana.	(Bademosi & Issa, 2022), (Delgado et al, 2020), (Xu & Lu, 2018)
	Mixed Reality (MR)	Teknologi yang menggabungkan antara virtual dengan lingkungan nyata. Kita bisa melihat objek virtual (3D model) menyatu dengan lingkungan nyata (site konstruksi), sehingga memudahkan untuk inspeksi saat proses konstruksi berlangsung	(Bademosi & Issa, 2022)
	Digital Twins (DT)	Teknologi yang menduplikasi suatu objek real ke dalam bentuk digital. Tujuannya untuk dapat mengoptimalkan pemanfaatan suatu bangunan, menganalisis hal-hal yang tidak terlihat (<i>unforeseen condition</i>), sehingga pemeliharaan yang dilakukan sesuai dengan kondisi ter- <i>update</i> dari bangunan tersebut.	(Bademosi & Issa, 2022), (Kan & Anumba, 2019)
Automation Technologies	Robotic System	Mesin yang dapat diprogram untuk mampu melakukan suatu tindakan secara otomatis. Contoh dalam konstruksi: robot untuk memasang bata, ereksi baja, pengecatan, penyemprotan beton.	(Bademosi & Issa, 2022), (Delgado et al, 2020), (Xu & Lu, 2018)
	Additive Manufacturing (AM) / 3D Printing	Suatu teknologi yang bekerja seperti "printer", untuk mengubah informasi digital (3D model) menjadi bentuk fisik bangunan.	(Bademosi & Issa, 2022)

	<i>Prefabrication and Modularization</i>	Suatu komponen atau material yang dibuat di pabrik lalu kemudian dipindahkan dan bisa di pasang atau dirakit di lokasi proyek.	(Bademosi & Issa, 2022), (Delgado et al, 2020), (Chen et al, 2021)
	<i>Autonomous Equipment</i>	Kendaraan atau peralatan yang diprogram sehingga dapat beroperasi secara otomatis tanpa bantuan tenaga manusia.	(Bademosi & Issa, 2022), (Delgado et al, 2020)
<i>Intelligent System</i>	<i>Internet Of Things (IOT)</i>	Sebuah sistem yang dimana internet akan terhubung dengan dunia nyata melalui sensor yang tersebar di berbagai lokasi. Yang memiliki kapasitas untuk mengatur, berbagi informasi, data, dan sumber daya secara otomatis, serta mampu bereaksi terhadap perubahan situasi dan lingkungan. Biasanya digunakan untuk mengawasi performa dan kondisi suatu objek.	(Bademosi & Issa, 2022), (Wimala & Emanuela, 2022), (Masse et al, 2021)
	<i>Artificial Intelligence (AI)</i>	Sistem yang dibuat untuk mampu menangkap dan menganalisis data dalam jumlah yang besar dan menentukan pola dan tren yang terjadi. Sistem ini memanfaatkan kekuatan mesin untuk dapat memodelkan kecerdasan manusia, menyelesaikan masalah dan menyelesaikan tugas dengan cepat dan akurat	(Bademosi & Issa, 2022)
	<i>Cloud Computing</i>	Sistem yang memanfaatkan internet sebagai tempat penyimpanan data dan aplikasi sehingga mengurangi penggunaan media penyimpanan secara fisik, dan bisa menjamin keamanan data.	(Bademosi & Issa, 2022), (Bello et al, 2021)
	<i>Big Data</i>	Sebuah media penyimpanan data dalam jumlah yang besar, dan juga dapat berfungsi untuk membuat penilaian dan memberikan pengambilan keputusan yang tepat berdasarkan data yang dimiliki.	(Bademosi & Issa, 2022)

<i>Generative Design</i>	Proses eksplorasi desain dengan menggunakan analisis komputasi sehingga dapat menghasilkan kemungkinan desain yang berbeda menyesuaikan dengan Batasan yang diberikan seperti jenis material, bentuk, dan lain-lain.	(Bademosi & Issa, 2022)
<i>Communication and Tracking System/Radio Frequency Identification Device.</i>	Proses eksplorasi desain dengan menggunakan analisis komputasi sehingga dapat menghasilkan kemungkinan desain yang berbeda menyesuaikan dengan Batasan yang diberikan seperti jenis material, bentuk, dan lain-lain.	Bademosi & Issa, 2022), (Xu & Lu, 2018)
<i>Wearable Sensors</i>	Teknologi yang dikombinasikan dengan suatu alat yang dapat dikenakan pada tubuh manusia, sehingga dapat memantau kondisi Kesehatan penggunanya.	Bademosi & Issa, 2022), (Ahn et al, 2019)

Berdasarkan klasifikasi di atas, teknologi konstruksi 4.0 dapat dikelompokkan menjadi sebagai berikut ;



Gambar 2. 3 Hubungan Antar Teknologi

Physical technology dalam konstruksi 4.0 meliputi perangkat keras atau peralatan fisik yang digunakan untuk membangun struktur fisik, seperti alat berat, mesin konstruksi, dan *physical* sendiri dapat difungsikan sebagai alat untuk memperoleh data. *Intermediate technology* meliputi penggunaan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk memfasilitasi proses konstruksi dan meningkatkan efisiensi. *Digital technology* dalam konstruksi 4.0 meliputi penggunaan teknologi digital, seperti *artificial intelligence* (AI), *big data analytics*, *augmented reality* (AR), *virtual reality* (VR), dan *blockchain* untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam industri konstruksi.

II.5 Kesiapan Penerapan Teknologi Konstruksi di Indonesia

II.5.1 Hambatan Penerapan Teknologi Konstruksi

Dibandingkan dengan negara-negara di Asia Tenggara, perkembangan BIM di Indonesia masih sangat lambat (Utomo and Rohman, 2019). Tingkat penggunaan BIM di Indonesia cenderung masih rendah dan level BIM yang digunakan juga masih berada pada tingkatan terbatas pada 3D saja (Mieslenna and Wibowo, 2019). Tingkat implementasi ini jika dibandingkan dengan Malaysia masih terbatas dan mengalami banyak hambatan (Latiffi, Brahim and Fathi, 2016). Permasalahan lainnya berkaitan

dengan biaya peralihan dan kesediaan perangkat teknologi (Juan, Lai and Shih, 2017) dan juga permasalahan biaya yang dapat diselesaikan dengan penyesuaian implementasi BIM terhadap dunia bisnis agar permasalahan dana pada investasi awal dapat teratasi (Dahlberg, 2016). Penggunaan BIM di Indonesia masih terbatas pada perusahaan besar saja dan memiliki keterbatasan pada tingkat koordinasi (Telaga, 2018). Umumnya pelaku AEC masih mengeluhkan investasi biaya awal yang tinggi dalam mengadopsi BIM serta ketidaknyamanan dalam mengubah budaya kerja konvensional menjadi berbasis BIM. Pelaku konstruksi di Indonesia menganggap BIM sebagai alat bantu semata. Sementara di Inggris BIM digunakan pemerintah sebagai strategi pengembangan konstruksi berkelanjutan (Alwan, Jones and Holgate, 2017). Penggunaan BIM di Indonesia telah diatur pemerintah melalui Permen PUPR No. 22/PRT/M/2018 Pasal 13 mengenai kewajiban penggunaan BIM pada bangunan negara kriteria tidak sederhana dengan luas diatas 2000 m² dengan jumlah di atas 2 lantai untuk bangunan berjenis gedung bertingkat (PUPR, 2018). Kewajiban penggunaan BIM di Indonesia masih terbatas dan sumber daya manusia yang belum memiliki kemampuan yang cukup menjadi tantangan tersendiri dalam pengadopsian BIM. Tingkat pengaplikasian BIM di Indonesia sendiri masih relatif minim dan membutuhkan perhatian yang lebih mendalam (Hatmoko et al., 2019). Terdapat tiga faktor terbesar yang menghambat adopsi BIM di Indonesia (Utomo and Rohman, 2019) yaitu: 1) Minimnya *expert* BIM di Indonesia, 2) Minim pengetahuan mengenai manfaat BIM, dan 3) Kebiasaan kerja. Hambatan implementasi BIM umumnya disebabkan oleh koordinasi dan kesadaran diri (Agirachman, Putra and Angkawijaya, 2018).

Dalam penelitian (Ika Novianty dan Jane Sekarsari, 2021) menyebutkan bahwa ada beberapa tantangan yang dihadapi dalam penggunaan teknologi konstruksi 4.0, diantaranya;

1. Tingginya Biaya Investansi (Zhou et al, 2016; Marques et al, 2017; Kiel et al, 2017 ; Theorin et al, 2017; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019; Kemenperin,2018).
2. Hilangnya Ketersediaan Lapangan Pekerjaan (Zhou et al, 2016; Waibel et al, 2017).

3. Kurangnya Keterampilan dan Kompetensi Pekerja (Saucedo-Martinez et al, 2017; Prasetyo Banu et al, 2018).
4. Kurangnya Pengetahuan Tentang Industri Konstruksi 4.0 (Zhou et al, 2016; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019).
5. Kurangnya Infrastruktur Digital (Zhou et al, 2016; Waibel et al, 2017; I Nyoman et al, 2019; Kemenperin, 2018).
6. Masalah Resiko Keamanan Cyber (Zhou et al, 2016; I Nyoman et al, 2019).
7. Masalah Hukum dan Kebijakan Pemerintah (A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019; Kemenperin, 2018).
8. Masalah Lingkungan Hidup (Weyer et al, 2015; Kemenperin, 2018).
9. Masalah Kompleksitas Dalam Mengintegrasikannya (Ras et al, 2017; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019; Prasetyo Banu et al, 2018).
10. Perilaku Enggan Terhadap Perubahan (Mueller et al, 2017b; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019; Kemenperin, 2018).
11. Kurangnya Dukungan Manajemen (Savtschenko et al, 2017; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019).
12. Kurang Tanggap Terhadap Digital (Res et al, 2017; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019; Kemenperin, 2018).
13. Kurangnya Standar Komunikasi dalam Berbagi Data (Meller et al, 2017; Zhou et al, 2016; I Nyoman et al, 2019).
14. Kurang Berkembangnya Potensi Geografis (Kemenperin, 2018).

Upaya dan Strategi yang harus dilakukan untuk menerapkan Konstruksi 4.0 adalah dengan meminimalkan kelemahan dan ancaman dengan bantuan kekuatan dan peluang yang dimiliki, adapun upaya dan strategi paling utama yang dapat dilakukan berdasarkan hasil matriks SWOT adalah sebagai berikut (Ika Novianty dan Jane Sekarsari, 2021) :

1. Memberikan pelatihan kepada karyawan dan masyarakat untuk lebih meningkatkan pengetahuan dan keahlian.
2. Memberikan kesempatan terhadap masyarakat untuk memanfaatkan sumber daya alam agar membuka lapangan pekerjaan

3. Memperbaiki sistem jaringan internet agar tersebar secara merata disetiap daerah
4. Perlahan-lahan mengubah kebiasaan konstruksi konvensional menuju menuju konstruksi digital. Baik dalam segi operasional maupun segi teknis agar dapat lebih efisien dan efektif.

Menurut (Hewitt dan Gambatese, 2002) ada beberapa hambatan dalam penerapan robotik di proyek, yaitu:

1. Keterbatasan dalam kemampuan menjalankan teknologi robotik yang menimbulkan biaya yang besar.
2. Perubahan dan kemajuan teknologi yang terjadi dengan cepat dalam teknologi automation dan pengguna mengalami kesulitan dalam mengikuti perubahan.
3. Menimbulkan biaya yang tinggi untuk memiliki dan mengoperasikan teknologi.
4. Lokasi konstruksi yang unik serta tidak memiliki masalah yang sama.

Pereira et al. (2002), menyimpulkan pekerjaan konstruksi yang banyak dan tidak repetitif membutuhkan penilaian kognitif, kondisi lapangan yang memiliki permukaan tanah tidak rata, tangga, bentang diatas ruang kosong, dll juga menjadi penghambat bagi robot agar bisa beroperasi di lapangan sehingga penggunaan robot tergantung dari sifatnya yang portable, dapat bergerak untuk merasakan lingkungan untuk memproses data dan informasi yang diterima berdasarkan semua informasi yang tersedia untuk melakukan suatu tugas. Lokasi proyek yang cenderung tidak terstruktur merupakan tantangan yang cukup besar untuk mobilitas dan pengenalan lingkungan tempat kerja. (Mahbub, 2008) menyimpulkan bahwa hambatan penerapan robot dalam konstruksi dapat diringkas ke dalam beberapa kategori diantaranya adalah:

1. Ekonomi dan biaya yang dibutuhkan untuk memiliki, memelihara, serta memperbaiki teknologi robot.
2. Faktor lingkungan konstruksi yang bersifat dinamis dan tidak terstruktur.
3. Tugas dan proses pekerjaan konstruksi yang berbeda.
4. Kesulitan teknologi dalam pengembangan serta penggunaan teknologi oleh pekerja.

5. Faktor manusia dan budaya.

Berdasarkan dari data atas hambatan dalam penggunaan teknologi diantaranya adalah;

1. Tingginya Biaya Investansi (Zhou et al, 2016; Marques et al, 2017; Kiel et al, 2017 ; Theorin et al, 2017; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019; Kemenperin,2018).
2. Hilangnya Ketersediaan Lapangan Pekerjaan (Zhou et al, 2016; Waibel et al, 2017).
3. Kurangnya Keterampilan dan Kompetensi Pekerja (Saucedo-Martinez et al, 2017; Prasetyo Banu et al, 2018).
4. Kurangnya Pengetahuan Tentang Industri Konstruksi 4.0 (Zhou et al, 2016; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019).
5. Kurangnya Infrastruktur Digital (Zhou et al, 2016; Waibel et al, 2017; I Nyoman et al, 2019; Kemenperin, 2018).
6. Perubahan dan kemajuan teknologi yang terjadi dengan cepat dalam teknologi automation dan pengguna mengalami kesulitan dalam mengikuti perubahan (Hewitt dan Gambatese, 2002).
7. Kurangnya Dukungan Manajemen (Savtschenko et al, 2017; A, P, Bali, I Nyoman et al, 2019).

II.5.2 Critical Success Factor Penggunaan Teknologi Konstruksi

Berdasarkan penelitian (Abd Rashid et al, 2018) ada beberapa faktor kritis yang menentukan keberhasilan dari penggunaan teknologi konstruksi, diantaranya:

1. Kolaborasi Kerja yang Baik

Kolaborasi kerja yang baik dengan semua pihak mulai dari proses desain, manufaktur, dan konstruksi/instalasi akan menjamin keberhasilan otomatisasi dan robotika (Ismail, Yusuwan, & Baharuddin, 2012). Hal ini akan memecahkan masalah yang terkait dengan antarmuka yang kompleks antara sistem dan memastikan urutan proses yang efisien dalam desain, manufaktur, dan konstruksi / instalasi (Kamar et al., 2014). Menurut penelitian (Meynagh et al., 2014; Yunus et al., 2017) mengkonfirmasi bahwa kolaborasi kerja yang baik sangat penting untuk memastikan keberhasilan otomatisasi dan robotika.

2. Saluran Komunikasi

Saluran komunikasi mengacu pada cara informasi mengalir di dalam organisasi dan dengan organisasi lain. Dalam konstruksi, saluran komunikasi yang efektif antara semua pihak dalam pekerjaan awal proses konstruksi sangat penting untuk memastikan keberhasilan implementasi proyek (Ismail et al., 2012). Otomatisasi dan robotika akan memungkinkan prefabrikasi, pengiriman, dan pasokan komponen yang efektif untuk dilakukan sesuai dengan jadwal proyek (Čuš-Babič dkk., 2014; Kamar dkk., 2014; Nawi dkk., 2016; Yusof dkk., 2015)

3. Koordinasi desain, Manufaktur, Transportasi, dan Instalasi

Otomatisasi dan robotika meningkatkan koordinasi perencanaan di seluruh siklus hidup proyek dalam dalam hal desain, manufaktur, transportasi dan instalasi yang umumnya dianggap sebagai dianggap sulit oleh kontraktor karena sifat industri konstruksi yang terfragmentasi, beragam dan melibatkan banyak pihak (Čuš-Babič dkk., 2014; Nawi dkk., 2016; Tajul dkk., 2017).

4. Keterlibatan selama tahap desain untuk semua anggota tim

Keterlibatan semua anggota tim selama tahap desain akan meningkatkan kinerja proyek melalui pengurangan pemborosan dalam masalah jadwal, biaya, dan hubungan permusuhan (Nawi et al., 2010) sehingga mengurangi kemungkinan membuat desain yang tidak dapat dibangun secara efisien, sehingga mengurangi pengerjaan ulang desain, meningkatkan jadwal proyek, dan membangun penghematan biaya konstruksi (Nawi et al., 2014). Keterlibatan ini hanya dapat berhasil melalui penggunaan otomatisasi dan robotika (Andersson & Lessing, 2017).

5. Tenaga kerja yang berpengalaman dan berkemampuan teknis

Ketersediaan tenaga kerja/staf yang berpengalaman dan terampil merupakan faktor penentu keberhasilan dalam otomatisasi dan robotika (Silva et al., 2016). Otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi membutuhkan tenaga kerja berpengalaman yang mampu melakukan fungsi perencanaan, pengorganisasian, dan pengendalian tingkat tinggi untuk produksi, koordinasi, dan distribusi komponen. Jabar dkk. (2013) menyatakan bahwa tenaga kerja

harus kompeten dan berpengalaman dalam mengelola otomatisasi dan robotika kegiatan konstruksi (Kamar, 2011; Yusof et al., 2015)

6. Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK)

Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) adalah alat pendukung yang vital dan andal terhadap otomatisasi dan robotika untuk meningkatkan desain, tender, perencanaan, pemantauan, distribusi logistik dan proses perbandingan biaya dengan membangun integrasi, data yang akurat dan efektif yang efektif dalam menangani dokumen proyek (Kamar et al., 2009; Yusof et al., 2015).

7. Strategi manajemen risiko

(Hassim & Jaafar, 2009) menyatakan bahwa risiko telah didefinisikan sebagai probabilitas terjadinya beberapa peristiwa yang tidak pasti, tidak dapat diprediksi dan bahkan tidak diinginkan yang akan mengubah prospek profitabilitas pada investasi tertentu. Keberhasilan investasi otomatisasi dan robotika sangat bergantung pada manajemen risiko yang efisien dan efektif. Negara-negara maju memiliki pengalaman yang luas dalam mengelola risiko karena pelajaran dari keberhasilan dan kegagalan otomatisasi dan robotika dalam industri konstruksi. Potensi kerugian dari risiko adalah faktor utama yang menghambat otomatisasi dan robotika dalam aplikasi sistem bangunan industri oleh para pengambil keputusan yang kurang berpengalaman dalam bidang ini (Luo et al., 2015).

8. Perencanaan dan penjadwalan yang ekstensif

Perencanaan dan penjadwalan kegiatan yang ekstensif di awal sangat penting yang akan menghasilkan kinerja proyek yang lebih baik, koordinasi, kontrol ruang lingkup yang lebih baik, dan memastikan kelancaran proyek (Kamar et al., 2014; Yusof et al., 2015).

9. Manajemen rantai pasokan

Tuntutan yang tinggi terhadap pengelolaan rantai pasokan dan kegiatan logistik. Hal ini perlu dikoordinasikan dengan cara yang memungkinkan konstruktor untuk mendapatkan kendali penuh atas proses dengan tujuan untuk

meningkatkan efisiensi dan daya saing (Meynagh et al., 2014; Yusof et al., 2015).

10. Komitmen dari atas ke bawah

(Yusof dkk, 2015) menyatakan bahwa implementasi otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi juga bergantung pada komitmen 'top-down' dan motivasi perusahaan. Sebagai imbalannya, hal ini akan memastikan motivasi dan komitmen dari seluruh tim. (Kamar dkk, 2012) menyatakan bahwa Visi dan komitmen dari dewan manajemen adalah faktor yang paling penting yang menentukan keberhasilan otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi, diikuti dengan keputusan awal untuk menggunakan otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi.

11. Skala ekonomi

Bock dkk., (2014) menyatakan bahwa skala ekonomi membawa manfaat bagi produktivitas dan membantu mengurangi biaya produksi. Skala ekonomi melalui perluasan pasar operasi dan penggunaan teknologi yang berulang-ulang akan memungkinkan investasi yang lebih tinggi dalam memperoleh teknologi yang lebih tinggi (Mahbub, 2008). (Buckett, 2013) Untuk mencapai skala ekonomi, industri harus menargetkan perumahan bernilai lebih tinggi, dari kelas menengah ke atas. Strategi pemasaran ini dimainkan pada kontrol kualitas yang lebih tinggi, kekuatan, konsistensi produk dan kemampuan untuk 'menyesuaikan' perumahan dengan banyak pilihan untuk mempersonalisasi produk.

12. Bermitra

Bermitra dengan pemasok, produsen, kontraktor, dan subkontraktor sejak tahap awal sangat penting untuk memastikan pengiriman komponen dan layanan yang efisien dan tepat waktu. Strategis strategis telah cocok untuk perusahaan besar dan kecil yang memungkinkan banyak peluang untuk meningkatkan bisnis mereka seperti penyebaran produk yang lebih luas tanpa kehadiran fisik yang mahal di pasar, pembagian risiko dan imbalan, pengumpulan sumber daya, pengurangan koordinasi dan koordinasi dan biaya transaksi, kemampuan

untuk berkonsentrasi pada kompetensi inti dan respon yang cepat terhadap kebutuhan pasar. Faktor ini juga penting bagi para pemain industri yang tidak terbiasa dengan otomatisasi dan robotika untuk bergabung dengan perusahaan yang berpengalaman melalui pendekatan kemitraan (Kamar & Hamid, 2011; Lou et al., 2012).

13. Standardisasi

Otomatisasi dan robotika membutuhkan standardisasi seperti yang dinyatakan oleh Buckett (2013) tanpa standarisasi ukuran; ada kemampuan terbatas untuk otomatisasi dan robotika untuk menurunkan biaya. Sebaliknya, tanpa manfaat biaya yang signifikan, hanya ada sedikit keuntungan dari penggunaan standardisasi desain. CITP 2016-2020 mendorong adopsi berbagai teknologi konstruksi yang mempromosikan standarisasi dapat menurunkan biaya pengadaan di muka sementara konstruksi yang lebih berkualitas akan mengurangi pengeluaran yang diarahkan untuk pekerjaan ulang, pemeliharaan, renovasi dan perbaikan. Pada saat yang sama, pendekatan yang lebih efisien terhadap konstruksi akan mendorong penghematan lebih lanjut. (UK-RAS Network, 2016) juga menyatakan bahwa pendorong utama keberhasilan otomatisasi dan robotika berasal dari standarisasi proses manufaktur yang meningkatkan kualitas produk konsumen. (Xue dkk., 2017) di sisi lain menyarankan bahwa desain standardisasi mempromosikan produksi massal produksi massal dan bahwa skala ekonomi dapat mengurangi biaya produk. Hal ini karena standarisasi dapat meningkatkan kemahiran dan produktivitas pekerja, dan mengurangi biaya tenaga kerja.

14. *Building Information Modeling* (BIM)

BIM, perangkat lunak pemodelan 3D, dapat menyelesaikan banyak kesulitan teknis dalam konstruksi pracetak proses. Misalnya, dengan penggunaan BIM dalam industri beton pracetak, biaya rekayasa berkurang, biaya pengerjaan ulang karena kesalahan sangat berkurang. Selain itu dinyatakan bahwa peningkatan lebih lanjut dari teknologi manufaktur adalah solusi yang dapat diandalkan untuk mengatasi kelemahan dan ancaman adopsi teknologi

konstruksi (Soon Ern et al., 2017). Integrasi desain, desain, manufaktur, dan proses konstruksi, serta transparansi informasi tentang material sumber daya di seluruh proses ini akan membawa manfaat yang signifikan bagi semua pemangku kepentingan dalam rantai pasokan (Čuš-Babič et al., 2014).

15. *Virtual Reality* (VR)

Dengan perkembangan teknologi yang pesat, aplikasi *virtual reality* juga dianggap sebagai faktor keberhasilan untuk otomatisasi dan robotika. Seperti yang dinyatakan oleh (Dallasega, Rauch, & Linder, 2018) *Virtual Reality* atau *Mixed Reality* dapat meningkatkan pemahaman pelanggan tentang produk akhir di awal pada fase desain untuk menghindari perubahan yang sia-sia selama pelaksanaan proyek. (Bock, 2006) juga menambahkan bahwa aplikasi *virtual reality* memastikan bahwa pelanggan tidak menjadi bingung dengan banyaknya jumlah pilihan yang banyak, mereka dapat menggunakan *virtual reality* untuk berjalan melalui rumah impian mereka dan dapat mengubah apa pun yang tidak mereka sukai sebelum mereka menandatangani kontrak. Jika mereka menyetujui simulasi rumah dan setuju dengan harga dan persyaratan pembiayaan, sistem CAD/CAM mulai memproduksi komponen dan sel ruangan, yang hampir tidak menyisakan pemborosan. Realitas virtual juga memungkinkan manajer produk dan desainer untuk melihat ide-ide baru baik melalui desain komputer yang canggih atau 'Realitas Virtual' (Alinaitwe et al., 2006).

16. Peningkatan Kecepatan ke pasar

Tugas dilakukan lebih cepat dibandingkan dengan metode manual. Robot memberikan produktivitas yang konsisten dan dapat diprediksi yang mengurangi pengawasan manajemen. Siklus produksi 24 jam adalah keuntungan yang baik dari robotika yang membantu pengurangan biaya produksi dan keberlanjutan yang lebih baik (Ogbemheet al., 2017).

17. Penskalaan dan beradaptasi dengan perubahan permintaan / Fleksibilitas

Robot melakukan lebih banyak tugas karena perangkat lunak dan teknologi persepsi yang telah memperluas kemampuannya. Pemrograman robot menjadi

lebih mudah diakses daripada di masa lalu sehingga pemrogram dapat mencari sumber dan dilatih secara internal. Robot dapat mengotomatiskan banyak tugas dalam satu pengaturan - mengurangi waktu transisi, pelatihan, dan kebutuhan ruang (Ogbemhe et al., 2017)

18. Memenuhi Permintaan yang konsisten

Gerakan robot konsisten, fokus, dan dengan presisi tinggi. Hal ini menghindari hilangnya produktivitas dan pekerjaan ulang yang cenderung terjadi di akhir shift atau minggu kerja karena kelelahan. Kualitas meningkat tanpa tantangan menemukan pekerja terampil untuk mempertahankannya (Ogbemhe et al., 2017).

19. Pengembalian investasi melalui pengurangan biaya dan nilai tambah

Biaya modal dapat dengan cepat dipulihkan karena peningkatan penjualan produk dan laba yang berasal dari produktivitas robot yang tinggi. Biaya pelatihan dan pemeliharaan untuk sistem robotik lebih rendah daripada biaya staf. Siklus hidup robot dapat bertahan melampaui ambang batas impas. Produksi berkualitas tinggi dan prediktabilitas yang terkait dengan penggunaan robot industri mengarah pada peningkatan margin (Ogbemhe et al., 2017; Prasath Kumar et al., 2016).

20. Ketersediaan Pabrik dan Peralatan/Mesin/Teknologi

(Idoro, 2012) mempertimbangkan ketersediaan peralatan sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas. (Alinaitwe dkk, 2009) berpendapat bahwa alasan utama mengapa pertumbuhan produktivitas menjadi buruk adalah tingkat perubahan teknologi dalam industri. Untuk memastikan keberhasilan otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi, pabrik, peralatan, mesin, dan teknologi harus tersedia secara lokal maupun internasional.

21. Faktor Permintaan dan Pasar

(Son dkk., 2010) menyatakan bahwa penggunaan teknologi otomatisasi dan robotika memacu pertumbuhan pasar melalui penyediaan produk dan layanan baru atau yang lebih baik serta pengurangan biaya produksi. Penerimaan pasar dapat diperoleh jika otomatisasi dan robotika memungkinkan memberikan

perasaan kepada pelanggan bahwa mereka dapat mengimplementasikan kebutuhan perumahan individu tanpa biaya tambahan atau dengan biaya yang masuk akal dan tanpa penundaan (Vähä et al., 2013). Hal ini terbukti dengan melihat pangsa pasar, di mana industrialisasi industri konstruksi menunjukkan potensi yang tinggi, kemajuan yang tinggi terhadap industri di negara maju (Abd Hamid et al., 2017).

22. Inisiatif Pemerintah

Beberapa manfaat ekonomi langsung dan tidak langsung dapat diperoleh dari pemanfaatan otomatisasi dan robotika untuk membantu, berkolaborasi, atau menggantikan tenaga kerja manusia. Manfaat ekonomi langsung terutama melibatkan penghematan biaya tenaga kerja, biaya sumber daya, dan biaya pengelolaan limbah, sedangkan manfaat ekonomi tidak langsung manfaat ekonomi tidak langsung mengacu pada penghematan waktu, pengurangan pengerjaan ulang, peningkatan kualitas bangunan, dan kemungkinan insentif dari pemerintah untuk menerapkan inovasi (Pan et al., 2018a). Insentif dari pemerintah pemerintah misalnya Tunjangan Modal Otomatisasi (ACA), Pinjaman Reinvestasi (RA), Dana Strategis Dana Strategis Investasi Dalam Negeri (DISF) di bawah MIDA harus dipertimbangkan oleh organisasi untuk meningkatkan otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi (MIDA, 2016).

23. Metode Pengadaan

Metode pengadaan juga merupakan salah satu faktor keberhasilan otomatisasi dan robotik di sektor konstruksi. (Nawi dkk., 2016) menyarankan bahwa metode pengadaan yang tersedia yang mempromosikan otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi adalah *Design and Build (DB)*, *Integrated Project Delivery*, *Lean Manufacturing*, *Partnering*, *Concurrent Engineering (CE)*, *Supply Chain Management*.

24. Kustomisasi Massal

(Bock & Linner, 2010) menyatakan bahwa inti dari kustomisasi adalah informasi dan komunikasi teknologi yang digunakan untuk membentuk struktur TI yang berkelanjutan di mana aliran informasi tersebut dibuat. Kustomisasi

benar-benar didasarkan pada evolusi dan interkoneksi dari semua berbasis komputer teknologi. Menurut (Din dkk., 2012) Dalam hal ini, kita perlu beralih dari produksi massal produksi komponen untuk kustomisasi massal bangunan di mana desain bangunan dapat dibuat khusus untuk kebutuhan pelanggan tertentu. (Bock, 2006) menambahkan bahwa kustomisasi massal, bukan produksi massal produksi massal, menawarkan pelanggan lebih banyak pilihan dan fleksibilitas desain. Sementara produsen massal berdiri di belakang produk dan layanan dengan harga yang cukup rendah, sehingga hampir semua orang mampu membelinya, sedangkan penyesuaian massal menganjurkan untuk memproduksi barang dan jasa dengan variasi dan penyesuaian yang cukup sehingga semua orang menemukan apa yang mereka inginkan.

25. Produksi Massal

Industrialisasi dengan mempertimbangkan produksi massal akan mengurangi biaya ketika jumlah pekerjaan berada di luar jumlah pesanan ekonomi minimum. Investasi dalam peralatan dan fasilitas otomatisasi dan robotika yang terkait dengan proses industrialisasi dapat dapat dibenarkan secara ekonomi hanya dengan volume produksi yang besar. Volume seperti itu memungkinkan distribusi dari biaya investasi tetap atas sejumlah besar unit produk tanpa terlalu menggembungkannya biaya akhir (Alinaitwe et al., 2006; Warszawski, 2005).

26. Pendidikan dan Pelatihan

Tenaga kerja terampil yang didukung oleh pelatihan berkualitas di semua tingkat sangat penting untuk memastikan keberhasilan implementasi otomatisasi dan robotika di sektor konstruksi. Hal ini membutuhkan pendidikan dan upaya pelatihan perdagangan terutama bagi mereka yang terlibat dalam pembuatan, penanganan, pemosisian dan pemasangan komponen atau produk jadi (Din et al., 2012; Yusof et al., 2015).

27. Peningkatan dan Pembelajaran Berkelanjutan

Implementasi yang sukses tergantung pada kemampuan organisasi untuk mempercepat kurva pembelajaran dari satu proyek ke proyek lainnya. Oleh karena itu, peningkatan dan pembelajaran berkelanjutan dapat mengembangkan

pemahaman perusahaan tentang proses dan prinsip di baliknya karena pengetahuan akan berlipat ganda seiring bertambahnya pengalaman (Cooke-Davies, 2002; Yusof et al., 2015).

28. Sustainability

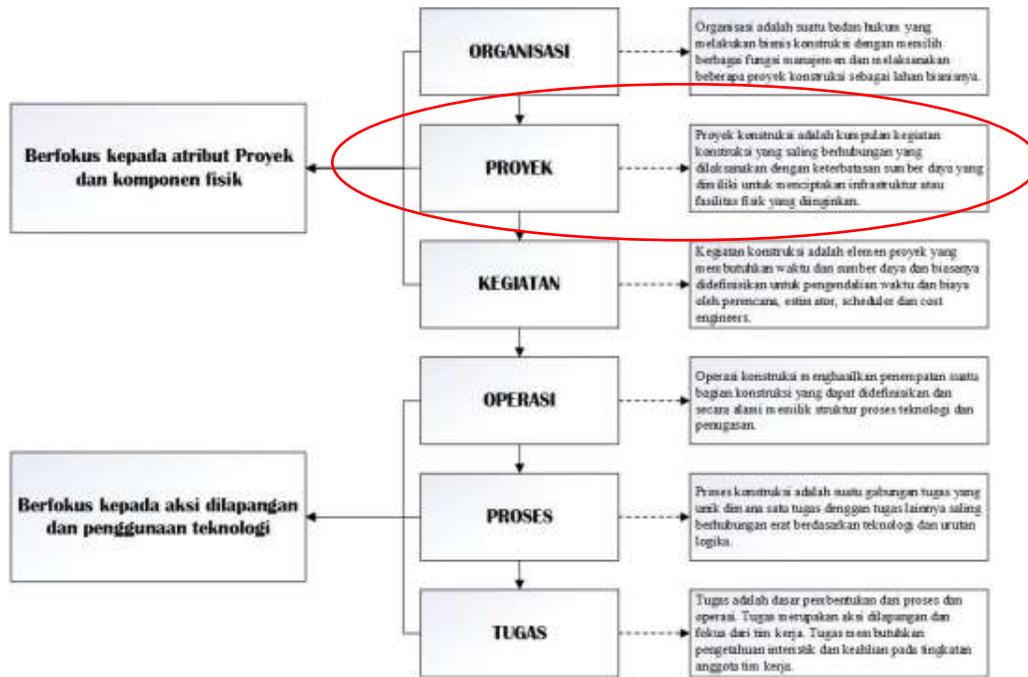
Menurut M. Pan dkk., (2018a) peran penting sektor bangunan dalam memitigasi perubahan iklim dan mewujudkan tujuan pembangunan berkelanjutan telah disoroti dalam agenda global (Paris Perjanjian Paris, 2015; Perserikatan Bangsa-Bangsa, 2015). Namun demikian, pembangunan berkelanjutan dan inovasi berkelanjutan dan inovasi dalam industri bangunan selalu dianggap sebagai masalah dalam banyak aspek (Pan dan Ning, 2014). Kesenjangan kinerja, dan prosedur operasional dan manajemen yang buruk menghambat pencapaian keberlanjutan dan membutuhkan teknologi canggih sebagai penanggulangannya. Dalam hal ini, otomatisasi dan robotika Dalam hal ini, otomatisasi dan robotika dianggap sebagai solusi yang layak untuk meningkatkan kinerja keberlanjutan dengan berbagai cara, seperti pengurangan limbah konstruksi, penghematan sumber daya alam, peningkatan keselamatan di tempat kerja, dan lingkungan hidup yang berkualitas tinggi (Bock dan Linner, 2012; Castro-Lacouture, 2009; Cousineau dan Miura, 1998).

Dari penelitian (Cai Shiyao et al., 2020) mengelompokan Critical Success Factor menjadi 3 bagian yaitu;

Table 2. 1 *Critical Success Factors*

Category	Influence	Factors Parameter
Technological	Interdisciplinary cooperation	The cooperation of universities
		The cooperation of technological companies
		The cooperation of professional vendors
	Continuous R&D	The iteration in R&D and follow-up applications
Technological foresight	Pilot test	The experiment and pilot projects
	Technological foresight	Companies have the foresight to identify future directions, start R&D and implementation
	Organizational	Company size
Human resources		Interdisciplinary technical personnel
		High-skill workers.
Development strategies		Exploring and expanding the business scope. The ambition to become a technological leader and willing to be a pioneer in R&D and implementation.
Organizational structure		Focus on technological research and conducting iterative R&D.
Management system	New management systems to accommodate the new production pattern brought by automation and robotics.	
Environmental	Market demand	Increasing height, more complicated building designs, and growing awareness of safety and quality The automation and robotics trend reduced equipment costs and promoted implementation.
	Competitive pressure	The stiff competition in the market.

II.6 Lingkup Tinjau Penelitian



Gambar 2. 4 Level Hirarki Yang di Tinjau

Penelitian ini meninjau hirarki pada level proyek. Hirarki proyek pada konstruksi, tingkat proses konstruksi yang berfokus pada pengendalian jadwal dan biaya. Hal ini meliputi implementasi teknologi dan sistem yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa proyek konstruksi berjalan sesuai dengan jadwal dan spesifikasi yang telah ditentukan. Contoh pekerjaan yang dilaksanakan pada level proyek konstruksi adalah pembangunan suatu gedung. Sedangkan untuk teknologi yang ditinjau, terdiri dari *Drone*, *BIM*, dan *Virtual Reality (VR)* yang diintegrasikan.

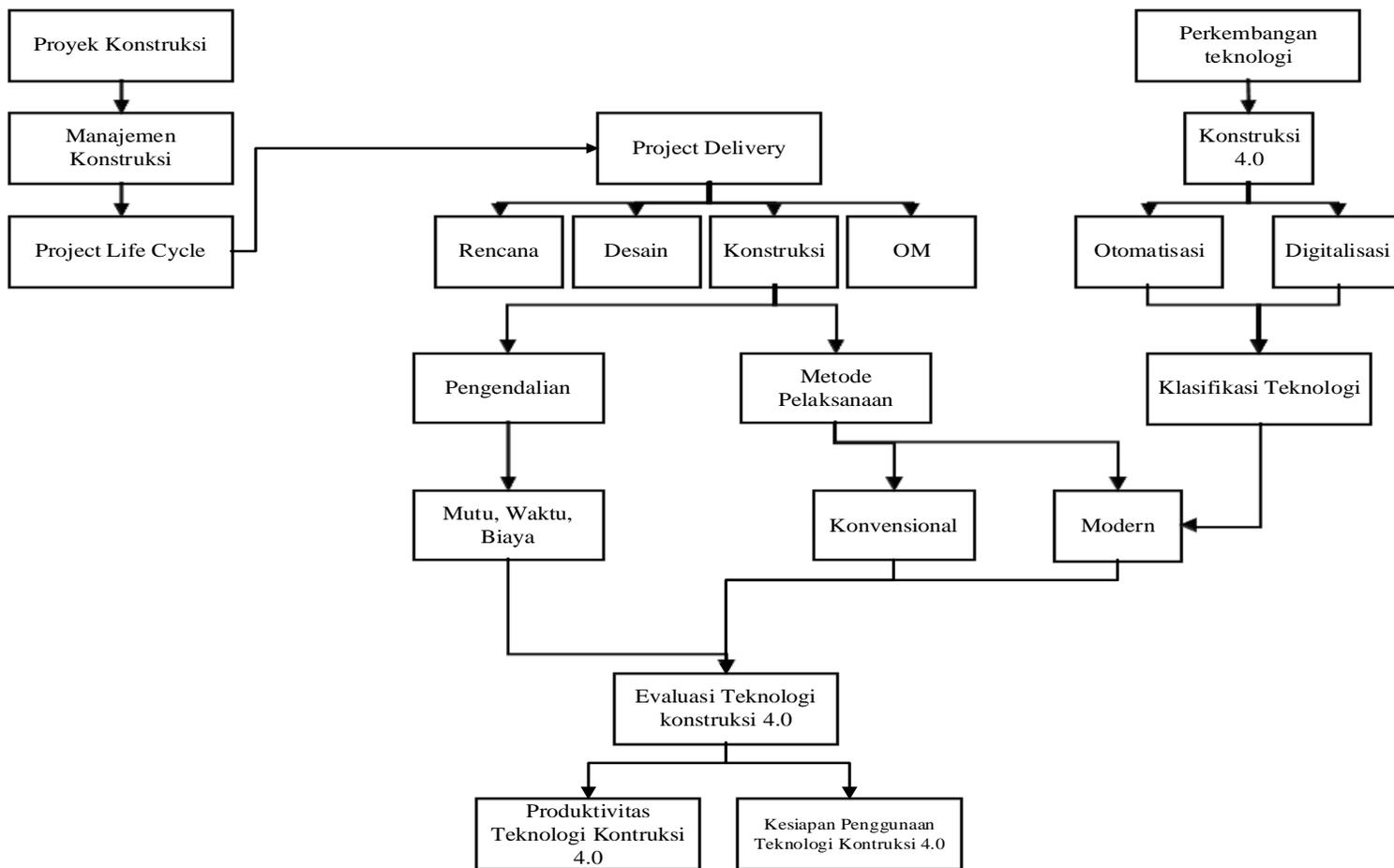
TEKNOLOGI YANG DI TINJAU



Gambar 2. 5 Integrasi Teknologi Konstruksi Yang di Tinjau

Pada penelitian ini akan mengevaluasi kesiapan kontraktor dalam penerapan teknologi konstruksi dengan menggunakan *critical success factor* sebagai paramater, dan mengevaluasi peningkatan produktivitas dengan menghitung produktivitas dari masing-masing teknologi dan teknologi yang di integrasikan.

II.7 Kerangka Berpikir Penelitian



Gambar 2. 6 kerangka berpikir