

Rekomendasi Strategi untuk Implementasi Industri 4.0 pada Pemeliharaan di Industri Proses Menggunakan Metode ISM

Seto Wahyu Jatmiko^{*1)}, dan Zulkarnain^{*2)}

¹⁾Mahasiswa magister teknik, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

²⁾Staf Pengajar, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

Email: Seto.wahyu@gmail.com, Zulkarnain@ie.ui.ac.id

ABSTRAK

Bokrantz (2017) menunjukkan bahwa terdapat delapan skenario yang paling mungkin sebagai masukan untuk pengembangan strategi bidang pemeliharaan pada manufaktur digital di era industri 4.0. Delapan skenario tersebut yaitu data analitis, sistem informasi yang *interoperable*, manajemen *big data*, pendidikan dan pelatihan, perencanaan pemeliharaan berbasis kondisi, prosedur kerja cerdas, perencanaan pemeliharaan dengan perspektif sistem, standar dan peraturan lingkungan. Skenario tersebut dianalisa menggunakan metode *Interpretative Structural Modelling* (ISM), dimana pengambilan data menggunakan penilaian pakar industri proses dalam bentuk kuesioner dan diskusi sehingga diperoleh keterkaitan masing masing skenario dan kerangka kerja (*framework*) sesuai model ISM. Analisa lebih lanjut dengan *Matrice d'Impacts croises-multiplication appliqué a classment* (MICMAC) diperoleh skenario yang termasuk kategori variabel *independent* adalah data analitis, sistem informasi yang *interoperable*, manajemen *big data*, pendidikan dan pelatihan. Sedangkan skenario yang termasuk kategori variabel *dependent* adalah perencanaan pemeliharaan berbasis kondisi, prosedur kerja cerdas, perencanaan pemeliharaan dengan perspektif sistem, standar dan peraturan lingkungan.

Kata kunci: industri 4.0, ISM, industri proses, pemeliharaan, strategi

1. Pendahuluan

Industri 4.0 merupakan kelanjutan dari tiga revolusi industri sebelumnya yaitu revolusi industri pertama yang berupa mekanisasi produksi, industri kedua yang berupa elektrifikasi dan per buruhan dan industri ketiga yang berupa elektronik dan teknologi informasi untuk otomatisasi. Komponen kunci industri 4.0 adalah *Internet of Things* (IoT), *Cyber-Physical System* (CPS) dan *Smart factories* (Mario dkk, 2016). IoT merupakan teknologi yang menghubungkan alat (*things*) dan obyek yang semuanya akan saling berinteraksi dan berkolaborasi. CPS didefinisikan sebagai teknologi transformatif yang mengintegrasikan antara aset fisik dengan kemampuan komputasi. CPS akan mengakibatkan semakin banyak penggunaan sensor dan jaringan mesin mesin. CPS akan membangkitkan data dengan volume tinggi dan terus menerus yang dikenal sebagai *Big Data*. Big Data ini kemudian dikelola supaya tercapai tujuan terjadinya mesin mesin yang cerdas. Integrasi CPS antara bagian produksi, bagian logistik dan bagian layanan yang lain dalam industri akan mengubah pabrik saat ini menjadi pabrik Industri 4.0. (Lee 2014).

Ketika arah masa depan dan opsi dalam teknologi tidak jelas dan tidak pasti, perusahaan perlu merumuskan strategi teknologi yang tepat untuk mendukung perencanaan mereka dalam berinteraksi dengan perkembangan teknologi masa depan yang akan datang seperti industri 4.0 (Ghobakhloo, 2018). Bokrantz (2017) menguraikan tentang pentingnya bidang pemeliharaan untuk berubah sebagai persyaratan bagi industri dalam mewujudkan sistem produksi yang digital dan juga sebagai konsekuensi dalam mengambil peluang pemeliharaan era digital. Lebih lanjut, Bokrantz (2017) dalam studinya memperoleh delapan skenario yang paling mungkin (*most probable scenario*) yang disarankan sebagai masukan untuk pengembangan strategi bidang pemeliharaan sebagai bagian strategi realisasi manufaktur digital jangka panjang. Dalam pengembangan strategi dari skenario, Wilson (2000) menyarankan penggunaan skenario dengan

perencanaan terfokus untuk mengembangkan serangkaian opsi awal yang strategis. Pada dasarnya pendekatan ini adalah dengan memilih salah satu skenario sebagai titik awal dan focus untuk pengembangan strategi dan kemudian menggunakan skenario lain untuk menguji ketahanan strategi dan menilai kebutuhan untuk modifikasi, konservasi atau perencanaan cadangan dari strategi tersebut.

Pendekatan strategi pemeliharaan yang berbeda akan diambil sesuai jenis sistem manufakturnya, misalnya pendekatan strategi untuk industri proses akan berbeda dengan industri diskrit. Industri proses adalah industri/bisnis yang menambah nilai pada material dengan mencampur, memisahkan, membentuk atau mereaksikimiakan material. Proses dapat berupa *kontinu* atau *batch* dan biasanya membutuhkan kontrol proses yang rigid dan investasi modal tinggi. Proses produksi pada industri proses sangat bersifat otomatis sedangkan pada industri diskrit lebih banyak menekankan otomatisasi pada sistem perencanaan dan pengendalian (J ashayeri, 1996). Pada sistem industri proses *shut down maintenance* yang terencana biasanya digunakan untuk perbaikan/servise *overhaul* besar. Karena proses mematikan dan memulai di industri proses biasanya menghasilkan limbah atau produk yang rusak dan biasanya membutuhkan beberapa jam untuk melanjutkan proses produksi dalam kapasitas penuh, proses produksi cenderung dijalankan secara terus menerus dan kegagalan alat sangat dihindari. Sebaliknya, proses produksi diskrit atau semi-kontinu dapat dengan mudah distop dan dimulai kembali dan dapat dioperasikan untuk satu atau dua shift jika perlu (Umar,2014).

Penelitian ini membahas tentang bagaimana strategi yang harus disiapkan untuk implementasi industri 4.0 pada bidang pemeliharaan di industri proses. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan kerangka kerja dalam bentuk model *Interpretative Structural Modelling* (ISM) untuk skenario-skenario Bokrantz (2017) pada industri proses.
- b. Mengembangkan dan menganalisa hubungan masing masing skenario tersebut dengan metode ISM.
- c. Mengidentifikasi kategori dan menentukan peringkat dari skenario-skenario tersebut.

Hasil dari ketiga kegiatan tersebut akan digunakan sebagai rekomendasi strategi untuk implementasi industri 4.0 pada pemeliharaan di industri proses.

2. Metode

Data primer diperoleh melalui metode kuesioner dan wawancara dengan memberikan suatu daftar pertanyaan (angket), baik secara terbuka maupun tertutup, untuk diisi oleh responden professional di industri proses maupun akademisi dimana daftar pertanyaan tersebut sudah dipersiapkan terlebih dahulu. Data sekunder diperoleh dari studi referensi penelitian Bokrantz (2017) tentang delapan skenario yang paling mungkin untuk pemeliharaan di era manufaktur digital. Masing masing skenario didefinisikan sebagai berikut :

1. Data Analitis : Data dari berbagai sumber dianalisa bersamaan untuk mendapatkan pola atau akar penyebab (*root cause*) sebagai dasar keputusan pemeliharaan proaktif. Misalkan data dari bentuk fisik mesin, *condition monitoring* yang *real time*, *event* yang terjadi dan konteks data dari mesin tersebut.
2. *Sistem informasi yang interoperable: Standar integrasi sistem informasi memungkinkan integrasi sistem informasi dengan platform vendor yang berbeda-beda. Misalkan integrasi dengan CMMS (Computerized Maintenance Management Siystem), MES (Manufacturing Execution System), PML (Product Lifecycle Management)*

3. Manajemen *Big Data* : Sistem pemeliharaan menggunakan data data yang relevan dan benar secara otomatis dan memungkinkan memberikan dukungan pengambilan keputusan.
4. Pendidikan dan training : *Perkembangan teknologi digital menuntut bahwa profil kompetensi karyawan pemeliharaan berevolusi dengan kecepatan yang sama dengan perkembangan teknologi.*
5. Perencanaan pemeliharaan berbasis kondisi: *Perencanaan pemeliharaan lebih didasarkan dari hasil keputusan yang didukung oleh prediktif dan preskriptif dari data analitis.*
6. Prosedur kerja cerdas : Teknologi baru, data dan metode analisis memungkinkan "pekerjaan cerdas", mis. pemantauan dan kontrol *online* waktu nyata, atau inspeksi dan perbaikan jarak jauh.
7. Perencanaan pemeliharaan dengan perspektif sistem : *Perencanaan pemeliharaan tidak akan didasarkan oleh keadaan masing-masing mesin, tetapi lebih oleh kebutuhan seluruh sistem manufaktur.*
8. Standar dan Peraturan lingkungan : *Legislasi dan standar peraturan lingkungan yang lebih ketat akan meningkatkan tekanan pada bidang pemeliharaan untuk memfasilitasi pemenuhan peraturan tersebut. Misalkan pemeliharaan harus memastikan mesin beroperasi sesuai standar Emisi CO₂, standar konsumsi energi dan pengurangan limbah.*

Analisis data menggunakan metode *Interpretative Structural Modelling* (ISM) yang merupakan pengembangan teknik pemodelan untuk perencanaan kebijakan strategi (Marimin, 2004). Pemodelan ISM menggambarkan hubungan kontekstual antar variabel, struktur yang menyeluruh dan memiliki keluaran model grafis berupa kuadran dan level variabel (Li & Yang, 2014). Langkah langkah yang dilakukan dalam metode ISM dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi skenario sebagai masukan strategi dari studi literatur sebagai variabel dalam penelitian.
2. Membuat relasional kontekstual berdasarkan kumpulan pendapat pakar melalui kuisener dan wawancara sewaktu menjawab tentang keterkaitan antar elemen.
3. Hasil penilaian tersebut disusun dalam suatu tabel *Structural Self Interaction Matrix* (SSIM) yang menyimbolkan relasional variabel dengan huruf V,A,X dan O.
4. Tabel SSIM diubah dalam bentuk tabel *Reachability Matrix* (RM) dengan mengganti V, A, X, O dengan angka 1 dan 0 sesuai symbol hurufnya.
5. Tabel RM dikoreksi dengan kaidah *transitivity* sehingga diperoleh *final Reachability Matrix*. Kaidahnya yaitu jika variabel 1 mempengaruhi variabel 2 dan variabel 2 mempengaruhi variabel 3, maka variabel 1 harus mempengaruhi variabel 3.
6. Dari tabel *final* RM dipartisi dengan iterasi sehingga diperoleh level atau kelompok level masing-masing variabel.
7. Membuat *diagraph* atau model ISM dari Tabel RM dengan menghapus *transitivity* dan konsistensi konsepnya di-review.

Dari hasil ISM kemudian dianalisa lebih lanjut dengan mengelompokkan variabel berdasarkan posisi *driver power* dan *dependence* dengan analisa *Matrice d'Impacts croises-multiplication appliqué a classment* (MICMAC) (Godet, 1986) sehingga diketahui klasifikasi variabel sebagai *autonomous, dependent, linkage* atau *interdependent*.

3. Hasil dan Pembahasan

Ada delapan skenario sebagai faktor yang diuji dalam penelitian ini. Masing masing faktor diberi nomor urut 1 sampai dengan 8 sesuai deskripsi yang telah dijelaskan . Hubungan kontekstual antara faktor 1 s.d. faktor 8 diberi nilai simbol sebagai berikut :

V = jika variabel i akan membantu untuk mencapai variabel j

A = jika variabel j akan membantu untuk mencapai variabel i

X = jika variabel i and j akan saling membantu untuk mencapai keduanya

O = jika variabel i and j tidak saling berkaitan

Dimana, i adalah faktor ke-i dalam baris dan j adalah faktor ke-j dalam kolom dalam penelitian ini masing masing $i, j = 1$ s.d 8.

Penilaian pakar lebih lanjut diilustrasikan dalam *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM).pada tabel 1.

Tabel 1. *Structural Self Interaction Matrix* (SSIM)

Faktor	Deskripsi	8	7	6	5	4	3	2	1
1	Data Analitis	V	V	V	V	A	X	A	
2	Sistem informasi yang <i>interoperable</i>	V	V	V	V	A	X		
3	Manajemen Big Data	V	V	V	V	A			
4	Pendidikan dan Training	V	V	V	V				
5	Perencanaan Pemeliharaan Berbasis kondisi	V	X	A					
6	Prosedur Kerja Cerdas	V	X						
7	Perencanaan Pemeliharaan dengan Perspektif sistem	V							
8	Standar dan Peraturan Lingkungan								

Berdasarkan tabel 1 tentang matrik SSIM selanjutnya dibuat dalam bentuk tabel *Reachability Matrix* (RM) dengan mengganti V, A, X, O menjadi bilangan 1 dan 0 dengan kriteria sebagai berikut :

- Jika variabel (i,j) pada SSIM adalah V maka nilai variabel (i,j) adalah 1 dan variabel (j,i) pada tabel RM adalah 0
- Jika variabel (i,j) pada SSIM adalah A maka nilai variabel (i,j) pada tabel RM adalah 0 dan variabel (j,i) pada tabel RM adalah 1
- Jika variabel (i,j) pada SSIM adalah X maka nilai variabel (i,j) pada tabel RM adalah 1 dan variabel (j,i) pada tabel RM adalah 1
- Jika variabel (i,j) pada SSIM adalah O maka nilai variabel (i,j) pada tabel RM adalah 0 dan variabel (j,i) pada tabel RM adalah 0

Sehingga, diperoleh hasil tabel *Reachability Matrix* sebagaimana yang terdapat pada tabel 2.

Berdasarkan hasil SSIM, langkah metodologi ISM selanjutnya adalah pengolahan *matriks reachability* dengan kaidah *transitivity* (ditandai dengan 1*). Kaidah ini diberlakukan pada faktor 1 ke faktor 2 yang sebelumnya bernilai 0 menjadi 1* karena faktor 1 mempengaruhi tercapainya faktor 3 sedangkan faktor 3 mempengaruhi tercapainya faktor 2 sehingga faktor 1 seharusnya mempengaruhi tercapainya faktor 2. Demikian juga untuk faktor 5 ke faktor 6 melalui faktor 7. Hasil akhir kaidah *transitivity* diperoleh *final Reachability Matrix* tabel 3.

Kerangka ISM diperoleh dari empat kali iterasi, iterasi dilakukan dengan mencari kelompok variabel yang sama antara *reachability* dengan *intersection* kemudian di tetapkan sebagai level variabel tersebut. Iterasi berikutnya variabel berada pada level sebelumnya akan dihilangkan pada iterasi berikutnya, demikian seterusnya. Dari iterasi *final* RM dengan menghilangkan *transivity* diperoleh kerangka model ISM seperti gambar 1.

Tabel 2. Matrik *Reachability Matrix* (RM)

Faktor	Deskripsi	8	7	6	5	4	3	2	1
1	Data Analitis	1	1	1	1	0	1	0	1
2	Sistem informasi yang <i>interoperable</i>	1	1	1	1	0	1	1	1
3	Manajemen Big Data	1	1	1	1	0	1	1	1
4	Pendidikan dan Training	1	1	1	1	1	1	1	1
5	Perencanaan Pemeliharaan Berbasis Fakta/ kondisi	1	1	0	1	0	0	0	0
6	Prosedur Kerja Cerdas	1	1	1	1	0	0	0	0
7	Perencanaan Pemeliharaan dengan Perspektif sistem	1	1	1	1	0	0	0	0
8	Standar dan Peraturan Lingkungan	1	0	0	0	0	0	0	0

Table 3. *Final Reachability Matrix*

Faktor	Deskripsi Variabel	8	7	6	5	4	3	2	1	Driven Power
1	Data Analitis	1	1	1	1	0	1	1*	1	7
2	Sistem informasi yang <i>interoperable</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	7
3	Manajemen Big Data	1	1	1	1	0	1	1	1	7
4	Pendidikan dan Training	1	1	1	1	1	1	1	1	8
5	Perencanaan Pemeliharaan Berbasis Kondisi	1	1	1*	1	0	0	0	0	4
6	Prosedur Kerja Cerdas	1	1	1	1	0	0	0	0	4
7	Perencanaan Pemeliharaan dengan Perspektif sistem	1	1	1	1	0	0	0	0	4
8	Standar dan Peraturan Lingkungan	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Dependensi	8	7	7	7	1	4	4	4	
	Hirarki	1	2	2	2	4	3	3	3	

Tabel 4. Iterasi Pertama

Faktor	Deskripsi	<i>Reachability set</i>	<i>Antecedent set</i>	<i>Intersection set</i>	<i>Level</i>
1	Data Analitis	1, 2,3,5,6,7,8	1,2,3,4	1,2,3	
2	Sistem informasi yang <i>interoperable</i>	1, 2,3,5,6,7,8	1,2,3,4	1,2,3	
3	Manajemen Big Data	1, 2,3,5,6,7,8	1,2,3,4	1,2,3	
4	Pendidikan dan Training	1, 2,3,4, 5,6,7,8	4	4	
5	Perencanaan Pemeliharaan Berbasis Kondisi	5,6,7,8	1, 2,3,4,5,6,7	5,6,7	

6	Prosedur Kerja Cerdas	5,6,7,8	1, 2,3,4,5,6,7	5,6,7	
7	Perencanaan Pemeliharaan dengan Perspektif sistem	5,6,7,8	1, 2,3,4,5,6,7	5,6,7	
8	Standar dan Peraturan Lingkungan	8	1, 2,3,4,5,6,7,8	8	Level 1

Tabel 5. Iterasi Kedua

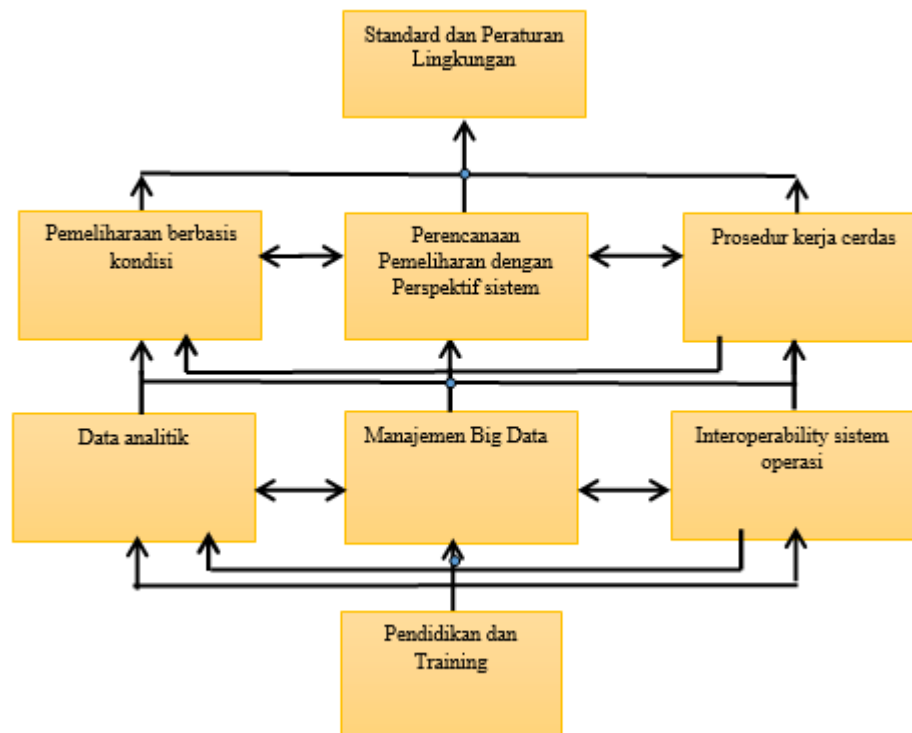
Faktor	Deskripsi	Reachability set	Antecedent set	Intersection set	Level
1	Data Analitis	1, 2,3,5,6,7	1,2,3,4	1,2,3	
2	Sistem informasi yang <i>interoperable</i>	1, 2,3,5,6,7	1,2,3,4	1,2,3	
3	Manajemen Big Data	1, 2,3,5,6,7	1,2,3,4	1,2,3	
4	Pendidikan dan Training	1, 2,3,4, 5,6,7	4	4	
5	Perencanaan Pemeliharaan Berbasis Kondisi	5,6,7	1, 2,3,4,5,6,7	5,6,7	Level 2
6	Prosedur Kerja Cerdas	5,6,7	1, 2,3,4,5,6,7	5,6,7	Level 2
7	Perencanaan Pemeliharaan dengan Perspektif sistem	5,6,7	1, 2,3,4,5,6,7	5,6,7	Level 2

Tabel 6. Iterasi Ketiga

Faktor	Deskripsi	Reachability set	Antecedent set	Intersection set	Level
1	Data Analitis	1, 2,3	1, 2,3,4	1, 2,3	Level 3
2	Sistem informasi yang <i>interoperable</i>	1, 2,3,	1, 2,3,4	1, 2,3	Level 3
3	Manajemen Big Data	1, 2,3	1, 2,3,4	1, 2,3	Level 3
4	Pendidikan dan Training	1, 2,3,4	4	4	

Tabel 7. Iterasi Keempat

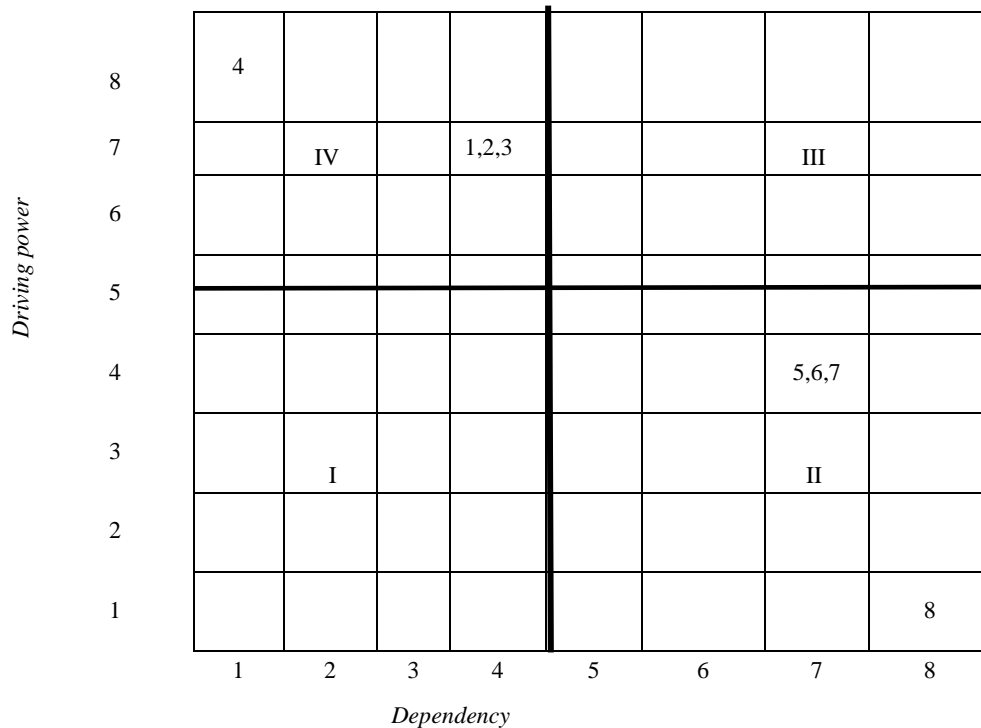
Faktor	Deskripsi	Reachability set	Antecedent set	Intersection set	Level
4	Pendidikan dan Training	4	4	4	Level 4



Gambar 1. ISM model Untuk Skenario Industri 4.0 pada Pemeliharaan

Langkah berikutnya adalah mengelompokkan setiap faktor dari tabel 3 *Final Reachability Matrix* sesuai dengan MICMAC analisis (gambar 2). Pengelompokkannya adalah sebagai berikut

- I. Variabel *Autonomous* yang berarti sebagai penggerak yang lemah dan ketergantungan yang rendah. Variabel ini terletak pada kuadran I. Tidak ada variabel penelitian yang masuk dalam kategori ini.
- II. Variabel *Dependent* yang berarti sebagai penggerak yang lemah dan ketergantungannya tinggi. Variabel ini terletak pada kuadran II. Variabel yang masuk kedalam kelompok ini merupakan variabel tak bebas, yang terdiri perencanaan pemeliharaan berbasis fakta/kondisi, prosedur kerja cerdas, perencanaan pemeliharaan dengan perspektif sistem dan standar dan peraturan lingkungan
- III. Variabel *Linkage* yang berarti sebagai penggerak yang kuat dan ketergantungan yang kuat. Variabel ini terletak pada kuadran III. Tidak ada variabel penelitian yang masuk dalam kategori ini.
- IV. Variabel *Independent* yang berarti sebagai penggerak yang kuat dan ketergantungannya yang rendah. Variabel dalam kuadran IV ini memiliki pengaruh yang kuat dalam sistem dan sangat menentukan keberhasilan program. Variabel yang masuk kategori ini adalah data analitis, sistem informasi yang *interoperable*, manajemen *big data* dan pendidikan dan pelatihan



Gambar 2. MICMAC analisis

4. Simpulan

Penelitian ini mempelajari hubungan relasional delapan skenario yang sangat mungkin akan mempengaruhi implementasi industri 4.0 di bidang pemeliharaan. Dengan menggunakan metode pendekatan ISM maka dapat diketahui posisi masing masing skenario dalam suatu kerangka kerja (*framework*) sehingga bidang pemeliharaan mendapat gambaran dan rekomendasi yang jelas strategi yang akan dipilih sesuai tingkat prioritasnya.

Ada empat skenario yang dikategorikan sebagai faktor *independent* yaitu data analitis, sistem informasi yang *interoperable*, manajemen *big data* dan pendidikan dan training. Dari keempat skenario tersebut pendidikan dan training merupakan yang kritikal, dimana strategi untuk pendidikan dan training harus segera didahulukan untuk menyukseskan implementasi industri 4.0 di bidang pemeliharaan sebelum strategi untuk skenario skenario yang lain.

Empat skenario yang lain dikategorikan sebagai faktor *dependent* yaitu perencanaan pemeliharaan berbasis kondisi, prosedur kerja cerdas, perencanaan pemeliharaan dengan perspektif sistem dan standar dan peraturan lingkungan. Strategi yang dipersiapkan untuk memenuhi standar dan peraturan lingkungan merupakan strategi yang paling bergantung terhadap keberhasilan strategi yang dipilih untuk tujuh skenario yang lain

Daftar Pustaka

- Godet, M. (1986). "Introduction to 'la prospective': seven key ideas and one scenario method". *Futures*, Vol. 18, No. 2, pp. 134-157.
- J. Ashayeri and A. Teelen. (1996). *A production and maintenance planning model for process Industri*. International Journal of Production Research, Vol. 34 No.12, pp3311-3326.
- Jon Bokrantz *, Anders Skoogh. dkk. (2017). *Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030*. International Journal of Production Economics 191 (2017), pp. 154-169.

- Jay Lee, Behrad Bagheri, Hung-An Kao. (2014). *A Cyber-Physical Systems architecture for Industri 4.0-based manufacturing systems*. *Jurnal Manufacturing Letters* Vol 3 Tahun 2015 18-23.
- Li, M., and Yang, J. (2014). "Analysis of interrelationships between critical waste factors in office building retrofit projects using interpretive structural modeling". *International Journal of Construction Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 15-27.
- Marimin. (2004). *Pengambilan Keputusan Kreteria Majemuk*. Teknik dan Aplikasi. Gramedia Widiasarana Indonesia. Jakarta.
- Morteza Ghobakhloo.(2018). *The future of manufacturing industri: a strategic roadmap toward Industri 4.0*. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 29 Issue: 6, pp.910-936.
- Mario Hermann,Tobias Pentek dkk.(2016). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios .49th Hawaii International Conference on System Sciences IEEE computer society*. (5-8 Jan 2016 Koloa, HI, USA).
- Wilson Ian. (2000). *From scenario thinking to strategic action*. *Technological Forecasting and Social Change* 65, 23–29 (2000)
- Umar al Turk. (2014). *Integrated Maintenance Planning in Manufacturing Systems*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London