

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 REVOLUSI INDUSTRI 4.0

Istilah Industri 4.0 sendiri secara resmi lahir di Jerman tepatnya saat diadakan Hannover Fair pada tahun 2011 (Kagermann, dkk. 2011, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017). Negara Jerman memiliki kepentingan yang besar terkait hal ini karena Industri 4.0 menjadi bagian dari kebijakan rencana pembangunannya yang disebut *High-Tech Strategy 2020*. Kebijakan tersebut bertujuan untuk mempertahankan Jerman agar selalu menjadi yang terdepan dalam dunia manufaktur (Heng, 2013, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017). Beberapa negara lain juga turut serta dalam mewujudkan konsep Industri 4.0 namun menggunakan istilah yang berbeda seperti *Smart Factories*, *Industrial Internet of Things*, *Smart Industry*, atau *Advanced Manufacturing*. Meski memiliki penyebutan istilah yang berbeda, semuanya memiliki tujuan yang sama yaitu untuk meningkatkan daya saing industri tiap negara dalam menghadapi pasar global yang sangat dinamis. Kondisi tersebut diakibatkan oleh pesatnya perkembangan pemanfaatan teknologi digital di berbagai bidang.

Istilah Industri 4.0 lahir dari ide revolusi industri ke empat. *European Parliamentary Research Service* menyatakan bahwa Revolusi industri terjadi empat kali (Davis, 2015, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017). Revolusi industri pertama terjadi di Inggris pada tahun 1784 di mana penemuan mesin uap dan mekanisasi mulai menggantikan pekerjaan manusia. Revolusi yang kedua terjadi pada akhir abad ke-19 di mana mesin-mesin produksi yang ditenagai oleh listrik digunakan untuk kegiatan produksi secara masal. Penggunaan teknologi komputer untuk otomasi manufaktur mulai tahun 1970 menjadi tanda revolusi industri ketiga. Saat ini, perkembangan yang pesat dari teknologi sensor, interkoneksi, dan analisis data memunculkan gagasan untuk mengintegrasikan seluruh teknologi tersebut ke dalam berbagai bidang industri. Gagasan inilah yang diprediksi akan menjadi revolusi industri yang berikutnya. Angka empat pada istilah Industri 4.0 merujuk pada revolusi yang ke empat. Industri 4.0 merupakan fenomena yang unik jika dibandingkan dengan tiga revolusi industri yang mendahuluinya. Industri 4.0 diumumkan secara apriori karena peristiwa nyatanya belum terjadi dan masih dalam bentuk gagasan (Drath dan Horch, 2014, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017).

2.2 INDUSTRI 4.0

2.2.1 Pengertian Industri 4.0

Definisi mengenai Industri 4.0 beragam karena masih dalam tahap penelitian dan pengembangan. Kanselir Jerman, (Merkel, 2014, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017) berpendapat bahwa Industri 4.0 adalah transformasi komprehensif dari keseluruhan aspek produksi di industri melalui penggabungan teknologi digital dan internet dengan industri konvensional. (Schlechtendahl, dkk. 2015, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017) menekankan definisi kepada unsur kecepatan dari ketersediaan informasi, yaitu sebuah lingkungan industri di mana seluruh entitasnya selalu terhubung dan mampu berbagi informasi satu dengan yang lain. Pengertian yang lebih teknis disampaikan oleh (Kagermann, dkk. 2013, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017) bahwa Industri 4.0 adalah integrasi dari *Cyber Physical System* (CPS) dan *Internet of Things and Services* (IoT dan IoS) ke dalam proses industri meliputi manufaktur dan logistik serta proses lainnya. *Cyber Physical System* (CPS) adalah teknologi untuk menggabungkan antara dunia nyata dengan dunia maya. Penggabungan ini dapat terwujud melalui integrasi antara proses fisik dan komputasi (teknologi *embedded computers* dan jaringan) secara *close loop*. (Hermann, dkk. 2015, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017) menambahkan bahwa Industri 4.0 adalah istilah untuk menyebut sekumpulan teknologi dan organisasi rantai nilai berupa *smart factory*, CPS, IoT dan IoS. *Smart factory* adalah pabrik modular dengan teknologi CPS yang memonitor proses fisik produksi kemudian menampilkan secara virtual dan melakukan desentralisasi pengambilan keputusan. Melalui IoT, CPS mampu saling berkomunikasi dan bekerja sama secara *real time* termasuk dengan manusia. IoS adalah semua aplikasi layanan yang dapat dimanfaatkan oleh setiap pemangku kepentingan baik secara internal maupun antar organisasi.

Terdapat enam prinsip desain Industri 4.0 yaitu *interoperability*, *virtualisasi*, *desentralisasi*, kemampuan *real time*, berorientasi layanan dan bersifat modular. Berdasar beberapa penjelasan di atas, Industri 4.0 dapat diartikan sebagai era industri di mana seluruh entitas yang ada di dalamnya dapat saling berkomunikasi secara *real time* kapan saja dengan berlandaskan pemanfaatan teknologi internet dan CPS guna mencapai tujuan tercapainya kreasi nilai baru ataupun optimasi nilai yang sudah ada dari setiap proses di industri.

2.2.2 Komponen Industri 4.0

Beberapa komponen utama yang dimiliki oleh revolusi industry 4.0, komponen-komponen tersebut yaitu *Cyber-physical systems*, *The Internet of Things* (IoT), dan *Smart Factory*. Berikut ini adalah penjelasan singkat tentang masing – masing komponen revolusi industri 4.0.

1. *Cyber-physical systems*

Teknologi untuk menggabungkan antara dunia nyata dengan dunia maya. Penggabungan ini dapat terwujud melalui integrasi antara proses fisik dan komputasi (teknologi *embedded computers* dan jaringan) secara *close loop* (Lee, 2008, dalam Prasetyo dan Sutopo, 2017). Melalui IoT, CPS mampu saling berkomunikasi dan bekerja sama secara *real time* termasuk dengan manusia.

2. *The Internet of Things* (IoT)

Menurut analisa McKinsey Global Institute dalam Usmanto dan Bernadhita (2018) *The Internet of Things* (IoT) adalah teknologi yang memungkinkan kita untuk menghubungkan mesin, peralatan, dan benda fisik lainnya dengan sensor jaringan dan aktuator untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin untuk berkolaborasi dan bahkan bertindak berdasarkan informasi baru yang diperoleh secara independen. Teknologi *The Internet of Things* (IoT) sangat luar biasa. Jika sudah direalisasikan, teknologi ini tentu akan sangat memudahkan pekerjaan manusia. Manusia tidak akan perlu lagi mengatur mesin saat menggunakannya, tetapi mesin tersebut akan dapat mengatur dirinya sendiri dan berinteraksi dengan mesin lain yang dapat berkolaborasi dengannya. Hal ini membuat mesin-mesin tersebut dapat bekerja sendiri dan manusia dapat menikmati hasil kerja mesin-mesin tersebut tanpa harus mengatur mereka.

3. *Smart Factory*

Pabrik modular dengan teknologi CPS yang memonitor proses fisik produksi kemudian menampilkannya secara virtual dan melakukan desentralisasi pengambilan keputusan.

2.2.3 Tantangan Industri 4.0

Era revolusi industry 4.0 membuat setiap perusahaan menjadi lebih hemat dan menciptakan proses produksi lebih efisien, tetapi untuk mengikutiinya tidak mudah perlu diperhatikan beberapa tantangan yang dihadapi untuk mengikuti industry 4.0 yaitu:

1. Keamanan

Untuk penerapan industri 4.0, keamanan adalah perhatian utama. Integrasi online ini akan memberi ruang untuk pelanggaran keamanan dan kebocoran data, pencurian dunia maya juga harus dipertimbangkan. Dalam kasus ini, masalahnya bukan masalah perorangan, tetapi dapat, dan mungkin akan, membebani para produser uang dan bahkan dapat merusak reputasi mereka. Oleh karena itu, penelitian dalam bidang keamanan untuk menjaga keamanan perusahaan sangat penting.

2. Permodalan

Ketika datang untuk membawa perubahan pada perusahaan, transformasi seperti itu akan membutuhkan investasi besar dalam teknologi baru. Keputusan untuk melakukan transformasi semacam itu harus pada tingkat CEO. Bahkan kemudian, risikonya harus dihitung dan ditanggapi dengan serius. Selain itu, transformasi seperti itu akan membutuhkan modal besar, yang mengasingkan bisnis yang lebih kecil dan mungkin mengorbankan pangsa pasar mereka di masa depan.

3. Ketenagakerjaan

Meskipun masih terlalu dini untuk berspekulasi tentang kondisi ketenagakerjaan dengan adopsi Industri 4.0 secara global, adalah aman untuk mengatakan bahwa para pekerja akan perlu untuk mendapatkan keterampilan yang berbeda atau yang semuanya baru. Ini dapat membantu menaikkan tarif kerja tetapi juga akan mengasingkan pekerja sektor besar. Sektor pekerja yang pekerjaannya melakukan hal-hal rutin mungkin akan menghadapi tantangan dalam mengikuti industri. Berbagai bentuk pendidikan harus diperkenalkan, tetapi itu tetap tidak memecahkan masalah untuk pekerja yang lebih tua. Ini adalah masalah yang mungkin membutuhkan waktu lebih lama untuk dipecahkan dan perlu dianalisis lebih lanjut.

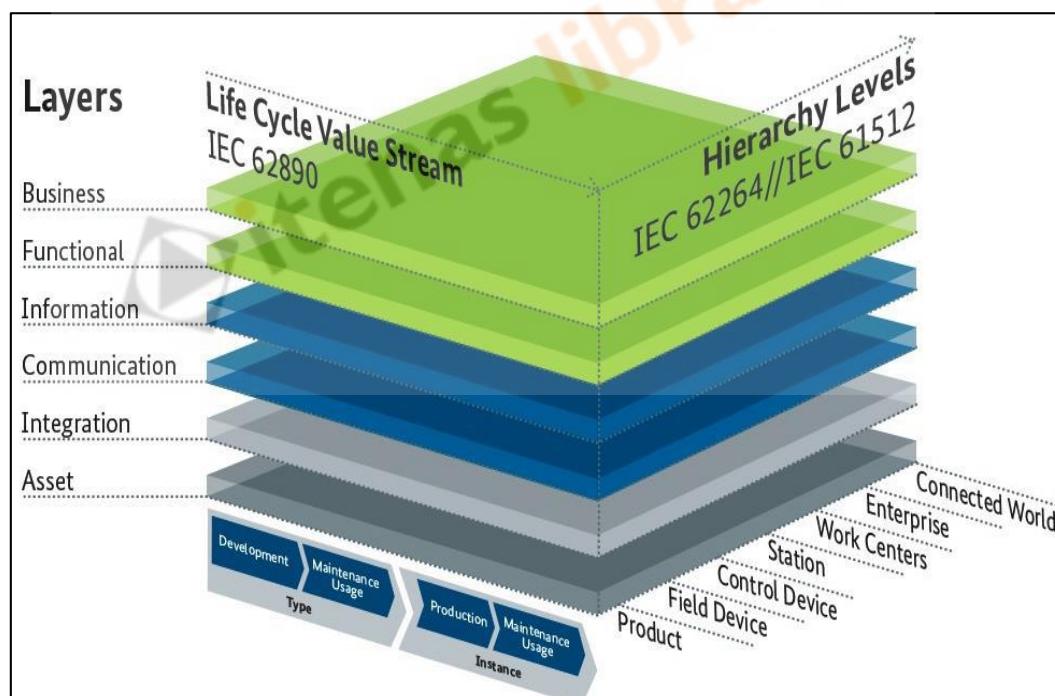
4. Privasi

Ini bukan hanya kekhawatiran pelanggan, tetapi juga para produsen. Dalam industri yang saling terkait, produsen perlu mengumpulkan dan menganalisis data. Kepada pelanggan, ini mungkin tampak seperti ancaman terhadap privasinya. Ini tidak hanya eksklusif untuk konsumen. Perusahaan kecil atau besar yang belum membagikan datanya di masa lalu harus bekerja dengan cara

mereka menuju lingkungan yang lebih transparan. Menjembatani kesenjangan antara konsumen dan produsen akan menjadi tantangan besar bagi kedua belah pihak.

2.3 MODEL PENGUKURAN INDUSTRI 4.0

Model dasar untuk melihat tingkat kesiapan dalam menghadapi era Industri 4.0 adalah Model RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model Industrie 4.0*). Model RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model Industrie 4.0*) menggunakan tiga dimensi yaitu siklus hidup produk atau arus nilai tambah dalam proses produksi di industri yang diiringi dengan penerapan digitalisasi, organisasi perusahaan yang terdiri dari aspek pasar/ bisnis, fungsi, informasi, komunikasi dan sudut pandang mengenai kemampuan integrasi dari komponen (aset perusahaan), dan sistem produksi mulai dari produk, peralatan di lantai produksi sampai ke tingkat perusahaan dan dunia luar. Model RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model Industrie 4.0*) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model RAMI4.0
(Sumber : Adolphs, 2015)

Model RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model Industrie 4.0*) memastikan semua bagian yang terlibat dalam hubungan Industri 4.0 dapat bertukar data dan informasi secara efisien. Menilai tingkat kesiapan berdasarkan tingkatan bisnis perusahaan yang terintegrasi antara siklus hidup produk dan sistem pada pabrik. Selain Model RAMI 4.0, pengukuran terhadap Industri 4.0 terdapat Model *Maturity* umumnya digunakan sebagai alat ukur untuk mengkonseptualisasikan dan mengukur kematangan organisasi atau proses mengenai beberapa target yang spesifik .

Model penilaian kesiapan tersebut adalah acuan bagi model penilaian kesiapan Industri 4.0 diantaranya adalah Model *Warwick Manufacturing Group* (WMG) menjadi dimensi strategi dan organisasi, produk dan layanan, dan manufaktur dan operasi. Pada Model IMPULS Industri 4.0 menjadi dimensi strategi dan organisasi, pabrik cerdas, operasi cerdas, produk cerdas, layanan berbasis data, dan karyawan.

2.3.1 Model Warwick Manufacturing Group (WMG)

Penilaian kesiapan dalam menghadapi era Industri 4.0 dapat dilakukan dengan menggunakan menggunakan model dari *Warwick Manufacturing Group* (WMG) yang dibuat oleh Universitas Warwick, Inggris. Model *Warwick Manufacturing Group* (WMG) menilai tingkat kesiapan Industri 4.0 berdasarkan 4 dimensi diantaranya *Product and Services*, *Manufacture and Operation*, *Strategy and Organization*, dan *Supply Chain*. Setiap dimensi terdiri dari sub dimensi dan setiap sub dimensi memiliki skala penilaian masing-masing seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model

Product and Services	
Criteria	Rating
Product customization Which of the following statements can describe the level of customisation of your product?	1 <i>Product allows for no individualisation, standardised mass production</i>
	2 <i>Majority of products are made in large batch sizes with limited late differentiation</i>
	3 <i>Products can be largely customised but still have standardised base</i>
	4 <i>Late differentiation available for most make-to-order products (batch size 1)</i>
Digital feature of product Which of the following statements can describe the digital features of your product?	1 <i>Products show only physical value</i>
	2 <i>Products show value only from intellectual property licensing</i>
	3 <i>Products exhibit some digital features and value from intellectual property licensing</i>
	4 <i>Products exhibit high digital features and value from intellectual property licensing</i>
Data driven service Which of the following statements describe the data-driven services provided to customers? (Data-driven services refer to services developed by analyzing historical data?)	1 <i>Data-driven services are offered without customer integration</i>
	2 <i>Data-driven services are offered with little customer integration</i>
	3 <i>Data-driven services are offered with customer integration</i>
	4 <i>Data-driven services are fully integrated with the customer</i>
Level of product data usage How much product data (e.g. sales history, customers requirement history etc.) is used for service provision?	1 <i>Data is not used</i>
	2 <i>0-20% of collected data is used</i>
	3 <i>20-50% of collected data is used</i>
	4 <i>More than 50% of collected data is used</i>
Share of Revenue What part of your total revenue is accounted for by data-driven services?	1 <i>Data-driven services account for an initial share of revenue (<2.5%)</i>
	2 <i>Data-driven services account for a moderate share of revenue (2.57.5%)</i>
	3 <i>Data-driven services account for a significant share of revenue (7.510%)</i>
	4 <i>Data-driven services play an important role in revenue (>10%)</i>
Manufacturing and Operation	
Criteria	Rating
Automation What proportion of the process equipment and system infrastructure can be controlled through automation?	1 <i>Few machines can be controlled through automation</i>
	2 <i>Some machines and system infrastructures can be controlled through automation</i>
	3 <i>Most machines and system infrastructures can be controlled through automation</i>
	4 <i>Machines and systems can be controlled completely through automation</i>

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model
(Lanjutan)

Manufacturing and Operation	
Criteria	Rating
Machine and operation system integration (M2M) To what extent are machines and operational systems integrated (M2M)?	1 <i>Machines and systems have no M2M capability</i>
	2 <i>Machines and systems are to some extent interoperable</i>
	3 <i>Machines and systems are partially integrated</i>
	4 <i>Machines and systems are fully integrated</i>
Equipment readiness for industry 4.0 (data) To what extent is your equipment ready for industry 4.0?	1 <i>Significant overhaul required to meet Industry 4 model</i>
	2 <i>Some machines and systems can be upgraded</i>
	3 <i>Machines already meet some of the requirements and can be upgraded where required</i>
	4 <i>Machines and systems already meet all future requirements</i>
Autonomously guided workpieces Are autonomously guided workpieces (e.g. autonomous material handling equipment) used in operations?	1 <i>Autonomously guided workpieces are not in use</i>
	2 <i>Autonomously guided workpieces are not in use, but there are pilots underway</i>
	3 <i>Autonomously guided workpieces used in selected areas</i>
	4 <i>Autonomously guided workpieces are widely adopted</i>
Self-Optimising Process Are self-optimising processes used in manufacturing operations?	1 <i>Self-optimisation processes are not in use</i>
	2 <i>Self-optimising processes are not in use, but there are pilots in more advanced areas of the business</i>
	3 <i>Self-optimising processes are used in selected areas</i>
	4 <i>Self-optimising processes are widely used</i>
Digital modelling To what extent is digital modelling used in operations?	1 <i>No digital modelling</i>
	2 <i>Some processes use digital modelling</i>
	3 <i>Most processes use digital modelling</i>
	4 <i>Complete digital modelling used for all relevant processes</i>
Operation data collection How is operations data collected and in which areas?	1 <i>Data is collected manually when required, e.g. sampling for quality control</i>
	2 <i>Required data is collected digitally in certain areas</i>
	3 <i>Comprehensive digital data collection in multiple areas</i>
	4 <i>Comprehensive automated digital data collection across the entire process</i>
Operation data usage How much of the operations data collected is used and for what purposes?	1 <i>Data is only used for quality and regulatory purposes</i>
	2 <i>Some data is used to control processes</i>
	3 <i>Some data is used to control and optimise processes, e.g. predictive maintenance</i>
	4 <i>All data is used not only to optimise processes, but also for decision making</i>

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model
(Lanjutan)

Manufacturing and Operation		
Criteria	Rating	
Cloud solution usage To what extent are cloud solutions used in data processing?	1	<i>Cloud solutions not in use</i>
	2	<i>Initial solutions planned for cloud-based software, data storage and data analysis</i>
	3	<i>Pilot solutions implemented in some areas of the business</i>
	4	<i>Multiple solutions implemented across the business</i>
IT and security To what extent are IT security solutions used in manufacturing and operations?	1	<i>IT security solutions are planned</i>
	2	<i>IT security solutions have been partially implemented</i>
	3	<i>Comprehensive IT security solutions have been implemented with plans developed to close any gaps</i>
	4	<i>IT security solutions have been implemented for all relevant areas and are reviewed frequently to ensure compliance</i>
Strategy and Organisation		
Criteria	Rating	
Degree of strategy implementation To what degree is Industry 4.0 implemented into company strategy?	1	<i>Industry 4 is recognised at departmental level but is not integrated into the strategy</i>
	2	<i>Industry 4 is included in the business strategy</i>
	3	<i>Industry 4 strategy has been communicated to the business and is widely understood</i>
	4	<i>Industry 4 strategy has been implemented across the business</i>
Measurement To what extent has Industry 4.0 been measured by the company?	1	<i>KPIs are not focused around Industry 4</i>
	2	<i>Structured set of business metrics exist, with some measurement of Industry 4 drivers</i>
	3	<i>Industry 4 metrics are widely understood in the business and used in monthly reporting</i>
	4	<i>Business metrics and personal development plans are focused around Industry 4 objectives</i>
Investment To what degree are investments put into Industry 4.0 development?	1	<i>Initial Industry 4 investments in one business area</i>
	2	<i>Industry 4 investments in more advanced business areas</i>
	3	<i>Industry 4 investments in multiple business areas</i>
	4	<i>Industry 4 investments across the entire business</i>
People Capability To what extent are employees equipped with relevant skills for Industry 4.0?	1	<i>Employees have little or no experience with digital technologies</i>
	2	<i>Technology focused areas of the business have employees with some digital skills</i>
	3	<i>Developed digital and data analysis skills across most areas of the business, e.g. production</i>
	4	<i>Leading edge digital and analytics skills across the business</i>

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model
(Lanjutan)

Strategy and Organisation	
Criteria	Rating
Collaboration <i>To what extent do departments collaborate with each other?</i>	1 <i>The business operates in functional silos</i>
	2 <i>There is limited interaction between departments, e.g. S&OP process</i>
	3 <i>Departments are open to cross functional collaboration</i>
	4 <i>Departments are open to cross company collaboration to drive improvements</i>
Leadership <i>To what extent does the leadership team support Industry 4.0?</i>	1 <i>Leadership team do not recognise the value of Industry 4 investments</i>
	2 <i>Leadership team are investigating potential Industry 4 benefits</i>
	3 <i>Leadership team recognise the financial benefits to be obtained through Industry 4 and are developing plans to invest</i>
	4 <i>Widespread support for Industry 4 within both the leadership team and across the wider business</i>
Finance <i>How often do you conduct a cost / benefit analysis for Industry 4.0 investment?</i>	1 <i>No sizeable Industry 4 investment</i>
	2 <i>No ongoing review of cost/benefit analysis for Industry 4 investment</i>
	3 <i>Annual cost/benefit analysis of Industry 4 investment</i>
	4 <i>Quarterly cost/benefit analysis of Industry 4 investment</i>
Supply Chain	
Criteria	Rating
Inventory control using real-time data management <i>To what extent is real-time data management used for inventory control?</i>	1 <i>Inventory levels are understood</i>
	2 <i>Computer database is used which is manually updated with inventory levels</i>
	3 <i>Computer database used with smart devices updating inventory levels</i>
	4 <i>Real-time database which is updated by smart devices</i>
Supply chain integration <i>To what extent is the current supply chain integrated?</i>	1 <i>Ad hoc reactive communication with suppliers and customers</i>
	2 <i>Basic communication and data sharing where required with suppliers and customers</i>
	3 <i>Data transfer between key strategic suppliers/ customers (e.g. customer inventory levels)</i>
	4 <i>Fully integrated systems with suppliers/customers for appropriate processes (e.g. real-time integrated planning)</i>
Supply chain visibility <i>To what extent does your supply chain have end-to-end visibility?</i>	1 <i>No integration with suppliers or customers</i>
	2 <i>Site location, capacity, inventory and operations are visible between first tier suppliers and customers</i>

	3	<i>Site location, capacity, inventory and operations are visible throughout supply chain</i>
--	---	--

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model
(Lanjutan)

Supply Chain		
Criteria	Rating	
Supply chain visibility To what extent does you supply chain an end-to-end visibility?	4	<i>Site location, capacity, inventory and operations are visible in real-time throughout supply chain and used for monitoring and optimisation</i>
	1	<i>Slow response to market changes</i>
	2	<i>Moderate response to market changes and general customer</i>
Supply chain flexibility Which of the following statements best describes rhe agility of your supply chain?	3	<i>Moderate response to changes in market environment and individual customer requirements</i>
	4	<i>Immediate response to changes in market environment and individual customer requirements</i>
Lead Times Which of the following statements best describes your lead times?	1	<i>Long materials lead time resulting in high inventory levels</i>
	2	<i>Improvements have been identified to reduce lead times for some materials</i>
	3	<i>Some improvements have been implemented to reduce lead times on key materials</i>
	4	<i>Differentiated stocking policies and lead times to meet make-to-order efficiently</i>
Bussiness Model		
Criteria	Rating	
'As a service' business model To what extent are you aware of the 'As-a services' business model?	1	<i>No awareness</i>
	2	<i>Aware of concept with some initial plans for development</i>
	3	<i>High awareness and implementation plans are in development</i>
	4	<i>'As a service' has been implemented and is being offered to the customer</i>
Data driven decisions To what extent is data used to provide services and instructions for business decisions?	1	<i>Data is not widely analysed</i>
	2	<i>Some data is analysed and features in key business reports to review performance</i>
	3	<i>Most data is analysed and the result is considered when making business decisions</i>
	4	<i>All relevant data is analysed and informs business decisions</i>
Real-time tracking To what extent can products be tracked throughout their lifecycle?	1	<i>Limited product tracking</i>
	2	<i>Product can be tracked as it moves between manufacturing and internal distribution sites</i>
	3	<i>Product can be tracked through manufacturing and distribution until it reaches the customers distribution centre</i>
	4	<i>Product can be tracked along the complete lifecycle</i>

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model
(Lanjutan)

Bussiness Model	
Criteria	Rating
Real-time and automated scheduling Which of the following statement best describes the scheduling and maintenance trigger?	1 <i>Equipment is manually maintained in line with the maintenance schedule</i>
	2 <i>Some machines alert operators of a performance issue which enables them to manually schedule a maintenance task</i>
	3 <i>Some machines are selfdiagnosing, automatically passing information to the maintenance scheduling system</i>
	4 <i>Machines are generally self-diagnosing and the maintenance schedule adjusts itself based on real time data inputs from the machine</i>
Integrated marketing channels Which of the following statement best describes your marketing channels?	1 <i>Online presence is separated from offline channels</i>
	2 <i>Integration within the online and offline channels but not between them</i>
	3 <i>Integrated channels and individualised customer approach</i>
	4 <i>Integrated customer experience management across all channels</i>
IT supported business To what extent is business supported by IT?	1 <i>Main business process supported by IT systems</i>
	2 <i>Some areas of the business are supported by IT systems and integrated</i>
	3 <i>Complete IT support of processes but not fully integrated</i>
	4 <i>IT systems support all company processes and are integrated</i>
Legal Considerations	
Criteria	Rating
Contracting models What are the changes in contracting models to meet the new requirements of Industrie 4.0?	1 <i>Contracting processes are linear and unchanged</i>
	2 <i>Some changes to contracting processes to reflect operational changes</i>
	3 <i>Some 'flagship' projects utilise new contracting models but it is not standard across the board</i>
	4 <i>All contracting is behavioural and incentivises all parties to achieve the best result</i>
Risk Where do you see your company in handling the legal risks associated with Industrie 4.0?	1 <i>New risks not identified or assessed</i>
	2 <i>New risks identified and/or assessed but no mitigations planned</i>
	3 <i>New risks identified and assessed, and limited mitigations put in place</i>
	4 <i>Working party has assessed the changing risk profile and has procedures in place to mitigate these</i>

Tabel 2.2 Dimension, Criteria and Rating Scale of Warwick Manufacturing Group Model
(Lanjutan)

Criteria	Legal Considerations			
	Rating			
Data protection What is your current level of data protection management?	1	<i>No data protection policies or procedures</i>		
	2	<i>Have internal policies but do not ensure compliance in engagement with suppliers/customers</i>		
	3	<i>Good understanding with robust policies and procedures but haven't updated for General Data Protection Regulation</i>		
	4	<i>Conducted a recent General Data Protection Regulation audit and are confident of compliance including in light of Industry 4</i>		
Intellectual property Which of the following statement best describes your intellectual property?	1	<i>Intellectual property in new products and services is not identified or protected</i>		
	2	<i>Awareness of intellectual property in new products and services, but no legal protections identified or applied for</i>		
	3	<i>Intellectual property in products and services is identified and in part assessments made as to whether registrations/ contractual rights required, and if required, appropriate steps taken</i>		
	4	<i>Intellectual property in products and services is identified and assessments made as to whether registrations/ contractual rights required and, if required, appropriate steps taken</i>		

2.4 PERANCANGAN ALAT UKUR

Perancangan alat ukur hanya digunakan pada penelitian yang memiliki tujuan. Alat ukur merupakan alat yang digunakan untuk mendukung sebuah penelitian seperti mengukur sesuatu instrumen yang diamati. Alat ukur termasuk penting dalam penelitian karena akan diperoleh data atau informasi tersebut dapat dibuktikan kebenarannya dari alat ukur yang akan dirancang. Alat ukur yang dirancang akan diuji validitas dan reliabilitas apakah alat ukur tersebut sudah benar mengukur apa yang diukur dan alat ukur dapat konsisten apabila digunakan secara berulang.

Penyusunan alat ukur perlu memperlihatkan hal-hal berikut, yaitu masalah yang akan diteliti harus jelas, sumber data harus jelas, alat ukur memiliki tingkat objektifitas yang baik, dan jenis data harus jelas dan mudah digunakan (Sujana dan Ibrahim, 1989 dalam Sanjaya, 2013).

Perancangan alat ukur yang tepat diperlukan penyusunan alat ukur yang baik Iskandar (2013) menjelaskan terdapat langkah penyusunan alat ukur penelitian diantaranya :

1. Mengidentifikasi variabel yang akan diteliti
2. Menjabarkan variabel menjadi dimensi-dimensi
3. Mencari indikator dari setiap dimensi
4. Mendeskripsikan kisi-kisi alat ukur
5. Merumuskan atribut pertanyaan
6. Petunjuk pengisian alat ukur.

2.5 SKALA PENGUKURAN

Pengukuran tidak lain adalah penunjuk angka-angka pada suatu variabel menurut aturan yang telah ditentukan. Hal yang perlu diketahui seorang peneliti adalah dapat mengukur atau memberikan nilai yang tepat untuk konsep yang diamatinya melalui tingkat pengukuran. Tingkat pengukuran yang luas digunakan dalam penelitian sosial adalah tingkat pengukuran yang dikembangkan oleh Kerlinger (1973) dalam Effendi dan Tukiran (2012) yang membagi tingkat ukuran ke dalam empat kategori, yakni nominal, ordinal, interval, dan rasio.

1. Ukuran Nominal

Ukuran nominal adalah tingkat pengukuran yang paling sederhana. Pada ukuran ini tidak ada asumsi tentang jarak maupun urutan antara kategori-kategori dalam ukuran itu. Angka yang ditunjuk untuk suatu kategori tidak merefleksikan bagaimana kedudukan kategori tersebut terhadap kategori lainnya, tetapi hanyalah sekedar label atau kode. Misalnya, untuk variabel jenis kelamin diberikan kode 1 dan 2 tersebut digunakan tidak sebagai nilai, tetapi sekedar kode bahwa responden yang mempunyai kode 1 adalah pria dan kode 2 adalah wanita.

2. Ukuran Ordinal

Tingkat ukuran yang memungkinkan peneliti untuk mengurutkan respondennya dari tingkatan “paling rendah” ke tingkatan “paling tinggi” menurut suatu atribut tertentu. Contoh yang sederhana adalah ukuran untuk kelas ekonomi. Untuk variabel ini, biasanya dipakai ukuran ordinal : atas, menengah, dan bawah. Ukuran ini tidak menunjukkan angka rata-rata kelas ekonomi dan tidak memberikan informasi berapa besar interval antara kelas ekonomi rendah dan kelas ekonomi

atas. Oleh karena itu, perhitungan statistik yang didasarkan perhitungan rata-rata dan deviasi standar tidak dapat diterapkan pada ukuran ini.

3. Ukuran Interval

Ukuran interval mengurutkan orang atau objek berdasarkan suatu atribut. Interval atau jarak yang sama pada skala interval dipandang mewakili interval atau jarak yang sama pula pada objek yang diukur. Jika Indeks Prestasi (IP) lima orang mahasiswa hendak diukur dan didapatkan bahwa mahasiswa A mempunyai IP 4; B 3,5; C 3; D 2,5; dan E 2, maka dapatlah disimpulkan bahwa interval antara mahasiswa A dan C ($4-3=1$) adalah sama dengan interval antara mahasiswa C dan E ($3-2=1$). Karena nilai IP ini adalah nilai interval, tidak dapat dikatakan bahwa mahasiswa A adalah dua kali lebih pintar dari mahasiswa E. Angka-angka IP tersebut tidak mengukur kuantitas prestasi mahasiswa, tetapi hanya menunjukkan urutan peringkat kemampuan akademis kelima mahasiswa tadi dan interval atau jarak kemampuan akademis antara seorang mahasiswa dengan mahasiswa lainnya.

4. Ukuran Rasio

Ukuran rasio diperoleh apabila selain informasi tentang urutan dan interval antarresponden, peneliti mempunyai informasi tambahan tentang jumlah absolut atribut yang dimiliki oleh salah satu dari responden tadi. Jadi ukuran rasio adalah suatu bentuk interval yang jaraknya tidak dinyatakan sebagai perbedaan antarresponden, tetapi antara seorang responden dengan nilai nol absolut. Karena ada titik nol, maka perbandingan absolut dapat ditentukan. Misalnya, jika berat Balita A 3000 gram dan Balita B 6000 gram, peneliti dapat menyimpulkan bahwa Balita B itu 2 kali lebih berat daripada Balita A, dengan adanya nilai nol absolut maka nilai pada skala pengukur adalah jumlah yang senyatanya dari yang dikur sehingga semua operasi matematik dapat diterapkan pada ukuran rasio ini.

2.6 PENGUJIAN ALAT UKUR

2.6.1 Uji Validitas

(Azwar, 1987, dalam Matondang, 2009) menyatakan bahwa validitas berasal dari kata *validity* yang mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu instrumen pengukur (tes) dalam melakukan fungsi ukurnya. Suatu tes dikatakan memiliki validitas yang tinggi apabila alat tersebut menjalankan fungsi ukur secara tepat

atau memberikan hasil ukur yang sesuai dengan maksud dilakukannya pengukuran tersebut. Artinya hasil ukur dari pengukuran tersebut merupakan besaran yang mencerminkan secara tepat fakta atau keadaan sesungguhnya dari apa yang diukur.

Validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan tingkat kesempurnaan suatu alat ukur. Suatu alat ukur dikatakan valid apabila memiliki validitas yang tinggi. Sebaliknya alat ukur yang kurang valid berarti memiliki tingkat validitas yang rendah. Alat ukur dikatakan valid apabila mampu mengukur apa yang diinginkan, tinggi-rendahnya alat ukur menunjukkan sejauh mana data yang terkumpul dan tidak menyimpang pada variabel yang dimaksud. Uji validitas dapat dilakukan dengan menggunakan metoda korelasi *product moment*. Cara perhitung validitas sendiri yaitu dengan menghitung nilai koefisien korelasi produk momen pearson dari setiap pertanyaan. Berikut langkah-langkah pengujian validitas:

1. Menentukan hipotesis

H_0 = Skor butir tidak berkorelasi positif dengan skor faktor.

H_1 = Skor butir berkorelasi positif dengan skor faktor.

2. Menentukan tingkat signifikan (α)

3. Menentukan nilai r_{tabel}

Nilai r_{tabel} ditentukan dengan melihat nilai derajat kebebasan (df) dan tingkat signifikan. Nilai df dihitung dengan Rumus 2.1 :

$$df = \text{Jumlah Kasus (n)} - 2 \quad (2.1)$$

4. Mencari r hitung

Rumus validitas dapat dilihat pada Rumus 2.2:

$$r_{xy} = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad (2.2)$$

r_{xy} = koefisien korelasi

n = jumlah sampel

X = skor per item pertanyaan

Y = skor total

5. Mengambil Keputusan

Dasar pengambilan keputusan :

- a. Jika $r_{hitung} \geq r_{tabel}$ maka butir tersebut *valid*.
- b. Jika $r_{hitung} < r_{tabel}$ maka butir tersebut *invalid*.

2.6.2 Uji Reabilitas

(Azwar, 2003, dalam Matondang, 2009) menyatakan bahwa reliabilitas merupakan salah-satu ciri atau karakter utama instrumen pengukuran yang baik. Reliabilitas adalah ukuran konsistensi skor yang dicapai oleh seseorang yang sama pada kesempatan yang berbeda atau dengan kata lain seberapa jauh hasil penelitian dapat dipercaya (Effendi dan Tukiran, 2012). Pengujian reliabilitas alat ukur dapat dilakukan secara eksternal maupun internal. Secara eksternal pengujian dapat dilakukan dengan test-retest, ekuivalen, dan gabungan keduanya. Secara internal reliabilitas alat ukur dapat diuji dengan menganalisis konsistensi butir-butir yang ada pada alat ukur dengan teknik tertentu. Koefisien Alpha Cronbach merupakan koefisien reliabilitas yang umum digunakan karena koefisien ini menggambarkan variansi dari item-item baik untuk format benar, salah, ataupun bukan. Apabila nilai koefisien Alpha Cronbach lebih besar dari 0,7 maka alat ukur dapat dikatakan reliabel (Sugiyono, 2013). Koefisien Alpha Cronbach merupakan koefisien reliabilitas yang umum digunakan karena koefisien ini menggambarkan variansi dari item-item baik untuk format benar, salah, ataupun bukan. Apabila nilai koefisien Alpha = 0,76 maka nilai reliabilitas tinggi Berikut langkah-langkah pengerjaan uji reliabilitas rumus Alpha Cronbach:

1. Melakukan perhitungan Alpha Cronbach yang dapat dilihat pada Rumus 2.3 dan 2.4.

$$r_{ii} = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\Sigma \sigma^2}{\sigma_1^2} \right] \quad (2.3)$$

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma \sigma^2 - (\Sigma X)^2}{N} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- rii = Reliabilitas Instrumen
- k = Banyaknya butir pertanyaan
- $\Sigma \sigma^2$ = Jumlah Butir Pertanyaan
- σ_1^2 = Varians Total

2. Menentukan kereliabelan alat ukur

Apabila hasil koefisien Alpha > taraf signifikan 70% atau 0,7 maka kuesioner tersebut reliabel. Sebaliknya apabila hasil koefisien Alpha < taraf signifikan 70% atau 0,7 maka kuesioner tersebut tidak reliabel.

2.7 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki, menurut (Saaty, 1993, dalam Hidayat, R. dkk, 2013), hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. Dengan hirarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hirarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis. AHP sering digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain karena alasan-alasan sebagai berikut :

1. Struktur yang berhirarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih, sampai pada subkriteria yang paling dalam.
2. Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi berbagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.
3. Memperhitungkan daya tahan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan.

2.7.1 Prinsip Dasar AHP

Analytic Hierarchy Process (AHP) didasarkan oleh 4 prinsip dasar yang harus dipahami apabila menggunakan metode ini yaitu:

1. *Decomposition*

Dengan prinsip ini struktur masalah yang kompleks dibagi menjadi bagian-bagian secara hierarki. Tujuan didefinisikan dari yang umum sampai khusus. Dalam bentuk yang paling sederhana struktur akan dibandingkan tujuan, kriteria dan level alternatif. Tiap himpunan alternatif mungkin akan dibagi lebih jauh menjadi tingkatan yang lebih detail, mencakup lebih banyak kriteria yang lain. Level paling atas dari hirarki merupakan tujuan yang terdiri atas satu elemen. Level berikutnya mungkin mengandung beberapa elemen, di mana elemen-elemen tersebut bisa dibandingkan, memiliki kepentingan yang hampir sama dan tidak memiliki perbedaan yang terlalu mencolok. Jika perbedaan terlalu besar harus dibuatkan level yang baru.

2. *Comparative Judgments*

Prinsip ini akan dibangun perbandingan berpasangan dari semua elemen yang ada dengan tujuan menghasilkan skala kepentingan relatif dari elemen. Penilaian menghasilkan skala penilaian yang berupa angka. Perbandingan berpasangan dalam bentuk matriks jika dikombinasikan akan menghasilkan prioritas.

3. *Synthesis of priority*

Synthesis of priority dilakukan dengan mengalikan prioritas lokal dengan prioritas dari kriteria bersangkutan di level atasnya dan menambahkannya ke tiap elemen dalam level yang dipengaruhi kriteria. Hasilnya berupa gabungan atau dikenal dengan prioritas global yang kemudian digunakan untuk memboboti prioritas lokal dari elemen di level terendah sesuai dengan kriterianya.

4. *Local consistency*

Penilaian kepentingan relatif yang konsisten antara satu kriteria dengan kriteria lainnya.

2.7.2 Tahapan AHP

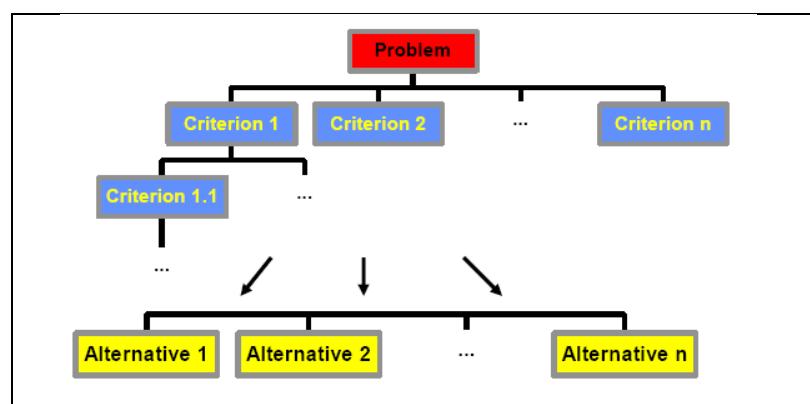
Dalam metode *Analytic hierarchy process* dapat dilakukan tahap-tahap yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut penjelasanya.

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan

Permasalahan didekomposisi ke dalam bentuk pohon hirarki yang menunjukkan hubungan antara permasalahan, kriteria, dan alternatif solusi.

2. Menentukan Struktur Hirarki

Pohon hirarki dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Pohon Hirarki

(Sumber: Sari dan Sensure, 2012)

3. Membuat dan menyebarluaskan kuesioner perbandingan berpasangan

Pada jenis kuisioner ini, kecendrungan pembibitan dilingkari/silang berdasarkan bobotnya, jika sisi kiri lebih penting dari sisi kanan maka angka yang dilingkari adalah 9-1 pada ruas kiri dan sebaliknya.

4. Menghitung nilai rata-rata geometrik dan membuat matriks perbandingan berpasangan

Menyatukan pendapat dari beberapa kuisioner, jika kuisioner diisi oleh pakar, maka kita akan menyatukan pendapat para pakar kedengar menggunakan persamaan rata-rata geometri

5. Menghitung nilai *eigen vector*

Langkah-langkah untuk menghitung nilai *eigen vector* adalah sebagai berikut :

- a. Normalisasi matriks perbandingan berpasangan.

$$V_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{s_j} \quad (2.5)$$

V_{ij} = Hasil pembagian bobot baris ke – i kolom ke – j dengan jumlah bobot tiap kolom ke - j

a_{ij} = Bobot perbandingan baris ke – i kolom ke – j

S_j = Jumlah bobot perbandingan kolom ke – j

- b. Setelah normalisasi dilakukan untuk semua dimensi, dan kriteria, selanjutnya dihitung hasil bobot *eigen vector*

$$\text{Hasil bobot (ei)} = \frac{\sum V_i}{\sum_{i=1}^n V_{i,j}} \quad (2.6)$$

6. Menghitung λ maksimum

Menghitung λ maksimum dari setiap matriks berorde n dengan cara menjumlahkan hasil perkalian antara jumlah bobot seluruh kriteria pada masing-masing kolom matriks dengan nilai *eigen vector* utama dari matriks.

$$\text{Vektor} = \begin{bmatrix} a_{1,1} \\ & \ddots \\ & & a_{i,j} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$A = \frac{\text{Vektor}}{\text{Hasil Bobot (ei)}} \quad (2.8)$$

$$\lambda \text{ maksimum} = \frac{\lambda_{\text{maks}} - n}{n-1} \quad (2.9)$$

7. Melakukan pengujian Indeks Konsistensi (CI)

Menghitung nilai indeks konsistensi untuk setiap matriks ber-orde n dengan menggunakan rumus:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{maks}} - n}{n-1} \quad (2.10)$$

8. Menghitung nilai *Consistency Ratio* (CR)

Rasio konsistensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.11)$$

CR = consistency ratio (ratio konsistensi)

RI = random index (indeks acak) untuk setiap matriks berorde n.

Pada tahapan ini, seluruh kriteria yang berada pada setiap tingkat hirarki diberikan penilaian kepentingan relatif antara satu kriteria dengan kriteria lainnya. Penilaian tersebut menggunakan standar pembobotan Saaty dengan skala berkisar dari 1 hingga 9 dan kebalikannya. Keterangan skala Saaty dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Skala Saaty

Intensitas kepentingan	Keterangan
1	Kepentingan kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutak pentin daripada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

(Sumber : Saaty, 1993)

9. Mengulangi langkah 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 untuk seluruh hirarki.

Jika hasil uji konsistensi (CR) menunjukkan lebih dari 0,1 maka dapat ditetapkan bobot untuk setiap kriteria

2.8 METODE WEIGHTED SUM MODEL (WSM)

Metode *Weighted Sum Model* merupakan metode yang diterapkan untuk membantu pengambil keputusan dalam mengambil suatu keputusan. Metode WSM merupakan salah satu metode yang paling sederhana dan mudah dipahami penerapannya dikarenakan dalam konsep metode ini hanya melakukan perkalian diantara Bobot Kriteria (W_j) dan Nilai Alternatif (X_{ij}). Metode ini merupakan bagian dari MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*) dalam mengevaluasi nilai pada setiap alternatif.

Algoritma penyelesaian dari metode ini adalah:

1. Mengidentifikasi terlebih dahulu dari Kriteria dan Alternatif yang digunakan dalam penyelesaian masalah.
2. Menghitung Nilai WSM-Score. Rumus yang digunakan dalam metode ini dapat dilihat pada Rumus 2.12.

$$A_i \text{WSM-score} = \sum_{j=1}^n w_j \times x_{ij} \quad (2.12)$$

Dimana:

n = jumlah kriteria

W_j = bobot dari setiap kriteria

X_{ij} = nilai matrik x

3. Melakukan perangkingan.

2.9 ANALISIS VARIAN RANKING SATU ARAH KRUSKAL-WALLIS

Analisis varian *ranking* satu arah Kruskall-Wallis ini adalah tes yang sangat berguna untuk menentukan apakah k sampel independen berasal dari populasi-populasi yang berbeda (Siegel, 1992). Langkah-langkah statistik uji Kruskal-Wallis :

1. Merumuskan hipotesis

H_0 : Tidak ada perbedaan nilai median populasi ($\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k$)

H_1 : Ada perbedaan nilai median populasi ($\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_k$)

2. Menentukan taraf nyata atau taraf signifikansi : α

3. Menentukan statistik uji dengan menggunakan Rumus 2.13 s.d 2.15:

- a. Sampel Kecil ($n_1, n_2, n_3 \leq 5$)

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (2.13)$$

- b. Sampel Besar ($n_1, n_2, n_3 > 5$)

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (2.14)$$

- c. Angka Sama

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - N}} \quad (2.15)$$

4. Menentukan kriteria keputusan

- a. Sampel kecil ($n_1, n_2, n_3 \leq 5$)

Menolak H_0 jika $H_{Hitung} \geq H_{tabel}$ atau $P_{value} < \alpha$, sesuai taraf nyata yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran A.

- b. Sampel besar ($n_1, n_2, n_3 > 5$)

Menolak H_0 jika $H_{Hitung} \geq \chi_{\alpha}^2$ atau $P_{value} < \alpha$, nilai chi-kuadrat (χ^2) sesuai taraf nyata yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran A.

5. Melakukan perhitungan. Perhitungan sesuai dengan statistik uji yang dipilih.

6. Pengambil keputusan dan kesimpulan

Pengambil keputusan menolak atau menerima hipotesis berdasarkan nilai statistik uji dan pengambilan kesimpulan berdasarkan kriteria keputusan.