

Penerapan Evaluasi *Building Information Modelling Maturity* di salah satu Kontraktor BUMN Indonesia

Wisnu Kurnia Praja^{1*}, Jati Utomo Dwi Hatmoko², Ferry Hermawan³

^{1,2,3} Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, 50271, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: Wisnukurniapraja15@students.undip.ac.id

Received 28th May 2023; 1st Revision 12th June 2023; Accepted 28th June 2023

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi sekaligus mendalami tingkat kematangan implementasi BIM pada suatu organisasi yang mengelola proyek infrastruktur. Pengumpulan data diperoleh dari 19 proyek infrastruktur di salah satu BUMN karya di Indonesia yang memiliki karakteristik berbeda melalui kuesioner self assessment terhadap kondisi penggunaan BIM di masing-masing proyek. Penilaian difokuskan pada rangkaian kompetensi BIM, kapabilitas BIM, dan skala organisasi yang hasilnya berupa grade implementasi BIM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika hanya satu proyek yang mendapatkan penilaian maksimal atau termasuk dalam kategori kematangan optimis atau tinggi, maka 42,1% proyek berada pada kategori kematangan terintegrasi atau sedang-tinggi dan 52,6% berada pada tingkat kematangan yang dikelola atau sedang. Kesimpulannya, secara organisasi implementasi BIM yang terjadi berada pada level managed atau medium maturity. Diagram visual kapabilitas dan maturitas BIM disajikan dengan banyak celah yang terjadi dalam kumpulan kompetensi proses seperti produk & layanan, gambar, LOI/LOD, desain BIM, spesifikasi jadwal tersemat, 4D, 5D, manajemen operasi & fasilitas, dan kepemimpinan. Temuan ini menjadi acuan bagi pemangku kepentingan untuk menentukan langkah dan strategi perbaikan dan pengembangan ke depan.

Kata Kunci: *Building Information Modelling; Maturity; Fase konstruksi; Infrastruktur; Self-assessment.*

ABSTRACT

This study aims to evaluate as well as explore the maturity level of BIM implementation of an organization that manages infrastructure projects. Data collection was obtained from 19 infrastructure projects in one of the state-owned enterprises in Indonesia which have different characteristics through self-assessment questionnaires on the conditions of BIM use in each project. The assessment focuses on the BIM competency set, BIM capability, and organization scale; the result is the BIM implementation grade. The results show that if only one project gets a maximum assessment or is included in the optimistic or high maturity category, 42.1% of the projects are in the integrated or medium-high maturity category and 52.6% are in the managed or medium maturity level. In conclusion, organizationally the BIM implementation that has occurred is at the managed or medium maturity level. Visual diagrams of BIM capability and maturity are presented with many gaps occurring in the set of process competencies such as product & service, drawing, LOI/LOD, BIM design, embedded-schedule-spec, 4D, 5D, operation & facility management, and leadership. These findings serve as a reference for stakeholders to determine steps and strategies for improvement and development in the future.

Keywords: *Building Information Modelling; Maturity; Construction phase; Infrastructure; Self-assessment.*

Copyright © Wisnu Kurnia Praja, Jati Utomo Dwi Hatmoko, Ferry Hermawan
This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Building Information Modelling (BIM) mulai banyak digunakan dalam industri konstruksi saat ini. Menurut [27], *Building Information Modelling* adalah seperangkat kebijakan, proses, dan teknologi yang saling berinteraksi yang menghasilkan "metodologi untuk mengelola desain bangunan penting dan data proyek dalam format digital sepanjang siklus hidup bangunan" [22]. BIM juga dapat diartikan sebagai representasi digital dari karakter fisik dan karakter fungsional suatu bangunan atau objek, sehingga mengandung data atau informasi sebagai dasar pengambilan keputusan [18]. Jika dilihat dari jenis proyeknya, penggunaan BIM pada proyek infrastruktur masih tertinggal tiga tahun dibandingkan dengan proyek superstruktur [6]. Meski tertinggal, BIM pada proyek infrastruktur terus meningkat dan menunjukkan tren positif. Beberapa hal yang menjadi kendala penggunaan BIM dalam proyek infrastruktur dijelaskan dalam penelitian [19] yang mengkategorikan tantangan yang terjadi, yaitu: (1) perubahan adat dan budaya tradisional, (2) interoperabilitas dan manajemen informasi, (3) kekayaan intelektual dan tanggung jawab, (4) kesulitan mengukur manfaat, dan (5) kesulitan komputasi. Perbedaan sifat proyek berpengaruh pada kesulitan komputasi dimana proyek infrastruktur mempunyai karakteristik dan kesulitan yang berbeda. Hal ini merupakan tantangan yang perlu mendapat perhatian khusus untuk meningkatkan implementasi BIM pada proyek-proyek infrastruktur di masa mendatang.

Perkembangan digital menjadi salah satu faktor pendorong berkembangnya BIM. Selain itu, tuntutan kecepatan dan kemudahan informasi juga memiliki peranan penting [22]. Beberapa proyek telah menyiapkan fasilitas pendukung pelaksanaan BIM, baik proyek skala kecil maupun organisasi. BIM tidak hanya terbatas pada teknologi perangkat lunak, tetapi banyak faktor yang menentukan, misalnya seberapa efektifnya dalam menyampaikan informasi dan berbagi pengetahuan bahkan dalam memecahkan suatu masalah [23]. Penggunaan BIM tidak hanya ditentukan oleh kecukupan teknologi dan kemampuan personel yang menjalankannya [24]. Perlu didukung oleh semua pihak yang terlibat dalam kegiatan proyek [7]. BIM yang dihasilkan harus mampu menjadi alat yang memfasilitasi komunikasi, perencanaan, dan pemantauan. Oleh karena itu, keberhasilannya juga sangat ditentukan oleh pola pikir para personel proyek, bukan hanya kemampuan untuk membuat atau mengoperasikan BIM. Anggapan bahwa BIM hanya sebagai alat visualisasi cenderung mahal dan rumit [20]. Bahkan pada level project atau client management, kematangan mindset terhadap BIM harus ditingkatkan.

Menurut [11], kemampuan dan kematangan sangat erat kaitannya satu sama lain. Kemampuan personel terkait teknologi dan konsep BIM merupakan tonggak utama yang harus dicapai terlebih dahulu. Selanjutnya tergantung pada proses bisnis yang dijalankan. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa semakin matang setiap proses bisnis, maka peramalan, kontrol, dan kinerja bisnis akan semakin baik [14]. Model kematangan populer diperkenalkan oleh Software Engineering Institute (SEI) [28] sebagai model kematangan kemampuan (CMM). Selain itu, [28] juga menyampaikan konsep model maturitas juga diadopsi di industri lain, seperti model Kematangan Proses Manajemen Proyek (PMP) di industri manajemen proyek, model maturitas rantai pasokan manufaktur (MSCMM) di industri manufaktur dan

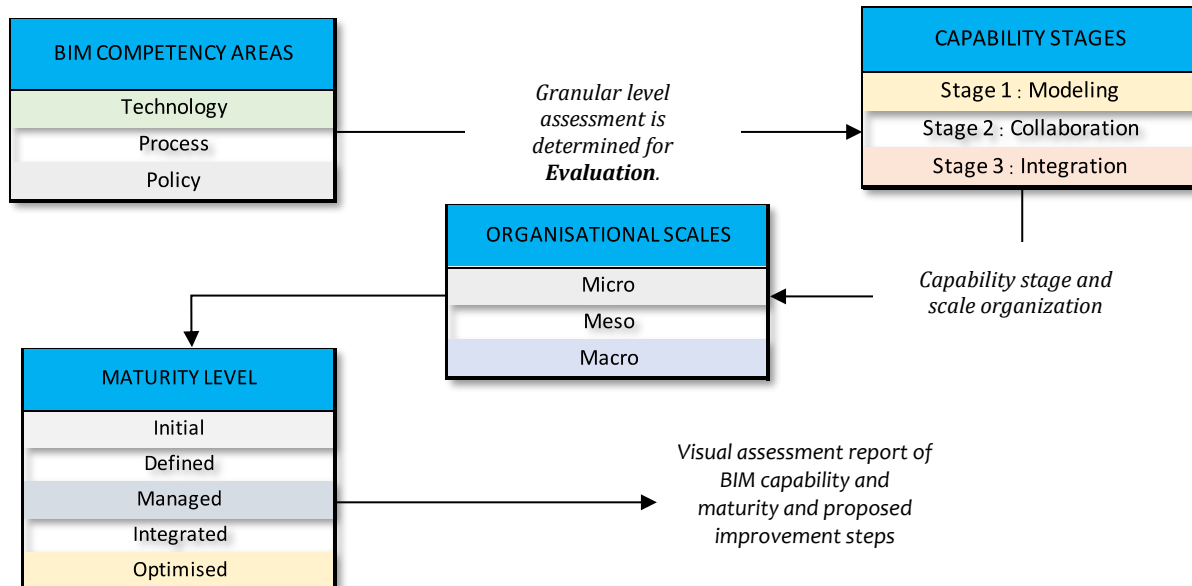
model maturitas transformasi perusahaan ramping di industri kedirgantaraan. Kemudian, anggapan bahwa model tersebut berhasil diterapkan di industri manufaktur, industri konstruksi mulai mencoba mengadopsinya. Namun, hal itu tampaknya tidak bisa langsung diterapkan. Penyesuaian lebih lanjut diperlukan karena industri konstruksi sangat kompleks. Hingga akhirnya penggunaan matriks BIMM menjadi populer di industri konstruksi. Awalnya, kontraktor menggunakan BIM sebagai model perangkat lunak komputer untuk meningkatkan proses pengambilan keputusan dan pengiriman fasilitas [1]. Masalah mulai muncul ketika kesadaran BIM tidak hanya tentang perangkat lunak atau perangkat keras, tetapi orang-orang dengan kualitas tertentu sangat mempengaruhi keberhasilan implementasi [10]. Kemudian, fokus BIM bergeser dan prosedur serta kolaborasi dalam penggunaan BIM menjadi fokus [17]. Proses kolaboratif untuk memfasilitasi komunikasi dan saling ketergantungan antar pemangku kepentingan merupakan poin penting dari BIM [3]. Kemudian [26], menjelaskan matriks untuk mengukur tingkat kematangan implementasi BIM yang terdiri dari tahapan dan area kemampuan dan kematangan yang kemudian didefinisikan pada tingkat kemampuan, skala organisasi untuk melihat seberapa luas pihak yang terlibat, dan terakhir tingkat kematangan untuk menentukan pada tahap apa implementasi BIM saat ini.

Mengacu pada hal tersebut di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengukur sejauh mana implementasi BIM dilakukan pada tahap konstruksi suatu organisasi yang mengelola proyek infrastruktur. Harapannya, setelah mengetahui di level mana penerapan BIM di organisasi, selanjutnya dapat dibandingkan dengan standar yang ingin dicapai yang telah ditentukan sebelumnya. Tidak tercapainya GAP dari target dianalisis penyebab dan masalahnya. Pada akhirnya dapat menentukan langkah-langkah dan strategi perbaikan dan pengembangan untuk meningkatkan implementasi BIM di organisasi.

METODE

Data penelitian diperoleh dari 19 proyek infrastruktur yang memiliki karakteristik berbeda. Semua proyek memiliki wilayah kerja yang luas dan lebih bersifat horizontal, seperti jalan tol, jaringan IPAL, atau terowongan. Hal ini berbeda dengan kasus proyek bangunan yang area kerjanya relatif terfokus, dan tahapannya vertikal. Semua proyek ini saat ini masih dalam pembangunan. Namun tidak semua proyek menerapkan BIM sejak awal konstruksi, beberapa di antaranya setelah proyek berjalan. Pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner dimana pengisiannya merupakan penilaian mandiri terhadap kondisi penggunaan BIM di setiap proyek. Metode penilaian diri dipilih dengan pertimbangan untuk mendapatkan umpan balik dengan tujuan menyesuaikan proses dalam hal mendorong dan meningkatkan kinerja [2]. Namun, ada anggapan bahwa hasil penilaian diri seringkali mendapatkan penilaian yang lebih tinggi dari kondisi sebenarnya karena dilatarbelakangi oleh keinginan untuk mendapatkan nilai setinggi mungkin [27]. Oleh karena itu, perlu menyampaikan tujuan yang jelas kepada responden terlebih dahulu untuk meningkatkan akurasi hasil yang diperoleh [21]; [9]. Di sisi lain, muncul pertanyaan sejauh mana penilaian diri dapat memberikan umpan balik yang konkret. [12] menemukan bahwa perlu menetapkan standar evaluasi sebagai tolok ukur penilaian diri untuk meningkatkan kesadaran akan perbaikan. Formatnya sudah ditentukan sebelumnya sehingga semua proyek memiliki format penilaian yang sama. Sebelumnya juga telah disampaikan dan dijelaskan kepada seluruh responden terkait target yang ingin dicapai oleh organisasi sehingga diharapkan lebih akurat berdasarkan tujuan dan orientasi yang ada. Koresponden adalah personel proyek yang menjalankan BIM di proyeknya sehingga mengetahui secara langsung perkembangan kegiatan, implementasi BIM yang sudah berjalan, dan dukungan manajemen proyek. Sebagian besar, personel ini berada di tingkat staf di bawah Manajer Teknik.

Penelitian ini mengadopsi kerangka acuan penilaian maturitas yang disajikan oleh [28] seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Responden diminta untuk mengisi kuesioner tentang kondisi masing-masing proyek sebagaimana adanya. Uraian parameter area bidang kompetensi dan level kemampuan serta penilaian organisasi (Tabel 1 dan Tabel 2) mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh [26]. Skala pengukuran yang digunakan adalah 1 sampai dengan 5. Selanjutnya kematangan organisasi didefinisikan dalam skala ordinal 5 poin berikut ini, 1: Awal; 2: ditentukan; 3: Dikelola; 4: Terintegrasi; dan 5: Dioptimalkan [28].



Gambar 1. *Abstract* penelitian secara visual

Secara ringkas, isi makalah ini disusun sebagai berikut: setelah pengantar pada Bagian 1 disampaikan, maka gambaran metode yang digunakan dalam penelitian, dan konsep kematangan penilaian dijelaskan pada Bagian 2. Penilaian maturitas BIM dalam organisasi dan proyek serta analisisnya dijelaskan di Bagian 3. Terakhir, Bagian 4 akan mencakup kesimpulan dan nilai tambah dari penilaian yang telah dilakukan serta kemungkinan strategi untuk perbaikan dan pengembangan di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Self-assessment BIM kompetensi area

Hasil self assessment kematangan BIM dalam lingkup bidang kompetensi dibahas secara rinci pada bagian ini. Skala 1 sampai dengan 5 mewakili level atau tingkat kematangan dimulai dari yang paling rendah. Visualisasi dengan diagram web menggambarkan hasil penilaian (Gambar. 2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 22 indikator yang digunakan untuk penilaian, parameter teknologi khususnya perangkat keras memiliki nilai tertinggi. Hal ini sangat wajar karena setiap proyek diharuskan menyediakan perangkat komputer dengan spesifikasi yang memadai untuk mendukung perangkat lunak BIM yang disediakan oleh perusahaan. Perangkat lunak terkait dan indikator jaringan juga dinilai baik. Ini dapat menunjukkan awal yang baik dalam langkah optimalisasi implementasi BIM pada proyek. Indikator penggunaan BIM dalam pengelolaan dan pengoperasian fasilitas memiliki skor terendah dalam penilaian. Hal ini karena tidak ada kewajiban dari pemilik proyek dalam kontrak penggunaan BIM sebagai penunjang selama masa operasional dan pemeliharaan. Meski semua proyek masih dalam tahap konstruksi, diharapkan model BIM yang dibuat dapat digunakan saat operasi dan pemeliharaan nanti. Jadi, indikator yang dimaksud bukan lagi kegunaannya melainkan target dari model data BIM yang harus dibuat.

Tabel 1. BIM kompetensi areas (diadopsi dari [26])

BIM Competency Areas		1	2	3	4	5	
		INITIAL	DEFINED	MANAGED	INTEGRATED	OPTIMISED	
TECHNOLOGY	Software	Applications, deliverables and data	The use of BIM software is unmonitored and unregulated. 3D models are used to produce accurate 2D representations/results. The use, storage and exchange of data is not regulated. Data exchange suffers from weak interoperability	The use of BIM software is taken into account within the project organization. 3D models are used to generate 2D as well as 3D. Data usage, storage and exchange are well organized in the project.	The selection and use of BIM software is controlled and managed according to the specified results. Models are the basis for 3D viewing, 2D representation, quantification, specification, and analytical studies. The use, storage and exchange of data is monitored and controlled. The data flow is well documented and managed. Data exchange is mandatory and closely monitored.	Selection and deployment of BIM software follows strategic objectives, not just operational requirements. Modeling results are well synchronized across projects and tightly integrated with business processes. The use, storage, and exchange of data is mandatory and is carried out as part of the organization's overall strategy.	Selection/use of BIM software continues to be reviewed to increase productivity and align with strategic objectives. Modeling results are evaluated/optimized to take advantage of the latest software functionality and available extensions. Storage, exchange, use of data becomes mandatory which is documented, controlled, reflected and proactively improved
	Hardware	Hardware, deliverables dan mobility	Inadequate hardware; specifications are too low or uneven. Equipment replacement or upgrade is considered an additional cost and is done when it is no longer possible to avoid it	Hardware specifications support for generating BIM product and service deliverables. Hardware is evenly defined, budgeted and standardized. Hardware replacements and upgrades are items that add to the budgeted cost	There is a strategy for transparently documenting, managing, and maintaining BIM hardware. Targeted hardware investment to increase staff mobility (where needed) and increase BIM productivity.	Deployment hardware is treated as supporting BIM. Hardware investments are tightly integrated with financial plans, business strategies, and performance goals.	Innovative hardware and solutions are constantly being tested, improved and deployed. BIM hardware becomes part of the competitive advantage of an organization or project team.
	Network	Network, deliverables and security/access control	The network solution is missing or inconsistent. Individuals, organizations (single/spread locations) and project teams use whatever tools are found to communicate and share data. Stakeholders do not have the network infrastructure needed to manage, store, and share knowledge.	Network solutions support the process of sharing and controlling information among teams. Stakeholders understand their need to share data/information with each other. Organizations and project teams are connected via relatively low bandwidth connections.	Network solutions for collecting, storing and sharing knowledge among organizations are well managed through a common platform (eg intranet or extranet). Content and asset management tools are deployed to manage structured and unstructured data shared over high bandwidth connections.	Network solutions enable BIM processes to be integrated through seamless real-time sharing of data, information and knowledge. The solution includes a project-specific network/portal that enables data-intensive exchange (interoperable exchange) between teams.	Network solutions are constantly being assessed and replaced with the latest proven innovations. Networking facilitates the acquisition, storage and sharing of knowledge among all teams. Optimization of integrated data, consistent processes and communications.
PROCESS	Products & Services	Measuring the extent to which products and services resulting from the BIM process are managed, realized, made into a process that streamlines time, cost and work.	Products and services produced from BIM are still very few, have a limited and inconsistent level of information, there are no guidelines in producing deliverable BIM	Products and services produced from BIM are still few, have a limited and inconsistent level of information, There are guidelines in producing deliverable BIM but their implementation is not consistent	Most of the products and services produced from BIM are used by projects to make work more efficient, have a complete level of information on each component, There are guidelines for producing deliverable BIM and their implementation is consistently implemented.	All Products and services generated from BIM are proactively used by the project to streamline work. There are guidelines for producing deliverable BIM and their implementation is consistently implemented	BIM products and services are continuously evaluated and undergoing continuous improvement.
	- 3D coordination	Mengukur sejauh mana model digunakan sebagai bagian dari koordinasi selama fase desain dan konstruksi	3D models have not been used as a project coordination tool	The project team used several 3D models for coordination but they were not consistently implemented	The project team uses multiple 3D models for coordination on a regular basis		The project team uses all 3D models for routine and documented coordination
	- Drawings	Mengukur sejauh mana 3D model digunakan sebagai dasar produksi shopdrawing	Shop Drawing has not been generated from a 3D model	Some shop drawings are generated from 3D models	Most shop drawings are generated from 3D models	All shop drawings are generated from 3D models	All shop drawings are generated from 3D models, including schedule

Lanjutan

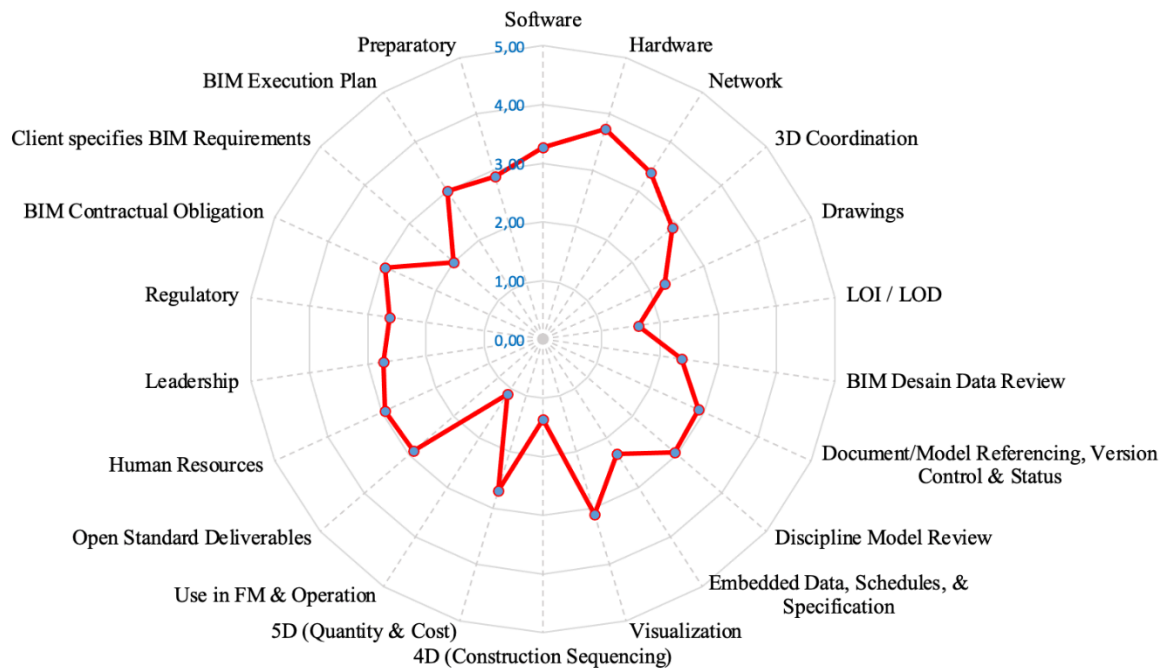
BIM Competency Areas		1	2	3	4	5	
		INITIAL	DEFINED	MANAGED	INTEGRATED	OPTIMISED	
PROCESS	- Level of Information/Detail	Measures the degree to which design results are controlled to convey relevant information to the level of detail specified for each stage of the project	LOD and LOI requirements are initiated by the internal team	The client specifies LOD and LOI requirements for specific disciplines only and no MIDP (Master Information Delivery Plan) is agreed upon	The client specifies LOD and LOI requirements. The project team determined the level of information and detail in accordance with the agreed MIDP (Master Information Delivery Plan), but the implementation has not been consistent	The client specifies LOD and LOI requirements. The project team establishes and implements consistently the level of information and detail in accordance with the agreed MIDP (Master Information Delivery Plan)	the project team and stakeholders, supply chain planners carry out the level of information and detail as planned and in line with industry standards according to client needs.
	- BIM Design Data Review	Measure the extent to which Pre-Bid and Post-contract reviews are carried out to ensure client requirements are met	No review of post-contract BIM design data is carried out	Conducted a review of the post-contract BIM design data	BIM Design Data is reviewed against the BEP as part of the Design Review process		BIM Design Data is reviewed against BEP as part of the process of realizing a construction product
		Measuring the extent to which the model's standard methods and procedures have been carried out	File naming, version control, and state are inconsistent and not set in the BIM execution plan (BEP) or following MP012	Naming, version control, and file state are defined in the BIM execution plan (BEP) or following MP012, but implementation is inconsistent	Naming, version control, and file status are defined in the BIM execution plan (BEP) or following MP012 and implemented consistently	Naming, version control, and file status are set in the BIM execution plan (BEP) or follow MP012 and implemented consistently, and all project documentation identities are structured but not yet fully implemented	Naming, version control, and file status are defined in the BIM execution plan (BEP) or following MP012 and implemented consistently, and all project documentation identities are structured and fully consistent implemented
	- Discipline Model Reviews	Measuring the extent to which the coordination between BIM teams regarding model validation of each discipline and between disciplines is carried out	Checking the conformity of the model to the scope, changes, deliverables and reference standards is only carried out by the modeler himself	Checking the conformity of the model to the scope, changes, deliverables and reference standards is carried out by the modeler with the engineer	Checking the suitability of the model against the scope, changes, deliverables and reference standards is carried out by the Modeler, Engineer, PEM	All project teams check the suitability of the model against certain scopes, changes, deliverables and reference standards as part of the collaboration process, but implementation has not been routinely implemented.	All project teams check the conformity of the model to scope, changes, and deliverables as part of the collaboration process, implementation is carried out regularly
	- Embedded Data, Schedules and Specifications	Measures the extent to which the 3D model contains all relevant data to support the BIM process (specifications, embedded data, schedule)	Embedded Data, Schedules and specifications have not been entered into component properties	a small part of Embedded Data, Schedules and specifications are already included in the component properties	Embedded Data, Schedules and specifications are included in the component properties		
	- Visualisation	Measuring the extent to which model visualization is used as a design communication tool	Visualization of the model in the form of a simple screenshot (screenshot)	The Visualization Model is used to inform the project's internal team through simple visualizations.	Model visualization is used to inform the project's internal team through 3D walkthroughs.	Model visualization is used to inform clients through 3D presentations	Advanced photorealistic rendering/animation taken from the Model for communication of all relevant stakeholders
	- 4D (Construction Sequencing)	The extent to which the model is used for scheduling and tracking work schedules	Model is used for simple scheduling using hide/show view only (visualization only)	The model is used for sequencing only by the project's internal team	The model is used to operate 4D by almost all parties involved in the project (internal and external), but the implementation is not consistent		The model is fully integrated with 4D software which is used for schedule tracking, used to facilitate communication and coordination, its implementation is routinely carried out and documented

Lanjutan

BIM Competency Areas		1	2	3	4	5	
		INITIAL	DEFINED	MANAGED	INTEGRATED	OPTIMISED	
PROCESS	- 5D (Quantity and Cost)	Measures the extent to which the model is used to extract model information into volume, quantity and cost	The schedule (volume and cost) generated from the 3D Model is carried out at the initiative of the modeler/Qs	The 3D model is prepared to issue several work schedules (volume and cost) for the internal needs of the project team (the implementation has not been consistently carried out), only as a comparison with manual calculations (passive)	3D model prepared to issue all work schedules (volume and cost) for the internal needs of the project team and used as a control tool (proactive)	3D model is prepared to issue all work schedules (volume and cost) for internal and external needs, used for cost and time control during the project implementation phase.	
	- Use in Operations and Facility Management	Measures the extent to which the model is developed to support the Operations and Facility Management phases.	Not required in the contract and there is no initiative from the service provider	Not required in the contract and there has been an initiative from the service provider, but not yet structured	The client requires Operation & Maintenance in the contract but there is no detailed information requirements for Operation & Maintenance needs	The client requires Operation & Maintenance in the contract, there are already some detailed information requirements for Operation & Maintenance needs	The model has complete information to be used in Operation & Maintenance when it is handed over to the client
	- Open Standard deliverables	Measuring the extent to which BIM deliverables enable open BIM, e.g. IFC, COBie		Models exported to proprietary software (eg Navisworks, Solibri, GIS)		Export/re-import IFC / COBie as part of the internal exchange of information within the project's BIM	Open BIM data exchange is carried out between all parties in the project (internal external)
	Human Resource: Competence, role and experience	There are no guidelines on the roles and responsibilities of each team member in the project. Productivity depends on individual initiative	The role of BIM is defined informally. The rules of each BIM process are independently planned. BIM competencies are determined and targeted, the enthusiasm for implementing BIM will decrease along with the increase in competence so that productivity cannot be predicted.	Cooperation within the organization is increased due to the availability of a platform for communication and coordination between internal project teams. The role of BIM is clear and the targets to be achieved are implemented more consistently.			BIM competency targets are continuously improved to suit technological advances and in line with organizational goals. Human resource expertise is proactively reviewed to ensure competencies are in line with the targets to be achieved
	Leadership	Managerial Strategy, Innovation and renewal	All managers/senior leaders have different visions of BIM. BIM implementation is carried out without guidelines. BIM is considered a series of technologies, innovations that are not recognized as a business opportunity	All managers/senior leaders have a common view of BIM. The BIM implementation strategy lacks actionable details. BIM is considered as a suite of technologies that change the work processes in projects. Innovation in products and processes is understood, business opportunities emerging from BIM are identified but not exploited	The vision for implementing BIM is communicated and understood by most of the staff. The BIM implementation strategy is combined with the detailed project work plan. BIM is recognized as a set of technologies, processes and policies that need to be managed without impeding innovation. The business opportunities that arise from BIM are recognized and used in marketing efforts.	All staff and project partners share the same vision of BIM. Implementation processes, requirements and product deliverables are integrated with organizational goals. The business opportunities that arise from BIM are part of the advantages that are used to meet client needs.	Stakeholders have fully adopted BIM and are actively pursuing it. The BIM implementation strategy and its impact on the organization are continuously reviewed and aligned with business objectives. If changes are required, they will be proactively implemented. Process innovation and deliverables are carried out continuously without stopping

Tabel 2. BIM capability stage dan organization scale assessment (diadopsi dari [26])

BIM CAPABILITY STAGE		1	2	3	4	5
		INITIAL	DEFINED	MANAGED	INTEGRATED	OPTIMISED
STAGE 1	Use of a single discipline in the Project Cycle Phase	Implementation of object-based 3D models. No process or policy changes were made to guide this implementation.	There is a pilot project. Existence of BIM Process and policy requirements. Implementation strategies and detailed work plans are prepared.	There are standardized and controlled BIM processes and policies.	BIM technologies, processes and policies are integrated into the organization's strategy and aligned with project objectives.	BIM technology, processes and policies are continuously reviewed and improve the quality of implementation
STAGE 2	Modeling-Based Collaboration: Multidisciplinary model, fast model multidisciplinary coordination	Inconsistent BIM collaboration. Lack of trust and respect among project team members	Massive collaboration (one way). Trust and respect have emerged between project team members	Proactive collaboration between project teams; BIM implementation rules are well managed. There is mutual trust, respect, sharing of experiences and appreciation among project team members.	Proactive collaboration is carried out on the project including with external parties such as supply chain, planners and related stakeholders	Collaboration Proactive collaboration is implemented in the project including with all relevant stakeholders. As well as a sense of comfort, trust, respect, and good cooperation between teams
STAGE 3	Network-based integration: interdisciplinary exchange of nD models during Project Lifecycle Phases	BIM implementations are only used by a few people on the project team. BIM implementations are without process guidelines, standards, or protocols. There are no guidelines on the roles and responsibilities of each stakeholder.	BIM implementation is used by most project teams. Implementation follows process guidelines, standards, and protocols. Responsibilities and roles of each stakeholder are clearly defined.	BIM implementation is used by almost all project teams. The responsibilities and roles of each stakeholder are clear and defined in the contract. Risks are managed according to their respective roles and responsibilities	BIM implementation is generated and managed by all project teams. Network-based model integration has become a habit to produce deliverables and solve various problems of product, deliverable, technology, process, policy incompatibility.	BIM implementation and implementation processes are continuously reviewed and optimized. Efficiency, results, and alignment of BIM deliverables are matched by all interdisciplinary project teams. An integrated model is generated and used by all stakeholders throughout project implementation.
ORGANISATIONAL SCALES		1 INITIAL	2 DEFINED	3 MANAGED	4 INTEGRATED	5 OPTIMISED
MICRO SCALE	Single organisations,	There is no BIM Leader. Implementation depends on the bim champion's initiative, but the BIM champion has limited time to support the project team. A BIM champion is a person who has the technical ability and motivation to guide the team in improving processes, encouraging the use of BIM and managing resistance to change (CIC, 2013).	The existence of a BIM leader; Bim champion has sufficient time to support the project team. Project Managers & project teams are starting to understand that there are different rules when implementing BIM compared to without BIM	The Project Manager and the project team have a good understanding of BIM (respective processes and responsibilities), thus complementing each other in managing the implementation process.	Project managers and teams have proven successful in implementing BIM, thus requiring fewer BIM Champions. The roles of each member of the BIM team are integrated into the organizational structure of the project.	The BIM organizational structure in the project continues to evolve to produce the latest innovations and make BIM a habit, so the project does not need a BIM champion
MESO SCALE	Project Teams (multiple organisations)	Each project is run independently. There is no BIM-based collaboration with parties outside the project.		Creating a collaborative environment between several teams in the project with relevant stakeholders (dept. work units, supply chain, planners)	Creating a collaborative environment between all teams in the project and related stakeholders (dept. work units, supply chain, planners)	Creating a collaborative environment in the project and implemented on its own consciousness, as well as creating the latest innovations to increase the benefits of BIM implementation
MACRO SCALE	Markets: dynamics and BIM deliverables	Very few BIM families (components) are made by suppliers. Most components are generated from libraries that are already available in the BIM software	The BIM family (components) are produced by the supplier. The BIM family is becoming more and more available as suppliers are discovering the business benefits of BIM.	BIM components are available through a central repository which is very accessible/searchable. Components are not interactively connected to the supplier database	Access to component repositories integrated into the BIM software. Components interactively connect to the database (for prices, availability, etc.	Dynamic, there is a multi-way exchange of BIM family (components) between all project stakeholders through a central repository.



Gambar 2. *Self assessment* BIM kompetensi

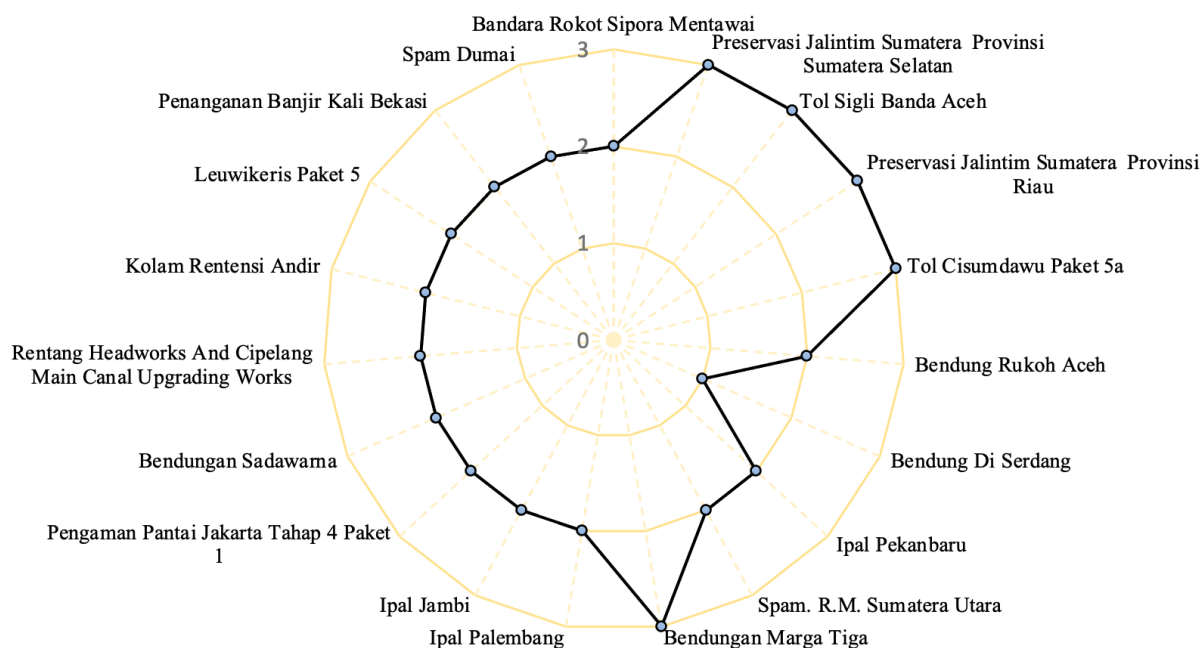
Selain itu, indikator 4D dan LOI/LOD juga masih dinilai rendah dalam penilaian. 4D yang dimaksud adalah BIM telah digunakan pada tahap penjadwalan dan konstruksi [5]; [15]; [16]. Nilai di bawah 2 menunjukkan bahwa penggunaan BIM masih dalam tahap visualisasi sederhana dan bukan pilihan utama untuk informasi tahapan pekerjaan dan penjadwalan. Faktor kompleksitas proyek yang cukup rumit menjadi penyebab utama dimana semua proyek merupakan jenis proyek infrastruktur dengan karakteristik memanjang. Berbeda halnya dengan proyek bangunan, tahapan pengerjaannya relatif lebih terfokus pada lokasi. Pencapaian LOI/LOD yang rendah disebabkan oleh faktor eksternal dimana tidak terdapat terminologi dalam kontrak dan tidak adanya *Master Delivery Information Plan* (MDIP) yang disepakati bersama. Proses yang terjadi masih sebatas inisiatif kontraktor. Indikator LOI/LOD digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil desain digunakan sebagai informasi pada setiap tahapan pekerjaan.

Indikator *client specifies BIM requirements* juga masih mendapatkan rating terendah dengan skor 2. Hal ini menunjukkan belum adanya standar yang ditetapkan oleh klien dalam penerapan BIM di proyek. Kesepakatan yang terjadi masih sebatas pembicaraan informal. Peningkatan hanya dapat terjadi jika didukung oleh pihak eksternal. Oleh karena itu, perlu dilakukan sosialisasi atau BIM *campaign* kepada klien untuk meningkatkan dukungan eksternal di masa mendatang.

Self-assessment* tahap kapabilitas dan *organization scales

Berbeda dengan penilaian sebelumnya, di mana hasil dari setiap proyek tidak terlihat, melainkan tingkat kematangan kompetensi organisasi, pada bagian ini dijelaskan hasil dari tahap kapabilitas untuk setiap proyek (Gambar. 3). Sebagian besar proyek menunjukkan masih berada di level 2, yang berarti telah ada kolaborasi terkait implementasi BIM interdisipliner dimana keluarannya dapat saling melengkapi. Misalnya, dalam menghitung kuantitas pekerjaan, *quantity surveyor* telah menggunakan BIM sebagai alat cek silang dan saat

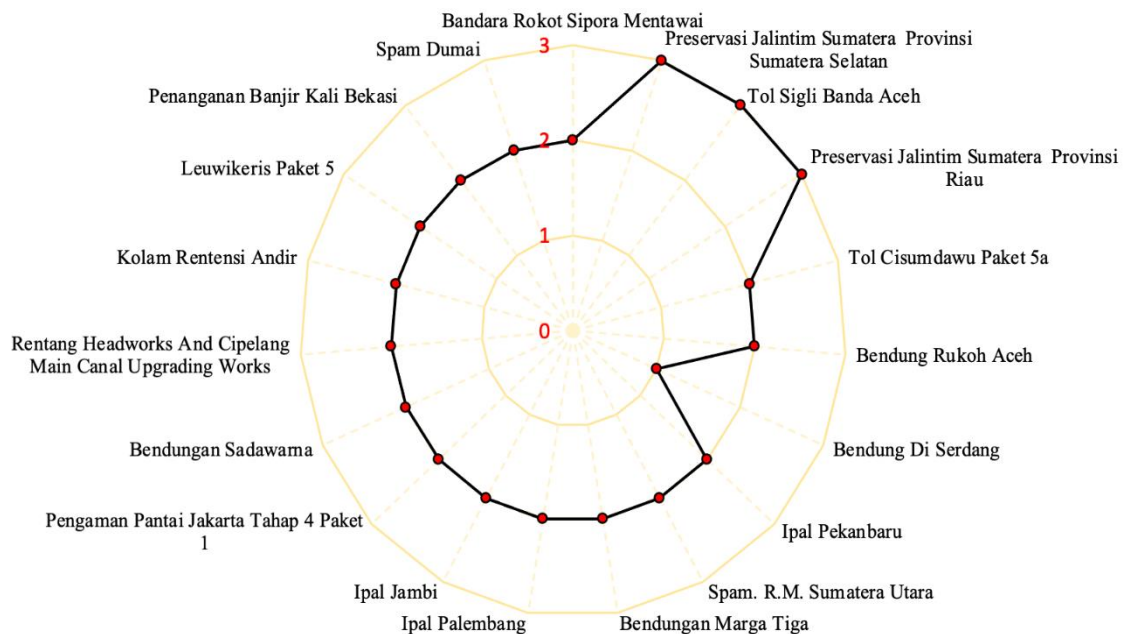
menjelaskan kemajuan pekerjaan kepada klien, telah menggunakan visualisasi BIM sebagai alat untuk memfasilitasi transfer informasi. Visualisasi dilakukan sebagai sarana grafis untuk mengeksplorasi, mengkomunikasikan atau memecahkan masalah logis [4]. Selain itu, sudah ada model kolaborasi, seperti model 3D dengan Revit atau Civil 3D, kemudian dikolaborasikan ke level yang lebih tinggi menggunakan Navisworks untuk memantau jadwal atau langkah kerja. Hanya terdapat lima proyek yang telah mencapai level 3, dimana telah terjadi kerjasama antar proyek multidisiplin baik internal maupun dengan pihak eksternal, namun implementasinya masih terjadi pada sebagian besar personel dari masing-masing pihak yang terlibat dan tidak mencakup seluruh personel. Namun dalam penilaian yang dilakukan, masih terdapat satu proyek yang implementasi BIM-nya hanya dalam lingkup satu disiplin ilmu. Tidak ada interaksi antara personel BIM dengan personel lain dalam hal kerjasama. Hal ini menunjukkan bahwa kesiapan proyek untuk menggunakan BIM masih sangat lemah. Jika dilihat dari faktor pendukung seperti ketersediaan teknologi *hardware* dan *software* sudah mencukupi. Hal ini mungkin karena kurangnya dorongan dari manajemen proyek untuk memaksimalkan penggunaan BIM. Level 3 juga dapat didefinisikan sebagai level implementasi BIM hingga 6D. Model BIM tahap 3 menjadi model nD interdisipliner [13] memungkinkan analisis kompleks pada tahap awal desain dan konstruksi virtual. Setelah mencapai kedewasaan dalam implementasi tahap 1, personel BIM akan mengenali manfaat potensial dari melibatkan personel desain dan konstruksi lain dengan kemampuan pemodelan serupa. Kesadaran dan tindakan selanjutnya akan membawa personel ini ke perubahan revolusioner lainnya yaitu kolaborasi berbasis model [25].



Gambar 3. *Capability stage* penggunaan BIM tiap proyek

Hasil asesmen kapabilitas tersebut dapat dikatakan didukung oleh hasil asesmen implementasi BIM pada skala organisasi (Gambar 4). Tahap penilaian kapabilitas menunjukkan hasil yang hampir sama dengan implementasi BIM dalam skala organisasi. Penilaian skala organisasi menunjukkan tingkat keterlibatan pemangku kepentingan dalam implementasi BIM. Sebagian besar proyek masuk dalam kategori *mesoscale*, dimana implementasi BIM sudah terjadi di beberapa organisasi, sehingga tidak terbatas pada organisasi kontraktor saja tetapi sudah

melibatkan pihak luar seperti klien atau konsultan walaupun belum aktif. Secara umum, proyek dengan hasil yang baik pada tahap asesmen kapabilitas cenderung mendapatkan peringkat yang baik dari segi skala organisasinya. Hanya ada dua proyek yang mengalami anomali seperti proyek Tol Cisumdawu Paket 5a dan Bendungan Margatiga. Kolaborasi penggunaan BIM yang baik telah terjadi antar personel proyek namun kemungkinan besar belum melibatkan pihak eksternal.

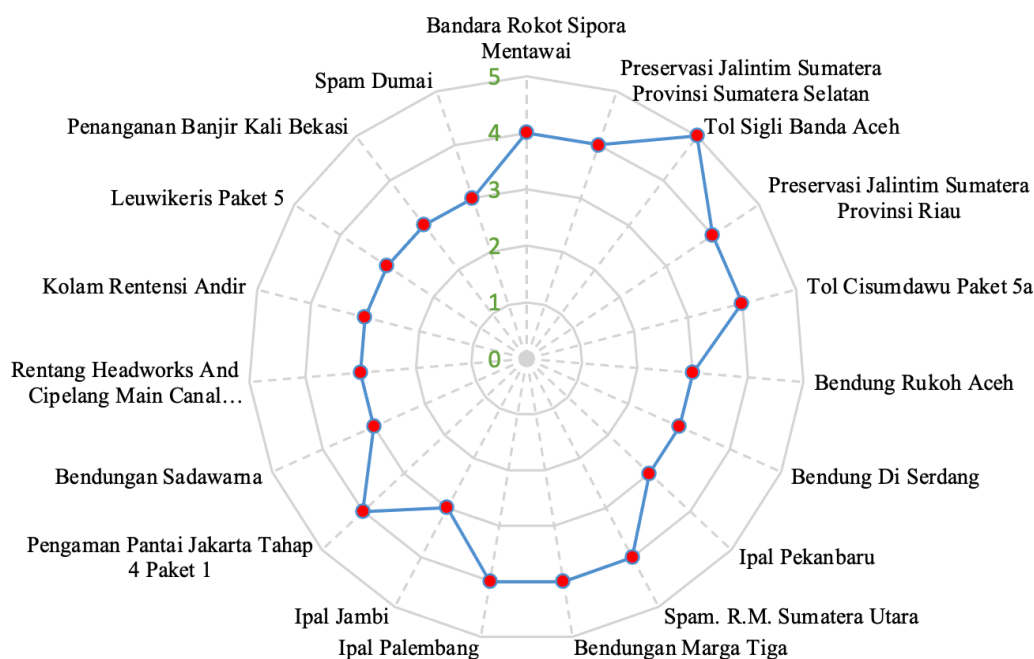


Gambar 4. Implementasi BIM dalam skala organisasi

Kolaborasi BIM internal dan eksternal selama proses dan fase dilakukan oleh karyawan dan/atau pemangku kepentingan, dan format interoperable yang digunakan di semua fase [30] adalah salah satu yang dinilai. Lebih jauh lagi, semakin tinggi tingkat integrasi anggota tim pada tahap desain awal, semakin besar peluang memperoleh manfaat maksimal dari BIM. Namun pada kedua proyek tersebut, hal tersebut tidak terjadi secara optimal. Berbeda dengan ketiga proyek yang mendapat penilaian 3, interaksi antar organisasi baik kontraktor, klien, maupun konsultan sudah berjalan dengan baik. Penggunaan BIM CDE 360 menjadi parameter dimana image approval dari hasil BIM tidak lagi dilakukan secara manual tetapi sudah didigitalkan melalui aplikasi. Tidak hanya itu, jika ada ketidaksesuaian di lapangan dalam hal rambu-rambu K3 misalnya, konsultan dapat memberikan catatan kepada kontraktor untuk segera memperbaikinya. Begitu juga jika record sudah diperbaiki, kontraktor dapat mengajukan permintaan penyelesaian perbaikan kepada konsultan melalui aplikasi. Tentunya ini akan membuat prosesnya menjadi lebih mudah dan cepat. Selain itu, semua data akan didokumentasikan dengan baik.

Maturity level

Selanjutnya, dari seluruh hasil penilaian di atas, diambil kesimpulan untuk mengukur pada level mana masing-masing proyek dalam penerapan BIM (Gambar 5).



Gambar 5. Grade implementasi BIM tiap proyek

Tabel 3. Hasil *self assessment maturity* BIM tiap proyek dan organisasi

No	Project	Project Code	Total Score	Grade
1	Bandara Rokot Sipora Mentawai	A	3,74	Integrated
2	Preservasi Jalintim Provinsi Sumsel	B	3,69	Integrated
3	Tol Sigli Banda Aceh	C	4,19	Optimised
4	Preservasi Jalintim Provinsi Riau	D	3,61	Integrated
5	Tol Cisumdawu Paket 5a	E	3,32	Integrated
6	Bendung Rukoh Aceh	F	2,41	Managed
7	Bendung Di Serdang	G	2,47	Managed
8	Ipal Pekanbaru	H	2,74	Managed
9	Spam. R.M. Sumatera Utara	I	3,83	Integrated
10	Bendungan Marga Tiga	J	3,24	Integrated
11	Ipal Palembang	K	3,55	Integrated
12	Ipal Jambi	L	2,88	Managed
13	Pengaman Pantai Jakarta Tahap 4 Paket 1	M	3,17	Integrated
14	Bendungan Sadawarna	N	2,40	Managed
15	Cipelang Main Canal Upgrading Works	O	2,27	Managed
16	Kolam Rentensi Andir	P	2,78	Managed
17	Leuwikeris Paket 5	Q	2,33	Defined
18	Penanganan Banjir Kali Bekasi	R	2,43	Managed
19	Spam Dumai	S	2,04	Managed
	(\bar{x})		3,00	Managed
	Standar Deviasi (S)		0,64	
	Modus			Managed

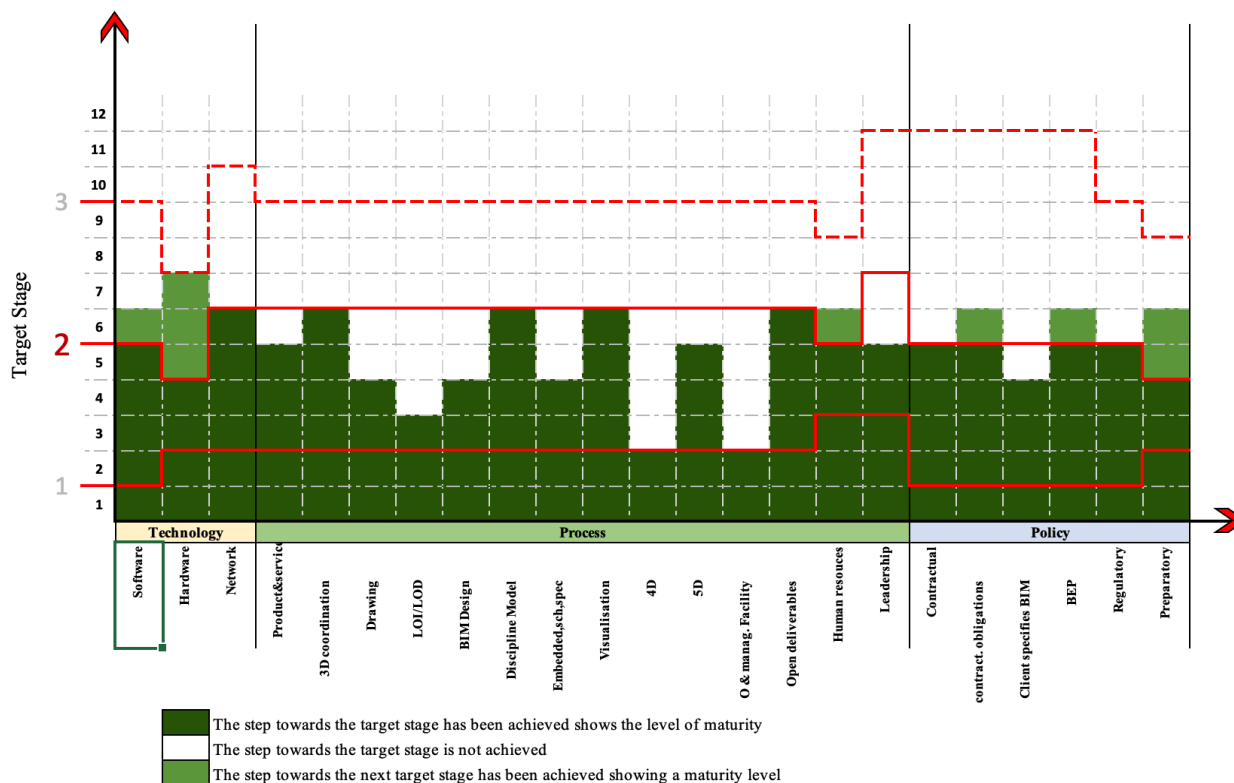
Hanya ada satu proyek yang mendapatkan penilaian maksimal atau masuk dalam kategori optimis atau kematangan tinggi. Artinya, dalam proyek tersebut proses BIM terus diperbaiki dan ditingkatkan dengan inovasi terbaru dan proses teknologi yang diselaraskan berdasarkan tujuan bisnis dan tingkat kinerja organisasi. Sebanyak 42,1% proyek dikategorikan sebagai proyek terintegrasi atau maturitas sedang-tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa dalam proyek proses BIM telah terintegrasi dengan semua proses manajemen proyek. Setiap proses dapat menghasilkan output yang dapat dihitung secara terukur sehingga dapat mengevaluasi dan memprediksi kinerja proses sehingga dapat dilakukan tindakan mitigasi dan perbaikan sesuai kebutuhan. Sisanya 52,6% berada pada tingkat kematangan terkelola atau sedang. Pelaksanaan BIM disesuaikan dengan standar kebijakan organisasi sesuai dengan kebutuhan proyek. Menjadikan pembelajaran dari implementasi BIM sebagai masukan dalam perbaikan proses organisasi. Selanjutnya, hasil maturitas proyek menjadi dasar tingkat maturitas pada level organisasi (Tabel 3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara organisasi implementasi BIM yang terjadi berada pada level *managed* atau *medium maturity*.

GAP hasil assessment maturity terhadap target

Penilaian mandiri dimaksudkan untuk menentukan kesenjangan antara target dan pencapaian. Secara organisasi, tingkat kematangan implementasi BIM berada pada level yang dikelola. Begitu pula jika melihat hasil dari masing-masing proyek, kebanyakan berada pada posisi yang dikelola. Dari hasil kuesioner, organisasi menetapkan level maturitasnya di *stage 2*. Kemudian, analisis dilakukan menggunakan Laporan Visual Penilaian Kemampuan dan Kematangan BIM hipotetik yang dimulai oleh [25] tetapi sedikit modifikasi dilakukan terkait kompetensi bidang (x-axis) sesuai dengan kebutuhan organisasi, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6. Hasilnya, kompetensi teknologi yang ditetapkan telah mencapai target dan bahkan indikator perangkat lunak dan perangkat keras telah melampaui target yang ditetapkan. Sedangkan kompetensi proses masih banyak yang belum mencapai target seperti *product & service, drawing, LOI/LOD, BIM design, embedded-schedule-spec, 4D, 5D, operation & Facility management, dan leadership*. Hanya indikator sumber daya manusia yang telah melampaui target. Hanya indikator *human resource* yang telah melebihi target. Pada set kompetensi *Policy* hanya ada satu indikator yang tidak mencapai target yaitu pada basis kontraktual *client specifies BIM*. Bahkan indikator *contract obligation, BEP dan preparatory* telah melebihi target yang ditetapkan organisasi.

Berkaitan dengan hasil penilaian di atas dimana himpunan kompetensi proses masih di bawah target, [27] dikatakan bahwa ranah himpunan kompetensi BIM dibagi menjadi tiga yaitu yaitu *players, requirements* dan *deliverables*. Serangkaian kompetensi proses dapat diklasifikasikan ke dalam domain " *players* " dan " *deliverables* ". *Players* adalah apa yang dijalankan sementara *deliverables* adalah apa yang diproduksi. Tentu saja, keduanya terkait erat. Jika mengacu pada level teori proses yang diinisiasi [8] dimana level proses dibagi menjadi tiga yaitu 1. Level Struktural : Ini adalah lapisan pemrosesan superfisial dimana kita hanya memperhatikan tampilan luar dari sebuah kata (misalnya morfologi) , 2 Level fonetik: Ini adalah level pemrosesan yang lebih dalam di mana kita mendengarkan bunyi kata, dan 3. Level semantik: Ini adalah level pemrosesan terdalam di mana kita mempertimbangkan makna kata. Proses yang terjadi masih terbatas pada tataran fonetis. BIM masih berjalan sesuai yang dipahami belum ada keinginan untuk mengembangkannya. Artinya, tidak adanya kesadaran dan pemahaman mendalam tentang BIM memiliki banyak manfaat, terutama mengarah pada pengurangan kesalahan dan konflik yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi proyek. BIM masih dipahami sebagai kecanggihan teknologi dan berguna dalam visualisasi saja. Terlihat bahwa domain *deliverables* seperti *drawing, LOI/LOD, atau 4D dan 5D* masih rendah. Oleh

karena itu, menurut pandangan peneliti, pendidikan dan pelatihan BIM perlu dilakukan untuk meningkatkan lag yang masih terjadi. Kondisi ini juga didukung oleh temuan [29] bahwa pendidikan dan pelatihan BIM untuk Pemain berperan penting dalam keberhasilan implementasi BIM dengan manfaat yang praktis dan dapat dicapai. Harapannya tidak hanya diberikan kepada personel BIM tetapi seluruh personel proyek termasuk klien dan konsultan sehingga tercipta kerjasama yang baik.



Gambar 6. Visual diagram penilaian kemampuan dan kematangan BIM hasil penelitian

KESIMPULAN

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi sekaligus mengeksplorasi tingkat kematangan implementasi BIM organisasi dengan menggunakan sembilan belas proyek konstruksi di salah satu BUMN Karya sebagai studi kasus. Setiap proyek dinilai sendiri mengenai kumpulan kompetensi BIM, kemampuan BIM, dan skala organisasi. Analisis lebih lanjut dilakukan untuk mengetahui posisi grade implementasi BIM yang telah berjalan di organisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika hanya satu proyek yang mendapatkan penilaian maksimal atau termasuk dalam kategori kematangan optimis atau tinggi, maka 42,1% proyek berada pada kategori kematangan terintegrasi atau sedang-tinggi dan 52,6% berada pada tingkat kematangan yang dikelola atau sedang. Artinya secara organisasi implementasi BIM yang terjadi berada pada level managed atau medium maturity. Kondisi ini masih di bawah target yang ditetapkan organisasi. Untuk memfasilitasi evaluasi, Laporan Visual Penilaian Kemampuan dan Kematangan BIM hipotetis disajikan yang diprakarsai oleh [27] dengan sedikit modifikasi sesuai dengan kondisi organisasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi implementasi BIM serta kesenjangan yang masih terjadi. Kemudian juga disajikan strategi-strategi perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan prestasi di masa mendatang. Hal ini dapat menjadi masukan sekaligus pandangan bagi pemangku kepentingan dalam organisasi. Penelitian lebih lanjut dapat

dilakukan dengan pengembangan dari sudut pandang klien dan/atau konsultan sehingga diharapkan hasil yang diperoleh jauh lebih komprehensif.

REFERENSI

- [1] AGC (2006). "The Contractors' Guide to BIM, The Associated General Contractors of America", available at: www.ipdca.net/images/Integrated%20Project%20Delivery%20Definition.pdf (accessed 1 February 2023).
- [2] Andrade HL. (2019). "A Critical Review of Research on Student Self-Assessment". *Front. Educ.* 4:87. DOI: 10.3389/educ.2019.00087.
- [3] Ashcraft, H.W. (2008). Building information modeling: a framework for collaboration, *Construction Lawyer*, Vol. 28 No. 3, pp. 1-14.
- [4] Card, S.K. & Mackinlay, J. (1997). "The structure of the information visualization design space", *IEEE Symposium on Information Visualization*, Phoenix, AZ, USA, vol. 125, pp. 92-99.
- [5] Ding, L., Zhou, Y. & Akinici, B. (2014). "Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable nD", *Autom. Constr.* 46, pp. 82-93.
- [6] Dodge Data & Analytics. (2017). "SmartMarket Report the Business Value of BIM for Infrastructure", pp. 1-68.
- [7] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). "A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors".
- [8] Fergus I. M. Craik & Robert S. L. (1972). "Levels of Processing: A Framework for Memory Research", *Journal of verbal learning and verbal behavior* 11, 671-684.
- [9] Fitzpatrick, B. & Schulz, H. (2016). "Teaching young students to self-assess critically", Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (Washington, DC).
- [10] Gilligan, B. & Kunz, J. (2007). "VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity, Technical Report, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University", Stanford, CA, 4 December.
- [11] Hutchinson, A. & Finnemore, M. (1999). "Standardized process improvement for construction enterprises", *Total Qual. Manag.* 10, pp. 576-583.
- [12] Kitsantas, A., & Zimmerman, B. J. (2006). "Enhancing self-regulation of practice: the influence of graphing and self-evaluative standards. *Metacogn*". *Learn.* 1, pp. 201-212. DOI: 10.1007/s11409-006-9000-7.
- [13] Lee, A., Wu, S., Marshall-Ponting, A.J., Aouad, G., Cooper, R., Koh, I., Fu, C., Betts, M., Kagioglou, M. & Fischer, M. (2003). "Developing a Vision of nD-Enabled Construction, University of Salford", Salford.
- [14] Lockamy, A. & McCormack, K. (2004). "The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 9 No. 4, pp. 272-278.
- [15] Mayouf, M., Gerges, M., & Cox, S. (2018). "5D BIM: an investigation into the

- integration of quantity surveyors within the BIM process”, *Journal of Engineering, Design and Technology* 13 (3) pp. 537-553.
- [16] Mesároš, P., Smetanková, J. & Mandičák, T. (2019). “The fifth dimension of BIM–implementation survey”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 222.
- [17] McGraw-Hill (2009). “SmartMarket Report – The Business Value of BIM: Getting Building Information Modeling to the Bottom Line”, available at: www.bim.construction.com/research/ (accessed 28 January 2021).
- [18] National Institute of Building Sciences. (2012). “National BIM Standard - United States Version 2”, NIBS, United States of America.
- [19] Oktem, S., Ergen, E. & Akcamete, A. (2018). “BIM Implementation in Infrastructure Projects: Benefits and challenges”, 5 th International Project and Construction Management Conference (IPCMC2018).
- [20] Othman, I., Al-Ashmore, Y.Y., Rahmawati, Y., Amran, Y.H.M. & Al-Bared, M.A.M. (2021). “The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia”, *Ain Shams Engineering Journal* 12, pp. 455-463.
- [21] Panadero, E., & Romero, M. (2014). “To rubric or not to rubric? The effects of self-assessment on self-regulation, performance, and self-efficacy”, *Assess. Educ.* 21, pp. 133–148. DOI: 10.1080/0969594X.2013.877872.
- [22] Penttilä, H. (2006). “Describing the Changes in Architectural Information Technology To Understand Design Complexity And Free-Form Architectural Expression”, *ITcon*, 11(Special Issue the Effects of CAD on Building Form and Design Quality), pp.395-408.
- [23] Samimpay, R. & Saghatforoush, E. (2020). “Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects”, *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 10(2), pp. 123-140.
- [24] Sampaio A.Z., Novais J.N. & Oliveira J.P. (2019). “Analysis of BIM Implementation in Structural Projects”, 1st Congress of Numerical Methods in Engineering, 1st to 3rd July 2019, University of Minho, Guimarães, Portugal.
- [25] Succar, B. (2009). “Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders”, *Automation in Construction*, 18(3), pp. 357-375.
- [26] Succar, B. (2010). “Building information modeling maturity matrix, *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*”, Information Science Publishing, Hershey, PA, pp. 65-103.
- [27] Tejeiro, R. A., Gomez-Vallecillo, J. L., Romero, A. F., Pelegrina, M., Wallace, A., & Emberley, E. (2012). “Summative self-assessment in higher education: implications of its counting towards the final mark”, *Electron. J. Res. Educ. Psychol.* 10, pp. 789–812.
- [28] Vaidyanathan, K. & Howell, G. (2007). “Construction supply chain maturity model – conceptual framework”, *Proceedings of the International Group for Lean Construction*, Lansing, MI, USA, pp. 170-180.
- [29] Yang, J.B. & Chou, H.Y. (2019). “Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders”, *Automation in Construction* 106.
- [30] Yilmaz, G., Akcamete, A. & Demirors, O. (2019). “A reference model for BIM capability assessments”, *Automation in Construction* 101, pp. 245-263.