

ANALISIS PELUANG PENGGUNAAN METODE PEMINDAI LASER 3 DIMENSI UNTUK PENJAMINAN MUTU DI ERA INDUSTRI 4.0 PADA PROYEK KONSTRUKSI DI INDONESIA

Christian Martua Pasaribu¹, Lusiana Idawati², Manlian Ronald A. Simanjuntak³

¹ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan

Email: christianpasaribu@gmail.com

^{2,3} Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan

Abstrak

Revolusi industri 4.0 mendorong cara kerja industri semakin terkait dengan sistem jaringan atau data virtual, termasuk industri konstruksi. Perkembangan ini berdampak pada perkembangan teknologi yang menopang industri itu sendiri. Salah satu yang dimaksud adalah pemindai laser 3 dimensi, dengan fungsi utama menangkap objek nyata dan mengubah menjadi objek virtual. Penelitian ini mendalami perkembangan penjaminan mutu di era revolusi industri 4.0 pada proyek konstruksi; faktor yang mempengaruhi metode pemindai laser 3 dimensi agar menjadi bagian dalam penjaminan mutu di era revolusi industri 4.0 pada proyek konstruksi; hasil analisis dari temuan faktor mempengaruhi peluang metode pemindai laser 3 dimensi agar menjadi bagian dalam penjaminan mutu di era revolusi industri 4.0 pada proyek konstruksi; Serta memberi rekomendasi dari penelitian yang dikaji. Proses penelitian yang dilakukan yaitu penentuan topik, perumusan masalah, kajian pustaka, temuan faktor beserta variabel, penyebaran kuesioner, analisis hasil, pembahasan, kesimpulan dan rekomendasi. Ditemukan 4 variabel yaitu mempermudah pembaharuan gambar as-built, meningkatkan citra industri secara umum dan industri konstruksi secara khusus dengan teknologi yang tersedia untuk menjamin mutu pelaksanaan proyek konstruksi, mudah digerakkan untuk menghindari penghalang selama operasi pindai objek pada proyek konstruksi dan mampu memindai objek dari jarak 10 meter yang mempengaruhi peluang penggunaan metode pemindai laser 3 dimensi sebagai penjaminan mutu.

Kata kunci: laser, penjaminan, mutu, konstruksi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan ISO 9000:2015 terdapat 4 (empat) hal yang terkandung dalam manajemen mutu, yaitu perencanaan mutu, penjaminan mutu, pengendalian mutu dan penyempurnaan mutu (*International Organization for Standardization*, 2015). Pada kenyataan di lapangan, sering terjadi salah paham mengenai penjaminan mutu dan pengendalian mutu. Secara mendasar penjaminan mutu merupakan seluruh kegiatan umum yang terencana dan sistematis, yang diperlukan untuk menciptakan kepercayaan yang terukur untuk memastikan bahwa struktur, sistem, atau komponen akan dieksekusi dengan memuaskan dan sesuai dengan persyaratan mutu proyek yang telah direncanakan. Sedangkan, pengendalian mutu merupakan kegiatan yang spesifik, yang masih memiliki hubungan dengan penjaminan mutu, sebab penjaminan mutu menjadi dasar tindakan dari pengendalian mutu. Ditemukan perbedaan yang cukup mendasar, yaitu penjaminan mutu menekankan pada proses pemantauan yang berjangka dan pengendalian mutu menekankan pada analisis dan pengambilan keputusan apabila ditemukan sebuah penyimpangan dari hasil pemantauan.

Posisi penjaminan mutu dalam dunia konstruksi pada Industri 4.0 secara tegas berada pada proses perbandingan data lapangan dengan data perencanaan di dalam BIM, agar terlihat secara jelas apa saja perbedaan yang telah terjadi. Pemindai laser 3 dimensi mampu menangkap objek dan menciptakan virtualisasi objek berupa proyek konstruksi untuk dimasukkan ke dalam BIM. Pemindai laser 3 dimensi merupakan metode pemetaan tingkat tinggi yang memanfaatkan tembakan cahaya laser secara cepat untuk mampu memindai bentuk objek berupa proyek konstruksi (sampai sebesar 2,5m-2mm). Pemindai laser memiliki keunggulan dibandingkan alat survei yang telah ada yaitu waktu survei lapangan yang efisien, akurasi dan konsistensi tangkapan data, mampu dioperasikan pada semua jenis proyek konstruksi, mampu untuk penghitungan volume atau luas pekerjaan, mendeteksi kecacatan dan menciptakan data untuk pengembangan mutu selanjutnya. Dalam sebuah survey yang dilakukan oleh Leica dan Autodesk di Amerika Serikat pada beberapa proyek

konstruksi ditemukan biaya pekerjaan ulang sebanyak 12% - 15% dari total biaya konstruksi. Setelah adopsi metode pemindai laser 3 dimensi sebagai bagian dari penjaminan mutu selama tahap konstruksi, biaya pekerjaan ulang dapat ditekan hingga 1% - 3%.

Berikut beberapa permasalahan yang akan dibahas pertama, bagaimana perkembangan penjaminan mutu di era industri 4.0 pada proyek konstruksi? Kedua, faktor apa yang mempengaruhi metode pemindai laser 3 dimensi supaya menjadi bagian dalam penjaminan mutu di era industri 4.0 pada proyek konstruksi? Ketiga, apa hasil analisis dari temuan faktor mempengaruhi peluang metode pemindai laser 3 dimensi agar menjadi bagian dalam penjaminan mutu di era industri 4.0 pada proyek konstruksi? Keempat, apa rekomendasi dari penelitian yang dikaji?

Manajemen Konstruksi

Manajemen konstruksi adalah sebuah kegiatan penerapan atau aplikasi pengetahuan, keterampilan, alat, dan teknik untuk kegiatan proyek dengan tujuan memenuhi persyaratan proyek konstruksi (Project Management Institute, 2017). Manajemen proyek diselesaikan melalui pencapaian setiap perencanaan yang telah ditetapkan dan integrasi pada tiap tahapan dengan setiap grup kerja yang telah ditentukan oleh manajemen proyek. Manajemen mendukung organisasi proyek untuk mampu melaksanakan proyek agar efektif dan efisien, serta mencapai biaya, mutu dan waktu yang sesuai dengan kepentingan para pihak yang terlibat.

Manajemen Mutu

Proses manajemen mutu pada proyek konstruksi yang didapat dari PMBOK adalah rencana mutu (*plan*), kelola mutu (*manage*), dan pengendalian mutu (*control*) untuk memenuhi tujuan pemangku kepentingan. Pada ISO 9001:2015 manajemen mutu adalah suatu kegiatan yang berkaitan dengan mutu dan memiliki area perencanaan mutu (*plan*), penjaminan mutu (*assurance*), kontrol mutu (*control*), dan peningkatan mutu (*improvement*). Dari studi pustaka dibentuk sebuah pola atau siklus PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Penelitian ini fokus pada area ilmu pengetahuan mengenai manajemen mutu proyek konstruksi, secara spesifik penelitian ini membahas proses penjaminan mutu. Selanjutnya penjaminan mutu akan berkaitan dengan metode yang akan dibahas.

Revolusi Industri

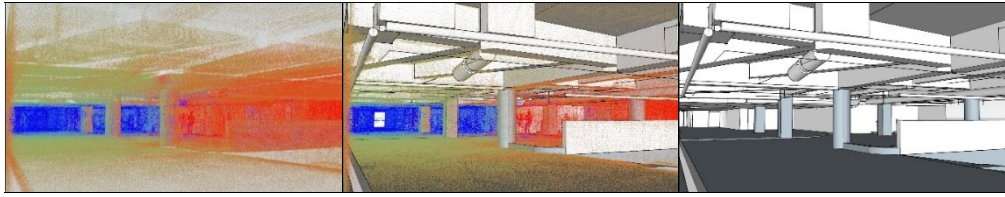
Presiden RI Bapak Jokowi, tentang peta jalan industri 4.0 yang akan menciptakan perubahan 10 kali lebih cepat dengan dampak 300 kali lebih luas pada bulan April 2018, hal ini memperlihatkan revolusi industri 4.0 mampu mentransformasi proses produksi barang dan jasa di Indonesia menjadi semakin unggul. Penelitian ini akan melihat hal apa yang akan mendorong penggunaan metode pemindai laser 3 dimensi yang mampu menciptakan virtualisasi data dan mempermudah pemangku kepentingan untuk memantau proses konstruksi serta penjaminan pada proyek konstruksi di Indonesia

Pemindai Laser 3 dimensi atau Laser Scanner 3D

Pemindai laser adalah alat atau perangkat keras yang digunakan untuk memeriksa atau mengamati data yang direkam dalam bentuk digital dengan memanfaatkan pembangkit cahaya produk sains dan teknologi modern, yang dapat menghasilkan cahaya yang mempunyai intensitas tinggi, bersifat koheren dan monokromatis.

Data Proyek

Sebagai salah satu studi kasus yang kita bahas adalah pemindai laser 3d jinjing pada proyek – proyek gedung eksisting dengan luasan kurang lebih 1.500 meter persegi pengambilan data dilakukan dalam waktu 20 menit dengan tahapan lanjutan memproses visual data hasil pemindai ke dalam bentuk titik awan, sebagai preleminari visual yang akan ditunjukkan kepada klien sebelum dilanjutkannya dengan proses pembentukan model menggunakan perangkat lunak pembuat 3 dimensi.



Gambar 1. Kiri Atas – Tengah Bawah, Merupakan Proses Point Cloud, Point Cloud Dalam Proses Modelling, 3D Model (Dok. Pribadi)

Pada gambar kita melihat proses perubahan mulai dari data mentah hasil pemindai laser 3 dimensi yang berasal dari alat pemindai laser menjadi model 3 dimensi pada perangkat lunak komputer. Setelah melihat proses metode yang berlangsung terdapat berbagai kelebihan dan kekurangan metode yang digunakan, sesuai dengan kondisi faktual pada saat itu, pertama efisiensi mobilitas (berat, bentuk dan pengoperasian) tanpa mengurangi keunggulan teknologi (kemampuan menangkap dan menyimpan data dengan tingkat akurasi tinggi). Pemindai laser 3 dimensi berhasil keluar dari isu efisiensi dengan berhasil. Kedua, kelebihan dalam tingkat ketelitian produk dengan tingkat toleransi dari seluruh bidang 1 cm sampai dengan 3 cm. Keempat, pada saat tahap memproses model, beberapa kali diperlukan pengukuran dilapangan atau mempelajari ulang foto dan video karena kurangnya bank data mengenai bentuk objek yang belum dapat dikenali oleh *laser scanning* dikarenakan material yang memantulkan cahaya, alat tidak memutar objek kecil secara keseluruhan, objek terlalu kecil seperti kabel dan pipa dibawah ukuran 1 inch.

METODOLOGI

Mulai Penelitian dan Observasi Awal

Tahap ini merupakan permulaan penelitian yang diwadahi oleh Universitas Pelita Harapan dalam program magister teknik sipil sebagai syarat kelulusan. Penelitian ini berfungsi untuk mengoptimalkan hal atau kebiasaan yang telah ada, dengan tujuan berkontribusi pada pencapaian biaya, mutu dan waktu pada sebuah proyek. Peneliti sudah menemukan kondisi yang sesuai dengan kebutuhan penelitian dalam lingkup manajemen konstruksi untuk diteliti. Pada bagian ini, terlebih dahulu peneliti menjelaskan posisi peneliti dalam proyek yang terlibat.

Penentuan Topik dan Perumusan Masalah Penelitian

Peneliti menentukan topik penelitian apa yang sesuai dengan program studi magister yaitu manajemen konstruksi. Peneliti melihat bahwa kemungkinan topik menemukan keterkaitan dengan manajemen mutu, sebab, metode yang akan diteliti memiliki keunggulan mengambil data dan data yang diambil adalah data yang spesifik dan lengkap, hal ini dapat berguna untuk membandingkan objek pada kondisi eksisting dengan perencanaan awal. Permasalahan penelitian yang ditetapkan adalah menjelaskan fokus penelitian. Batasan permasalahan ini perlu dipahami agar setiap pertanyaan atau pernyataan dari penelitian ini mampu dipahami. Tujuan penelitian adalah harapan yang akan dicapai dari setiap permasalahan.

1.1. Kajian Pustaka (Data Sekunder) dan Faktor serta Variabel

Setelah peneliti menjelaskan apa saja permasalahan penelitian, selanjutnya dilakukan studi literatur sebagai tindakan untuk mengumpulkan data sekunder sebelum mencapai data primer. Berikut adalah dasar dari pengambilan faktor dari tiap studi literatur yaitu Kerangka kerja konstruksi digital yang mengintegrasikan model informasi bangunan (BIM) dan teknologi rekayasa terbalik (RE) untuk proyek renovasi (Zhikun Ding, 2019); Model penerimaan teknologi pemindai untuk proyek konstruksi (Samad M. E. Sepasgozaar, 2017); Pengembangan sistem baru untuk mendeteksi cacat konstruksi jembatan menggunakan teknologi penginderaan jauh pemindai laser (M. Sedek, 2016); Mengevaluasi hambatan untuk implementasi yang efektif dari pemantauan dan evaluasi proyek di industri konstruksi Ghana (Tengan Callistusa, 2016); Tingkat keterlibatan dan partisipasi pemangku kepentingan dalam pemantauan dan evaluasi proyek konstruksi di Ghana (Callistusa Tengan, 2017); Arahan persyaratan kualitas cloud untuk pemantauan kemajuan konstruksi konstruksi otomatis berbasis Scan-vs-BIM (Danijel Rebolj, 2017); Penelitian tentang pemantauan

perpindahan berdasarkan identifikasi titik laser (Peng Deli, 2014); Dampak Teknologi Pengambilan Data Lapangan terhadap Pemantauan Kemajuan Proyek Konstruksi Otomatis (Sepehr Alizadehsalehia, 2016); Menuju pendekatan berbasis fotogrametri otomatis untuk memantau dan mengendalikan kegiatan lokasi konstruksi (Hany Omar, 2018); Pemindaian laser 3D digabungkan dan sistem korelasi gambar digital untuk akuisisi geometri dan pemantauan deformasi terowongan kereta api (Behzad V. Farahani, 2019).

Kuesioner, Penyebaran, Hasil Penyebaran (Data Primer) dan Analisis Kuesioner

Kuesioner berisi rangkaian pertanyaan yang secara terstruktur berhubungan dengan topik penelitian dan tiap pertanyaan merupakan jawaban – jawaban yang mempunyai makna dalam menguji hipotesis. Penyebaran kuesioner ini nantinya akan menggunakan teknologi terkini, yaitu menggunakan formulir google dengan format kuesioner. Data kuesioner yang telah didapat dilanjutkan dengan proses analisis menggunakan perangkat lunak statistika. Mengapa statisik sebab, statistik ada tindakan yang berbasis pada angka dan mampu memberi interpretasi dari angka yang telah diproses.

Hasil Analisis, Pembahasan, dan Kesimpulan

Hasil analisis yang telah ditemukan akan memperlihatkan seberapa variabel yang akan mempengaruhi topik penelitian yang telah ditetapkan. Pembahasan dilakukan satu persatu pada masing – masing permasalahan yang telah ditetapkan. Setiap kesimpulan akan didapat dari masing – masing pembahasan permasalahan, sebab penelitian ini dari awal hingga pembahasan memiliki 4 permasalahan penelitian yang dialami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan Permasalahan Penelitian Pertama

Bagian ini akan menjawab permasalahan penelitian yang pertama, yaitu, bagaimana perkembangan penjaminan mutu di era industri 4.0 pada proyek konstruksi. Analisis dilakukan dengan menggunakan data sekunder berupa buku referensi, artikel ilmiah, bahan kuliah dan data dalam jaringan. Industri 4.0 berhubungan dengan revolusi automasi yang diharapkan mencapai efisiensi yang lebih tinggi, kualitas yang lebih baik, dan banyak data sebagai dasar pengambilan keputusan. Dampak revolusi ini tidak terbatas pada industri konstruksi saja, tetapi menyebar ke lingkungan ekonomi, budaya, dan sosial manusia. Untuk mendapatkan beberapa harapan diatas (efisiensi, kualitas, data) maka pemanfaatan perangkat lunak adalah pilihan yang tepat. Terjadi proses yang panjang agar industri konstruksi mampu mengadopsi secara keseluruhan teknologi untuk penjaminan mutu, sebab ini dibutuhkan pendidikan atau pelatihan kepada seluruh pemangku kepentingan supaya mampu mengadopsi semua teknologi yang tersedia untuk mencapai penjaminan mutu yang semakin baik.

Hasil dan Pembahasan Permasalahan Penelitian Kedua

Sesuai dengan studi literatur khusus pada artikel ilmiah untuk mendapatkan faktor dan variabel yang mempengaruhi peluang penggunaan metode pemindai laser 3 dimensi dalam penjaminan mutu di era industri 4.0 pada proyek konstruksi.

a. Faktor Revolusi Industri (X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7)

Mendorong penghematan waktu dan biaya; meningkatkan pengendalian mutu; membuat komunikasi dan kolaborasi lebih efektif; mempererat hubungan penyedia jasa dan pengguna jasa; menciptakan alat ukur keamanan yang efisien; meningkatkan citra industri; *Building Information Model* (BIM) dan *Virtual Design Construction* (VDC) akan menjadi standar industri konstruksi di masa depan.

b. Faktor Kemudahan Operasi (X8, X9, X10, X11, X12, X13)

Cocok untuk memindai objek yang besar; mampu digunakan pada area konstruksi yang kecil dan terbatas; mudah digerakkan untuk menghindari penghalang selama operasi pindai objek; dapat dilakukan oleh tenaga kerja yang dilatih dalam waktu singkat; memberi rasa aman ketika melakukan proses pindai objek yang tinggi atau jauh; terintegrasi dengan perangkat lunak sejenis Revit.

- c. Faktor Tantangan (X14, X15, X16, X17)
Belum ada pendekatan prosedural untuk membuat gambar as-built gedung yang otomatis; proses pengolahan data digital memerlukan tenaga kerja yang terlatih; pekerja konstruksi kurang termotivasi untuk menggunakan teknologi yang rumit; pemindai laser perlu dimasukkan ke dalam pendidikan.
- d. Faktor Biaya (X18, X19, X20)
Prosedur pengambilan data konvensional untuk gambar as-built memperbesar biaya pekerja sebab memakan banyak waktu dan rentan terhadap kesalahan; pemindai laser 3d jinjing menghabiskan biaya 3 kali lebih murah dari pemindai laser 3 dimensi jenis lain; pemindai laser 3d jinjing rendah biaya operasi dan perawatan.
- e. Faktor Waktu (X21, X22)
Pemindai laser 3 dimensi lebih disukai sebab menangkap data bangunan lebih cepat; pemindai laser membuat gambar as-built bangunan lebih hemat waktu.
- f. Faktor Mutu Data (X23, X24, X25, X26, X27, X28, X29, X30)
Pemindai laser memiliki akurasi pindai hingga objek seukuran 25 mm; Pemindai laser mampu memindai objek dari jarak 25 meter; pemindai laser meningkatkan akurasi dan detail pada data yang akan masuk ke dalam proses BIM dan VDC; pemindai laser mampu diintegrasikan dengan sistem posisi untuk mendapatkan informasi proyek konstruksi yang lengkap; mempermudah tahap dokumentasi selama masa konstruksi; teknologi yang sangat membantu dalam memperbaharui gambar as-built; mampu membuat digital layout sebagai data simulasi untuk keperluan penjaminan mutu pada proyek konstruksi yang masih berjalan; mampu mendeteksi kecacatan pada proyek yang sedang berjalan.
- g. Variabel Y
Penggunaan Metode Pemindai Laser 3d Jinjing dalam Era Industri 4.0 diperlukan untuk Penjaminan Mutu pada Proyek Konstruksi di Jakarta.

Hasil dan Pembahasan Permasalahan Penelitian Ketiga

Setelah selesai studi literatur dan ditemukan faktor dan variabel, sesuai dengan proses penelitian yang telah dibuat maka penelitian dilanjutkan dengan menjawab permasalahan ketiga. Permasalahan ketiga yaitu hasil analisis dari temuan faktor mempengaruhi peluang penggunaan metode pemindai laser 3 dimensi agar menjadi bagian dalam penjaminan mutu di era industri 4.0 pada proyek konstruksi. Pada tabel akan ditemukan *R square* (melihat seberapa besar pengaruh yang diberikan variabel bebas terhadap variabel terikat), *adjusted R square* (nilai *R square* yang telah disesuaikan, lebih kecil *R square* dan mungkin memiliki nilai negatif), *std. error of the estimate* (ukuran banyaknya kesalahan model regresi dalam memprediksi nilai Y), *R square change* (untuk mengukur persentase besarnya pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen), *F change* (perubahan nilai probabilitas), *degree of freedom / df1 / df2* (jumlah variabel independen), *sig. F change* (nilai probabilitas 0.000) dan *durbin-watson* (tes yang digunakan untuk mendeteksi autokorelasi pada nilai residual dari sebuah analisis regresi)

Tabel 1. Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.782 ^a	.612	.599	.40874	.612	50.390	1	32	.000	
2	.860 ^b	.739	.722	.34048	.127	15.116	1	31	.000	
3	.904 ^c	.818	.800	.28889	.079	13.062	1	30	.001	
4	.920 ^d	.846	.825	.27024	.028	5.282	1	29	.029	1.962

- a. Predictors: (Constant), X28
 b. Predictors: (Constant), X28, X6
 c. Predictors: (Constant), X28, X6, X10
 d. Predictors: (Constant), X28, X6, X10, X24
 e. Dependent Variable: Y

Berdasarkan hasil analisis, jumlah regresi yang terbentuk adalah 4 variabel pembentuk model yang dapat dijabarkan dengan penjelasan berikut, variabel pembentuk model pertama dikombinasi oleh variabel X28 nilai R^2 yang didapat dari variabel pembentuk model tersebut adalah 0,612, yang berarti bahwa variabel X28 dalam variabel pembentuk model pertama dapat memberikan kontribusi perubahan terhadap Y sebesar 61,2%.

Variabel pembentuk model kedua dikombinasi oleh variabel X28 dan X6, nilai R^2 yang didapat dari variabel pembentuk model tersebut adalah 0,739. Selisih nilai R^2 model pertama dan kedua adalah 127, hal ini berarti bahwa X6 dalam variabel pembentuk model kedua dapat memberikan kontribusi perubahan terhadap Y sebesar 12,7%.

Variabel pembentuk model ketiga dikombinasi oleh variabel X28, X6, dan X10, nilai R^2 yang didapat dari variabel pembentuk model tersebut adalah 0,818. Selisih nilai R^2 variabel pembentuk model kedua dan ketiga adalah 79, hal ini berarti bahwa X10 dalam variabel pembentuk model ketiga dapat memberikan kontribusi perubahan terhadap Y sebesar 7,9%.

Variabel pembentuk model keempat dikombinasi oleh variabel X28, X6, X10 dan X24 dari nilai R^2 yang didapat dari variabel pembentuk model tersebut adalah 0,846. Selisih nilai R^2 variabel pembentuk model ketiga dan keempat adalah 28, hal ini berarti bahwa X24 dalam variabel pembentuk model keempat dapat memberikan kontribusi perubahan terhadap Y sebesar 2,8 %.

Keterangan keempat variabel X yang telah didapat adalah sebagai berikut X28 tentang “mempermudah pembaharuan gambar *as-built*”, X6 tentang “meningkatkan citra industri secara umum dan industri konstruksi secara khusus, dengan teknologi yang tersedia untuk menjamin mutu pelaksanaan proyek konstruksi”, X10 tentang “mudah digerakkan untuk menghindari penghalang selama operasi pindai objek pada proyek konstruksi”, dan X24 tentang “mampu memindai objek dari jarak 10 meter”.

Hasil dan Pembahasan Permasalahan Penelitian Keempat

Pertama, metode pemindai laser 3 dimensi adalah keunggulan yang dimiliki metode ini ketika dilakukan pembaharuan gambar *as-built*, untuk dokumen kelanjutan dari tahap konstruksi, menuju operasional dan tahap perawatan, untuk mendapatkan dokumen sertifikat layak fungsi. Kedua, menempatkan pemindai laser 3 dimensi sebagai hasil dari revolusi industri sebelumnya, metode yang sedang diperkenalkan ini secara langsung terikut dalam perkembangan revolusi industri. Ketiga, kemudahan operasi mampu menghindari penghalang di lapangan, mengingat ketika masa konstruksi ada metode konstruksi yang dijalankan dan metode ini memerlukan berbagai macam alat dan peralatan yang diletakkan atau dipasang. Keempat, keunggulan pemindai laser yang mampu memindai dari jarak 10 meter, hal ini mampu mengefisienkan waktu dan tenaga dalam upaya menjamin mutu proyek agar tidak ada alasan yang mengganggu proses kegiatan.

KESIMPULAN

Pemindai laser 3 dimensi merupakan teknologi yang berbasis pada informasi teknologi, maka perkembangan penjaminan mutu kedepannya akan lebih berbaur dengan cabang ilmu pengetahuan lain yang mungkin baru dipakai dalam porsi sedikit pada penjaminan mutu di proyek konstruksi pada saat ini. Faktor dan variabel ini akan bersifat dinamis mengikuti keterkaitan dengan penelitian dan perkembangan yang telah atau sedang terjadi. Hal ini akan mempengaruhi waktu pengumpulan data serta proses pengolahan data. Dari rekomendasi perbaikan yang ditemukan, kita dapat memahami dan menyimpulkan pentingnya memahami situasi lapangan proyek dan tahap lanjutan tiap masa proyek agar lebih mudah untuk memenuhi kebutuhan penjaminan mutu pada masa konstruksi. Hal ini mampu menempatkan metode pemindai laser 3 dimensi dalam bagian penjaminan mutu pada proyek konstruksi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Andy K. D. Wong, F. K. (2010). *Attributes of Building Information*. Architectural Engineering and Design Management, 287-302.
- Arikunto, S. (2002). *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Behzad V. Farahani, F. B. (2019). *A Coupled 3D Laser Scanning And Digital Image Correlation System For Geometry Acquisition And Deformation Monitoring Of A Railway Tunnel*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, n.d.
- Callistus Tengan, C. A. (2017). *Level of Stakeholder Engagement And Participation In Monitoring And Evaluation of Construction Projects In Ghana*. *Procedia Engineering*, 630-637.

- Cathi Hayes, E. R. (2015). *When to Use Laser Scanning in Building Construction*. n.d.: Autodesk.
- Danijel Rebolj, Z. P. (2017). *Point Cloud Quality Requirements For Scan-vs-BIM Based Automated Construction Progress Monitoring*. *Automation in Construction*, 323-334.
- Ghozali, I. (2009). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Hany Omar, L. M. (2018). *Towards An Automated Photogrammetry-based Approach For Monitoring And Controlling Construction Site Activities*. *Computer In Industry*, 172-182.
- Hui, E. M. (2019). *Learn R for Applied Statistics*. California: apress.
- International Organization for Standardization. (2015, September n.d.). *Quality management systems — Fundamentals and vocabulary*. Retrieved from iso: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en>
- M. Sedek, A. S. (2016). *Development of New System For Detection of Bridges Construction Defects Using Terrestrial Laser Remote Sensing Technology*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 1-11.
- Nasir, M. (1993). *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Rosda Karya.
- Natalia, D. L. (2019, September 3). *Presiden Jokowi Perintahkan Percepatan Peta Jalan Industri 4.0*. Retrieved from antaranews: <https://www.antaranews.com/berita/1042638/presiden-jokowi-perintahkan-percepatan-peta-jalan-industri-40>
- National Research Foundation of Korea. (2017). *Analysis on Research Level of the Five Major Platform Technologies Related to the Fourth Industrial Revolution*. Daejeon: National Research Foundation of Korea.
- Nazir, M. (2005). *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Nur Hanifa Mohd Zaidin, M. N. (2014). *Quality Management in Industry 4.0 Era*. *Journal of Management and Science*, 83.
- O'Brien, J. J. (1997). *Construction Inspection Handbook : Total Quality Management*. New York: Chapman & Hall.
- Peng Deli, Z. M. (2014). *Research on Displacement Monitoring Based on Laser Spot Identification*. *Pacific Science Review*, 189-192.
- Pratik M Patel, V. A. (2017). *Application Of Plan-Do-Check-Act Cycle For Quality And Productivity Improvement - A Review*. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 197.
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Newtown Square: Project Management Institute.
- S. D. Al-saadi, D. H. (1982). *A Test for Independence in a Multivariate Exponential Distribution with Equal Correlation Coefficients*. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 219-227.
- Samad M. E. Sepasgozaar, S. S. (2017). *A Scanner Technology Acceptance Model for Construction Projects*. *Procedia Engineering*, 1237-1246.
- Sepehr Alizadehsalehia, I. Y. (2016). *The Impact of Field Data Capturing Technologies on Automated Construction Project Progress Monitoring*. *Procedia Engineering*, 97-103.
- Smith, P. (2014). *BIM Implementation - Global Strategies*. *Procedia Engineering*, 482-492.
- Stevens, S. S. (1946). *On the Theory of Scales of Measurement*. *Science*, 677-680.
- Suprayitno, A. (2020). *Menyusun PTK Era 4.0*. Yogyakarta: Deepublish.
- Tengan Callistusa, A. C. (2016). *Evaluating Barriers to Effective Implementation of Project Monitoring And Evaluation In the Ghanaian Construction Industry*. *Procedia Engineering*, 389-394.
- The National 3D-4D-BIM Program Office of the Design & Construction Public Buildings Service. (2009). *GSA BIM Guide For 4D Phasing*. Washington: U.S. General Services Administration.
- Tumpal J. R. Sitingjak, S. (2006). *Lisrel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Zhikun Ding, S. L. (2019). *A Digital Construction Framework Integrating Building Information Modeling and Reverse Engineering Technologies for Renovation Projects*. *Automation in Construction*, 45-58.