

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Kajian empiris adalah kajian yang didapatkan dari hasil observasi atau percobaan. Dalam pandangan empiris, seseorang hanya dapat mengklaim memiliki pengetahuan saat seseorang memiliki sebuah kepercayaan yang benar berdasarkan bukti empiris. Dalam arti lain, kajian empiris sama artinya dengan hasil dari suatu percobaan. Adapun yang menjadi landasan penelitian terdahulu dalam penelitian ini adalah sebagaimana hasil penelitian yang dilakukan dibawah ini, yakni oleh:

Ploytip Jirasukprasert et. al (2012) telah melakukan studi kasus pengurangan cacat pada perusahaan sarung tangan di Thailand. Dengan menerapkan prinsip-prinsip *Lean Six Sigma* DMAIC diperoleh hasil pengurangan cacat per juta kesempatan dari 195.095 menjadi 83.750. Selain itu terjadi peningkatan tingkat Sigma dari 2,4 menjadi 2,9.

Menurut Wieke Rossaria Dewi, Nasir Widha Setyanto dan Ceria Farela Mada T (2013) pengendalian kualitas menjadi hal yang perlu ditingkatkan pada setiap perusahaan. Upaya dilakukan untuk menerapkan metode pengendalian kualitas dimana pengendalian kualitas yang terjadi pada PT. Prime Line International saat ini masih berdasarkan pengalaman, sehingga belum terdapat metode yang pasti. PT. Prime Line International merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang *garment*. *Waste* yang paling berpengaruh pada proses produksi adalah *waiting* dengan prosentase kejadian sebesar 95,81% dan *level sigma* 0,00, *defect* dengan prosentase kejadian sebesar 2,64% dan *level sigma* 2,84, dan juga *overproduction* dengan prosentase kejadian sebesar 0,76% dan *level sigma* 3,55.

Penelitian berjudul *The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel's manufacturing R&D environment* yang diteliti oleh Rahul Panat, Valentina Dimitrova, Tamil Selvy Selvamuniandy, Kazuhiko Ishiko, Dennis Sun (2014) menghasilkan bahwa pendekatan *Lean Six Sigma* menghasilkan peningkatan efisiensi melebihi target, yaitu 60% pengurangan waktu *idle* dan *waste* serta target pengurangan 40% seiring dengan mengurangi variasi proses bisnis dan menunjukkan adanya peningkatan kepuasan stakeholder tanpa mengorbankan ketelitian teknis manufaktur kontrol konfigurasi.

Hanky Fransiscus, Cynthia Prithadevi Juwono dan Isabelle Sarah Astari (2014) menyatakan produk cacat dapat dikurangi apabila perusahaan mampu mengurangi jumlah cacat yang terjadi pada produk. Dengan menurunnya jumlah cacat diharapkan jumlah produk cacat juga menurun. Metode yang digunakan adalah *Six Sigma* DMAIC untuk mengurangi *paint bucket* cacat di PT X. Hasil dari penelitian ini adalah DPMO dan *sigma quality level* dari *bucket* polos secara berturut-turut adalah 7591,88 dan 3,93. DPMO dan *sigma quality level* dari lid secara berturut-turut adalah 3420,77 dan 4,21. Sedangkan DPMO dan *sigma quality level* pada *bucket* berlabel adalah 8109,44 dan 3,92.

Penelitian berikutnya dilakukan di PT Eksonindo Multi Product Industry karena secara keseluruhan terdapat jumlah produksi yang belum mencapai target produksi perusahaan. Masalah tersebut diteliti lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab target produksi yang tidak tercapai oleh Febrina Indri Rumondang, Sri Widaningrum dan Praty Poeri Suryadhini (2014) menggunakan tahapan DMAI pendekatan *lean six sigma*. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada *current state* maka di dapatkan hasil dari *value stream mapping* (VSM) dengan tingkat pemborosan pada rantai produksi PT Eksonindo Multi Product Industry bahwa terdapat gerakan NNVA dan NVA sebesar 47.17% dan 9.03%. Dari hasil *checklist* yang dibuat, maka disimpulkan bahwa *waste unnecessary motion* teridentifikasi terjadi pada beberapa aktivitas yaitu pencarian *cutting* dise pada ws *cutting* area pon, pengeleman gendongan tas dan pelubangan bagian tas untuk tali pada ws *sewing* area distributor, dan gerakan menjangkau komponen dan alat bantu jahit serta pemakaian tangan kanan dan kiri yang tidak seimbang berdasarkan Peta Tangan Kanan dan Tangan Kiri pada ws *sewing* area penjahitan. Selanjutnya dengan menggunakan *fishbone chart* dan *5why* diperoleh akar penyebab dari *waste unnecessary*

motion yang disebabkan oleh aktivitas operator dalam berjalan, meraih, dan mencari peralatan kerja karena buruknya penempatan layout kerja pada meja kerja.

Penelitian yang dilakukan Reza Maulana Malik, Ambar Harsono dan Lisyte Fitria (2014) pada CV Canera Mulya Lestari Cibaduyut yang bertujuan untuk mengurangi jumlah cacat yang terjadi di perusahaan tersebut. Metode *Six Sigma* dipakai untuk mencari solusi dan memperbaiki kualitas proses produk agar jumlah produk yang cacat dapat dikurangi dan *Process Decision Program Chart* (PDPC) digunakan sebagai alat analisis untuk melakukan identifikasi penyebab cacat dan usulan perbaikan. Sebagaimana hasil analisis yang diketahui adalah Nilai DPMO mengalami penurunan sebesar 12518,80 dan nilai sigma mengalami peningkatan sebesar $0,247\sigma$. Dengan meningkatnya nilai sigma dari $3,22\sigma$ menjadi $3,474\sigma$ dan berkurangnya jumlah cacat per sejuta kesempatan, menandakan bahwa implementasi yang dilakukan dapat dikatakan berhasil karena mampu meningkatkan performansi perusahaan.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Mario Sarisky Dwi Ellianto, Purnomo Budi Santoso dan Achmad As'ad Sonief (2015) menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan *Lean Six Sigma*, FMEA dan Fuzzy dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk botol sabun cair. Hasil penelitian diperoleh identifikasi *waste* paling beresiko yaitu *waste defect* dan diperoleh empat macam jenis *defect* kritis yaitu *defect* kotor hitam, garis di dinding botol, leher menyempit/buntu, mulut tidak rata. Kemudian diperoleh total 34 macam jenis penyebab kegagalan dan dari perhitungan FMEA diketahui bahwa hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dan *fuzzy risk priority number* (FRPN) tertinggi adalah sama yaitu didapat dari *defect* kotoran hitam dengan penyebab *defect* yaitu kurang memperhatikan komposisi material dan kontaminasi/kerak yang terbakar.

Petrus Wisnubroto dan Arya Rukmana (2015) meneliti mengenai *Six Sigma* yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan proses perusahaan dengan DPMO dan tingkat kapabilitas *sigma*, menentukan rencana tindakan dalam upaya meningkatkan kualitas produk dengan pendekatan *Kaizen*, dan mengetahui penyebab-penyebab kecacatan produk dan cara penanggulangannya dengan menggunakan *New Seven Tools* dapat tercapai. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis data suatu perusahaan berdasarkan produk cacat yang ada dengan pendekatan *Six Sigma* dan Analisis *Kaizen* serta *New Seven Tools*. Hasil *Six Sigma* berupa pengukuran *baseline* kinerja perusahaan pada tahap

pengukuran yaitu perusahaan pada kondisi 4,055 *sigma* dengan DPMO 5.310. Kecacatan yang paling berpengaruh adalah kesalahan pada proses penjahitan. Pendekatan *Kaizen* yang meliputi konsep *Five-M Checklist*, 5W+1H (*What, Why, Where, When, Who, How*) dan *Five Step Plan* dengan hasil utama rencana tindakan perbaikan terutama pada pekerja, mesin, material, metode dan lingkungan, Analisis *New Seven Tools* dalam penyelesaian masalah pada TQM (*Total Quality Management*) akan mengarahkan terjadinya perbaikan berkelanjutan melalui PDCA (*Plan, Do, Check, Action*).

Selanjutnya penelitian sebelumnya tentang *six sigma* dilakukan oleh Aulia Kusumawati dan Lailatul Fitriyeni (2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *sigma* dan faktor penyebab kerusakan pada proses produksi bagian *bagging* bagi perusahaan. Dengan melakukan pengendalian kualitas diharapkan dapat meraih tujuan perusahaan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Six Sigma* dengan tahapan *define, measure, analyze, improve*. Hasil *Six Sigma* berupa pengukuran baseline kinerja perusahaan pada tahap pengukuran yaitu perusahaan pada kondisi 5,1 *sigma* dengan DPMO sebesar 162,4532. Faktor-faktor penyebab kecacatan pengemasan gula adalah kekurangtelitian dan ketrampilan operator, ketidak stabilan kecepatan conveyor, dan mesin jet, kondisi kebersihan mesin, kurang akuratan mesin timbang, dan metode perawatan dan pengontrolan yang belum efektif.

Berdasarkan 9 penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka peneliti melakukan penelitian pada PT Lezax Nesia Jaya dengan mengidentifikasi *waste* menggunakan metode *waste assessment model*. Setelah mengetahui 3 *waste* tertinggi yaitu *waste defect*, *waste inventory* dan *waste motion*, kemudian 3 *waste* tersebut diminimasi menggunakan tahapan *six sigma* yaitu *Define, Analyze, Measure* dan *Improve* (DMAI) untuk masing-masing *waste*. Pengidentifikasian *waste defect* adalah dengan mengidentifikasi *Critical to Quality* (CTQ). Pengidentifikasian *waste inventory* adalah dengan mengidentifikasi *stock card* dan layout gudang. Pengidentifikasian *waste motion* adalah dengan mengidentifikasi keluhan operator menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* (NBM). Pengukuran *waste defect* adalah dengan mengukur peta kendali U (*U Chart*), nilai DPMO dan nilai *sigma*. Pengukuran *waste inventory* adalah dengan perhitungan utilitas gudang dan *Inventory Turnover* (ITO). Pengukuran *waste motion* adalah dengan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA). Setelah diidentifikasi dan diukur, tahap selanjutnya adalah menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya masing-masing *waste* dengan

menggunakan *fishbone diagram* atau diagram sebab akibat. Setelah mengetahui faktor-faktor penyebab, kemudian pada tahap perbaikan ini lah yang menjadi pembeda penelitian ini dengan 9 penelitian sebelumnya yaitu peneliti melakukan pembobotan nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk mengetahui urutan perbaikan dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) yang diintegrasikan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Tabel 2. 1 Posisi Peneliti

No.	Judul Jurnal	Penulis	Fokus Kajian (Tujuan)	Hasil Penelitian
1	<i>A Case Study of Defects Reduction in a Rubber Gloves Manufacturing Process by Applying Six Sigma Principles and DMAIC problem Solving Methodology</i>	Ployip Jirasukrasert, Jose Arturo Garza-Reyes, Horacio Soriano Meier, Luis Rocha Lona (2012)	Mengurangi cacat produksi sarung tangan karet dengan menerapkan prinsip-prinsip <i>Six sigma</i> DMAIC	Didapatkan pengurangan cacat per juta kesempatan (DPMO) dari 195.095 mejadi 83.750 dan peningkatan nilai sigma dari 2,4 menjadi 2,9
2	<i>Implementation of Lean Six Sigma Method to Minimize Waste in Prime Line International LTD</i>	Wieke Rossaria Dewi, Nasir Widha Setyanto, Ceria Farela Mada T (2013)	Menganalisis dan melakukan peningkatan kualitas produksi garam dengan pendekatan <i>Lean Six sigma</i> serta menggunakan metode FMEA untuk mengetahui kegagalan yang terjadi.	Hasil dari <i>value stream mapping</i> (VSM) bahwa terdapat NNVA dan NV sebesar 47,17% dan 9,03%. <i>Waste</i> tertinggi adalah <i>waste unnecessary motion</i> yang disebabkan oleh beberapa aktivitas seperti pengeleman gendongan tas dan sebagainya.
3	<i>The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel's manufacturing R&D environment</i>	Rahul Panat, Valentina Dimitrova, Tamil Selvy Selvamuniandy, Kazuhiko Ishiko, Dennis Sun (2014)	Memberikan contoh aplikasi <i>Lean Six sigma</i> (LSS) di Indonesia penelitian dan pengembangan (Litbang) untuk menghilangkan limbah dan memperbaiki sistem berdasarkan ketersediaan data yang pada gilirannya akan meningkatkan lingkungan yang inovatif.	Pendekatan <i>Lean Six Sigma</i> menghasilkan peningkatan efisiensi melebihi target, yaitu 60% pengurangan waktu <i>idle</i> dan <i>waste</i> serta target pengurangan 40% seiring dengan mengurangi variasi proses bisnis dan menunjukkan adanya peningkatan kepuasan stakeholder tanpa mengorbankan ketelitian teknis manufaktur kontrol konfigurasi
4	Implementasi Metode <i>Six Sigma</i> DMAIC untuk mengurangi <i>Paint Bucket</i> Cacat di PT X	Hanky Fransiscus, Cynthia Prithadevi Juwono, Isabelle Sarah Astari (2014)	Mengetahui tingkat kualitas produk <i>paint bucket</i> saat ini dengan mengukur DPMO dan sigma quality level, mengidentifikasi penyebab terjadinya cacat, menentukan tindakan perbaikan	DPMO dan sigma quality level dari bucket polos secara berturut-turut adalah 7591,88 dan 3,93. DPMO dan sigma quality level dari lid secara berturut-turut adalah 3420,77 dan 4,21.

No.	Judul Jurnal	Penulis	Fokus Kajian (Tujuan)	Hasil Penelitian
5	Minimasi <i>Waste Defect</i> pada <i>Workstation Cutting dan Sewing</i> di PT Eksonindo Multi Product Industry dengan Pendekatan <i>Lean Six Sigma</i> Usulan Perbaikan Kualitas Produk Sepatu Menggunakan Metode <i>Six Sigma</i> di CV Canera Mulya Lestari Cibaduyut	Febrina Indri Rumondang, Sri Widaningrum, Praty Poeri Suryadhini (2014)	untuk mengatasi penyebab cacat dan mengukur tingkat kualitas produk setelah perbaikan. Mengidentifikasi penyebab target produksi yang tidak tercapai.	Sedangkan DPMO dan sigma quality level pada bucket berlabel adalah 8109,44 dan 3,92. <i>Waste</i> yang paling berpengaruh adalah waiting karena penumpukan barang setengah jadi pada rak <i>cutting, sewing</i> dan <i>finishing</i> . Rekomendasi dari permasalahan tersebut adalah pengiriman barang dilakukan dengan lot kecil
6	Usulan Perbaikan Penerapan <i>Lean Six Sigma</i> , FMEA dan Fuzzy untuk Meningkatkan Kualitas Produk Botol Sabun Cair	Reza Maulana Malik, Ambar Harsono, Lisye Fitria (2014)	Mengurangi jumlah cacat yang terjadi di perusahaan sepatu CV Canera Mulya Lestari	Nilai DPMO mengalami penurunan sebesar 12518,80 dan nilai sigma mengalami peningkatan sebesar $0,247\sigma$
7	Usulan Perbaikan Penerapan <i>Lean Six Sigma</i> , FMEA dan Fuzzy untuk Meningkatkan Kualitas Produk Botol Sabun Cair	Mario Sarisky Dwi Ellianto, Purnomo Budi Santoso, Achmad As'ad Sonief (2015)	Mengidentifikasi pemborosan yang sangat berpengaruh, mengidentifikasi kecacatan paling kritis, memperoleh prioritas tindakan perbaikan untuk meminimalkan resiko kecacatan pada proses produksi	Identifikasi <i>waste</i> paling beresiko yaitu <i>waste defect</i> dan diperoleh empat macam jenis defect kritis yaitu defect kotor hitam, garis di dinding botol, leher menyempit/buntu, mulut tidak rata
8	Pengendalian Kualitas Produk Dengan Pendekatan <i>Six Sigma</i> Dan Analisis <i>Kaizen</i> Serta <i>New Seven Tools</i> Sebagai Usaha	Petrus Wisubroto, Arya Rukmana (2015)	Mengetahui kemampuan proses perusahaan dengan DPMO dan tingkat kapabilitas <i>sigma</i> , menentukan rencana tindakan dalam upaya meningkatkan kualitas produk dengan pendekatan <i>Kaizen</i> , dan mengetahui penyebab-penyebab kecacatan produk dan cara	Pada produksi pembuatan sarung tangan diperoleh <i>Sigma</i> -4,055 dengan nilai DPMO sebesar 5.310. Kecacatan yang paling berpengaruh adalah kesalahan pada proses penjahitan. Rencana tindakan yang digunakan adalah pendekatan kaizen yaitu <i>Five</i> –

No.	Judul Jurnal	Penulis	Fokus Kajian (Tujuan)	Hasil Penelitian
	Pengurangan Kecacatan Produk		penanggulangannya dengan menggunakan <i>New Seven Tools</i> dapat tercapai.	<i>M Checklist</i> , 5w dan 1H serta <i>Five Step Plan</i>
9	Pengendalian Kualitas Proses Pengemasan Gula dengan Pendekatan <i>Six Sigma</i>	Aulia Kusumawati, Lailatul Fitriyeni (2017)	Mengetahui nilai sigma dan faktor penyebab kerusakan pada proses produksi bagian bagging bagi perusahaan	Pada periode Oktober 2015 – September 2016 mempunyai nilai rata – rata DPMO sebesar 162.453 dengan nilai rata – rata sigma sebesar 5,1. Penyebab terjadinya cacat pada produksi gula adalah kurangnya ketelitian operator dalam melakukan pekerjaan dan pengalaman yang berbeda-beda dan lain sebagainya.
10	Penerapan <i>Lean Six Sigma</i> Pada Divisi Produksi Guna Meminimasi <i>Waste</i> (Studi Kasus: PT Lezax Nesia Jaya)	Eva Altayany (2018)	Mengetahui <i>waste</i> tertinggi dengan menggunakan <i>waste assessment model</i> , faktor penyebab <i>waste</i> dengan menggunakan <i>fishbone diagram</i> dan penggunaan FMEA AHP.	

2.2 *Lean Manufacturing*

Gaspersz dan Fontana (2011) menjelaskan bahwa *Lean* adalah suatu upaya terus-menerus (*continous improvement efforts*) untuk menghilangkan pemborosan (*waste*), dan untuk meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk (barang dan atau jasa), agar memberikan hasil kepada pelanggan (*customer value*).

Lean manufacturing adalah sebuah pendekatan untuk mengidentifikasi dan mengurangi *waste* yang terjadi pada proses produksi melalui peta aliran nilai (*value stream mapping*) yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari proses produksi tersebut (Gaspersz, 2011). *Lean manufacturing* merupakan suatu pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi pemborosan (*waste*) melalui serangkaian aktivitas penyempurnaan (*improvement*) (Gaspersz, 2007). Dalam usaha peningkatan produktivitas, perusahaan harus mengetahui kegiatan yang akan meningkatkan nilai tambah (*value added*) dari suatu produk (barang dan /jasa) dan dapat menghilangkan (*waste*) oleh karena itu diperlukan suatu pendekatan *lean*. *Lean* berfokus pada identifikasi dan eliminasi aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non value added activities*) dalam desain, produksi (untuk bidang manufaktur) atau operasi (untuk bidang jasa) dan *supply chain management* yang berkaitan langsung dengan pelanggan (Womack & Jones, 2003).

Terdapat lima prinsip dasar *Lean*, yaitu sebagai berikut (Hines and Taylor, 2000) :

1. *Specify value*, menentukan hal apa saja yang menciptakan dan tidak menciptakan nilai dari perspektif *customer* dan bukan dari perspektif perusahaan, fungsi, dan departemen.
2. *Eliminate waste*, mengidentifikasi semua langkah yang dibutuhkan untuk perancangan, pemesanan, dan produksi produk yang mencakup *whole value stream* untuk mengetahui dan mengeliminasi *non value added activities* dan *waste* dalam proses.
3. *Make value flow*, menentukan tindakan-tindakan yang menciptakan aliran nilai tanpa adanya gangguan, pengulangan, aliran balik, menunggu, maupun sisa produksi.
4. *Pull value*, hanya membuat apa yang diinginkan *customer*. *Customer* menentukan permintaan melalui *order* yang diberikan. Prinsip ini mengeliminasi kebutuhan akan penyimpanan *inventory* yang berlebih dan modal yang lebih irit.

5. *Pursue perfection*, berusaha keras mencapai kesempurnaan dengan jalan menghilangkan lapisan berturut-turut dari *waste* yang ditemukan secara kontinyu. *Continuous improvement* atau perbaikan berkelanjutan diperlukan untuk mengeliminasi *waste* dari *resources* yang ada

2.3 Konsep Six Sigma

Konsep *Six sigma* diperkenalkan pada akhir 1970-an dan awal 1980-an oleh Motorola. Sebagai hasil dari upaya tersebut, Motorola sekarang dapat menampilkan kinerja membangun pager dan telepon seluler dalam satuan berkisar dari satu unit sampai 100.000. Melalui produksi massal khusus perusahaan dapat memenuhi pesanan yang tepat dalam beberapa menit setelah diterimanya pesanan.

Sigma merupakan *symbol standard* deviasi pada statistik (Σ atau σ) yang berasal dari huruf Yunani, suatu ukuran untuk menyatakan sebuah variasi (variance), atau ketidaktepatan sekelompok item atau proses (Adlan, Devitha, Wibowo, & Satriago, 2005). Menurut pendapat Pande (2002:11) *Six Sigma* adalah sistem yang kompherensif dan fleksibel untuk mencapai, mempertahankan dan memaksimalkan sukses bisnis. *Six sigma* didefinisikan sebagai metodologi untuk peningkatan kualitas. Gasperz (2002) memberikan definisi *Six sigma* yang termuat dalam bukunya berjudul *Pedoman Implementasi Program Six sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA dan HACPP* merupakan adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO/*defect per million opportunity*) untuk setiap transaksi produk (barang dan/atau jasa), upaya giat menuju kesempurnaan (*zero defect / kegagalan nol*).

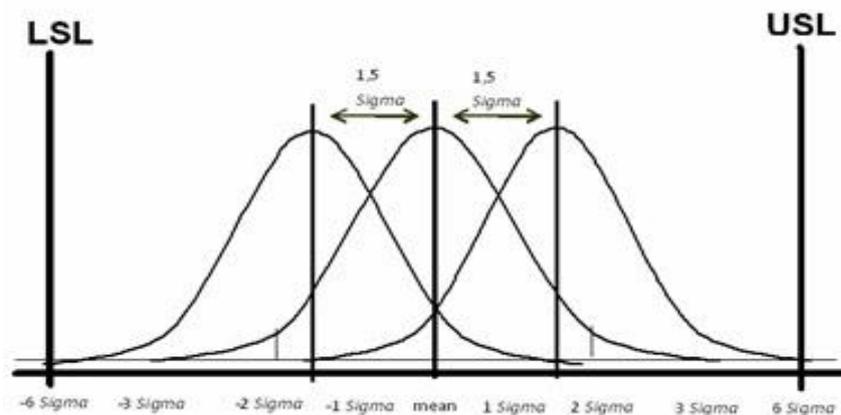
Pendekatan pengendalian proses 6-sigma Motorola (*Motorola's Six Sigma Process Control*) mengizinkan adanya pergeseran nilai rata-rata (*mean*) setiap CTQ (*Critical To Quality*) individual dari proses industri terhadap nilai spesifikasi target (T) sebesar $\pm 1,5$ -sigma, sehingga diestimasikan proses akan menghasilkan 3,4 DPMO (*Defect Per Million Opportunity*) (Mastur & Aji, 2016). Dengan demikian berdasarkan konsep *Six sigma* Motorola, berlaku toleransi penyimpangan: (mean - Target) atau $(\mu - T) = 1,5Q$ atau $\mu = T \pm 1,5\sigma$. Di sini μ (baca: mu) merupakan nilai rata-rata (mean) dari proses, sedangkan σ (baca: sigma) merupakan ukuran variasi proses (Mastur & Aji, 2016).

Tabel 2. 2 Manfaat Pencapaian Beberapa Nilai Sigma

True 6-Sigma Process (Normal Distribution Centered)			Motorola's 6-Sigma Process (Normal Distribution Shifted 1,5-sigma)		
Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Presentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO (Kegagalan cacat per sejuta kesempatan)	Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Presentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO (Kegagalan cacat per sejuta kesempatan)
± 1-sigma	68,27%	317.000	± 1-sigma	30,85%	691.462
± 2-sigma	95,45%	45.500	± 2-sigma	69,1462%	308.538
± 3-sigma	99,73%	2.700	± 3-sigma	93,3193%	66.807
± 4-sigma	99,9937%	63	± 4-sigma	99,3790%	6.210
± 5-sigma	99,99943%	0,57	± 5-sigma	99,9767%	233
± 6-sigma	99,999998 %	0,002	± 6-sigma	99,99966 %	3,4

(Sumber : Gasperz, 2002)

Nilai pergeseran 1,5 Sigma ini diperoleh dari hasil penelitian Motorola atas proses dan sistem industri, dimana menurut hasil penelitian bahwa sebgus-bagusnya suatu proses industri tidak akan 100% berada pada satu titik nilai target, tetapi akan ada pergeseran sebesar rata-rata 1,5 Sigma dari nilai tersebut (Mastur & Aji, 2016). *Six sigma* juga dapat dikatakan sebagai pengendalian proses produksi yang berfokus kepada pelanggan, melalui penekanan pada kemampuan proses atau *process capability*. Gambar konsep *Six Sigma* dengan pergeseran distribusi normal 1,5 Sigma dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

Gambar 2. 1 Konsep *Six sigma* Motorola

(Sumber: Gasperz, 2011)

Menurut Gasperz (2005:310) terdapat enam aspek kunci yang perlu diperhatikan dalam aplikasi konsep *Six Sigma*, yaitu :

1. Identifikasi pelanggan
2. Identifikasi produk
3. Identifikasi kebutuhan dalam memproduksi produk untuk pelanggan
4. Definisi proses
5. Menghindari kesalahan dalam proses dan menghilangkan semua pemborosan yang ada
6. Tingkat proses secara terus menerus menuju target *Six Sigma*

Menurut Gasperz (2005:310) apabila konsep *Six Sigma* akan ditetapkan dalam bidang *manufacturing*, terdapat enam aspek yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Identifikasi karakteristik produk yang memuaskan pelanggan (sesuai kebutuhan dan ekspektasi pelanggan).
2. Mengklasifikasikan semua karakteristik kualitas itu sebagai CTQ (*critical-to-quality*) individual.
3. Menentukan apakah setiap CTQ itu dapat dikendalikan melalui pengendalian material, mesin, proses-proses kerja dan lain-lain.
4. Menentukan batas maksimum toleransi untuk setiap CTQ sesuai yang diinginkan pelanggan (menentukan nilai UCL dan LCL dari setiap CTQ).
5. Menentukan maksimum variasi proses untuk setiap CTQ (menentukan nilai maksimum standar deviasi untuk setiap CTQ).
6. Mengubah desain produk dan / atau proses sedemikian rupa agar mampu mencapai nilai target *Six Sigma*.

2.4 *Lean Six Sigma*

Lean-Six Sigma adalah kombinasi gabungan antara *Lean* dan *Six Sigma* yang dapat didefinisikan sebagai suatu filosofi bisnis, pendekatan sistemik dan sistematis untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (*waste*) atau aktivitas – aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non-value-added activities*) melalui peningkatan terus menerus secara radikal (*radical continous improvement*) untuk mencapai tingkat kinerja enam sigma, dengan cara mengalirkan produk (*material, work-in-process, output*) dan

informasi menggunakan sistem tarik (*pull system*) dari pelanggan internal dan eksternal untuk mengejar keunggulan dan kesempurnaan berupa hanya memproduksi 3,4 cacat untuk setiap satu juta kesempatan atau operasi – 3,4 DPMO (*Defects per Million Opportunities*) (Gaspersz, 2011).

2.5 Tahapan Six Sigma

Menurut Gasperz (2005:322-330), tahap-tahap implementasi peningkatan kualitas dengan *Six sigma* terdiri dari lima tahap yaitu menggunakan metode DMAIC atau *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*. DMAIC merupakan proses untuk peningkatan terus-menerus menuju target *Six sigma*.

1. *Define* adalah penetapan sasaran dari aktivitas peningkatan kualitas *Six sigma*. Langkah ini untuk mendefinisikan rencana –rencana tindakan (*action plan*) yang harus dilakukan untuk melaksanakan peningkatan dari setiap tahap proses bisnis kunci (Gaspersz, 2005:322). Dalam tahap *define* yang akan dilakukan adalah menentukan masalah yang telah diidentifikasi terhadap proses produksi mulai dari awal hingga akhir menjadi produk.

Menurut Pande (2003:166) tiga aktivitas utama yang berkaitan dengan mendefinisikan proses inti dan para pelanggan adalah

- a. Mendefinisikan proses inti mayor dari bisnis.
 - b. Menentukan output kunci dari proses inti tersebut, dan para pelanggan kunci yang mereka layani.
 - c. Menciptakan peta tingkat tinggi dari proses inti atau proses strategi.
2. *Measure* merupakan langkah operasional kedua dalam program peningkatan kualitas *six sigma*. Dalam tahap *measure* yang akan dilakukan adalah memvalidasi atau menyaring masalah dan memulai meneliti akar masalah dalam proses tersebut. *Measure* merupakan tindak lanjut logis terhadap langkah *define* dan merupakan sebuah jembatan untuk langkah berikutnya. Pengukuran yang dilakukan dapat berupa pengukuran stabilitas proses, perhitungan peluang *defect*, pengukuran terhadap proporsi kecacatan dan lain sebagainya (Pete Pande, 2005). Menurut Pande (2005:48) langkah *measure* mempunyai dua sasaran utama yaitu:

- a. Mendapatkan data untuk memvalidasi dan mengkualifikasikan masalah dan peluang. Biasanya ini merupakan informasi kritis untuk memperbaiki dan melengkapi anggaran dasar proyek yang pertama.
- b. Memulai menyentuh fakta dan angka-angka yang memberikan petunjuk tentang akar masalah.

Kemudian dalam tahap *measure*, terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan, yaitu: (Pande, 2005:48)

- a. Memilih atau menentukan karakteristik kualitas (*Critical to Quality*) kunci. Penetapan *Critical to Quality* kunci harus disertai dengan pengukuran yang dapat dikuantifikasikan dalam angka-angka. Hal ini bertujuan agar tidak menimbulkan persepsi dan interpretasi yang dapat saja salah bagi setiap orang dalam proyek *Six Sigma* dan menimbulkan kesulitan dalam pengukuran karakteristik kualitas keandalan. Dalam mengukur karakteristik kualitas, perlu diperhatikan aspek *internal* (tingkat kecacatan produk, biaya-biaya karena kualitas jelek dan lain-lain) dan aspek eksternal organisasi (kepuasan pelanggan, pangsa pasar dan lain-lain).
 - b. Mengembangkan rencana pengumpulan data.
 - c. Pengukuran *baseline* kinerja pada tingkat output.
3. *Analyze* merupakan langkah operasional yang ketiga dalam program peningkatan kualitas *six sigma*. Dalam tahap *analyze* merupakan menganalisis akar permasalahan terhadap proses dan masalah, serta mengidentifikasi akar permasalahan tersebut (Gaspersz, 2011). Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui seberapa baik proses yang berlangsung dan mengidentifikasi akar permasalahan yang mungkin penyebab timbulnya variasi dalam proses (Juran, 1993). Menurut Pande (2000), tujuan dari tahap ini adalah mengidentifikasi langkah-langkah apa yang dibutuhkan untuk dilaksanakan dalam meningkatkan suatu proses dan menurunkan sumber-sumber utama penyebab variasi.
 4. *Improve* merupakan langkah operasional keempat dalam program peningkatan kualitas *six sigma*. Tahap ini merupakan sebuah pelaksanaan dari aktivitas perbaikan berdasar hasil analisis dalam tahap sebelumnya.
 5. *Control* merupakan tahap operasional terakhir dalam upaya peningkatan kualitas *six sigma*. Pada tahap ini dilakukan pengendalian terhadap proses secara terus menerus untuk meningkatkan kapabilitas, selain itu memastikan perbaikan

terhadap proses tersebut dengan sekali diterapkan akan dipertahankan. Tahap ini merupakan rencana perbaikan ulang terhadap proses tidak diinginkan dan keuntungan dari perbaikan yang terus menerus harus didapatkan. Pada bagian ini dilakukan rencana pengendalian (*control plan*) terhadap proses (Dewi S. K., 2012).

2.6 Waste (Pemborosan)

Tujuan utama dari sistem *lean manufacturing* adalah meminimasi *waste* (pemborosan). *Waste* atau *muda* dalam bahasa Jepang adalah segala sesuatu yang tidak bernilai atau tidak bernilai tambah. *Waste* adalah sesuatu yang pelanggan tidak mau membayarnya. Ditegaskan kembali oleh (P & D, 2000) bahwa *waste* berarti *non-value-adding activities* dalam sudut pandang pelanggan.

Terdapat tujuh jenis pemborosan yang didefinisikan oleh (Shigeo, 1989), diantaranya sebagai berikut:

1. *Overproduction*- memproduksi terlalu banyak melebihi kebutuhan pelanggan atau memproduksi lebih cepat daripada waktu kebutuhan pelanggan yang menyebabkan kelebihan *inventory*.
2. *Defects*- yang tergolong *defect* contohnya bisa berupa kesalahan dokumentasi, permasalahan kualitas produk yang dihasilkan, atau *delivery performance* yang buruk.
3. *Unnecessary Process*- seperti kesalahan dalam mempergunakan *tools* saat bekerja sehingga terjadinya kesalahan dalam proses produksi.
4. *Unnecessary Inventory*- kelebihan penyimpanan dan *delay* material maupun produk sehingga mengakibatkan peningkatan biaya dan penurunan kualitas pelayanan terhadap pelanggan
5. *Excessive Transportation*- dapat berupa waktu, tenaga dan biaya akibat pergerakan yang berlebihan dari pekerja, aliran informasi dan atau material produk.
6. *Waiting*- tidak beraktifitasnya (menunggu) pekerja, informasi dan atau barang dalam waktu yang lama yang berdampak terhadap buruknya aliran proses dan bertambahnya *lead times*.

7. *Unnecessary Motions*- segala pergerakan dari orang atau mesin yang tidak bernilai tambah terhadap barang dan jasa yang akan diserahkan kepada pelanggan tetapi hanya menambah biaya dan waktu saja. Atau keadaan tempat kerja yang kurang (tidak ergonomis) yang menyebabkan pekerja melakukan gerakan yang tidak perlu.

2.7 Define (Mendefinisikan)

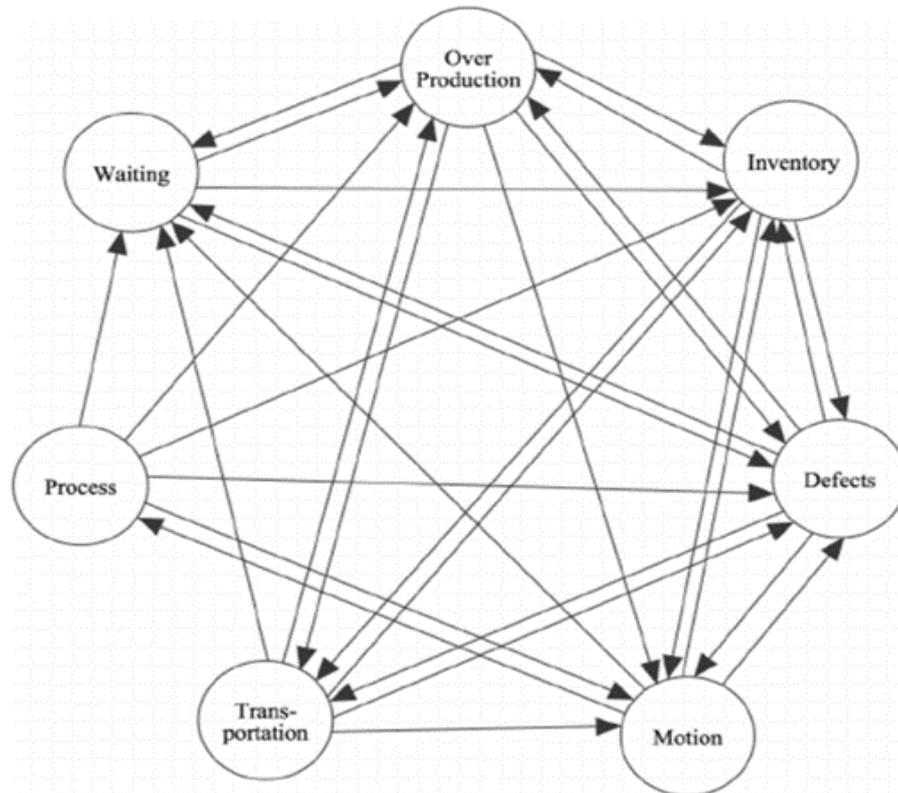
Define merupakan langkah operasional yang pertama dalam tahapan *Six Sigma*.

2.7.1 Waste Assessment Model (WAM)

Dalam mengetahui *waste* yang paling dominan dan membutuhkan perbaikan dengan segera perlu dilakukan identifikasi *waste*. Pada tahap identifikasi ini dibutuhkan suatu model untuk memudahkan dan menyederhanakan proses pencarian permasalahan *waste* (Rawabdeh, 2005). Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Waste Assessment Model* (WAM) yang terdiri dari *Waste Relationship Matrix* (WRM) dan *Waste Assessment Questionnaire* (WAQ). Model ini memiliki kelebihan berupa matriks yang sederhana dan kuesioner yang mencakup banyak hal dan mampu memberikan kontribusi untuk mencapai hasil yang akurat dalam mengidentifikasi hubungan antar *waste* yang ada dan juga penyebab terjadinya *waste* (Rawabdeh, 2005).

1. Seven Waste Relationship (SWR)

Semua *waste* saling bergantung satu sama lain, saling mempengaruhi dan dipengaruhi. Hubungan antar *waste* memang sangat kompleks karena disebabkan pengaruh dari setiap *waste* dapat muncul secara langsung atau tidak langsung. Hubungan antar *waste* yang satu dengan yang lain dapat disimbolkan dengan menggunakan huruf pertama pada setiap *waste* (Rawabdeh, 2005). O untuk *overproduction*, I untuk *inventory*, D untuk *defect*, M untuk *motion*, P untuk *process*, T untuk *transpotation* dan W untuk *waiting*.



Gambar 2. 2 **Hubungan antar Waste**

(Sumber: (Rawabdeh, 2005))

Tabel dibawah ini adalah tabel yang menampilkan penjelasan keterkaitan antar *waste* (Rawabdeh, 2005):

Tabel 2. 3 Jenis Hubungan Antar *Waste*

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
1	O_I (<i>Overproduction_</i> <i>Inventory</i>)	Produksi berlebih dan membutuhkan banyak bahan baku menyebabkan adanya stok bahan baku dan membuat adanya <i>work-in-process</i> yang dapat menghabiskan ruang dan mempertimbangkan kondisi sementara ketika tidak ada pelanggan yang mungkin tidak memesan
2	O_D (<i>Overproduction_</i> <i>Defect</i>)	Ketika operator produksi berlebih, timbul kekhawatiran akan kualitas dari produk
3	O_M (<i>Overproduction_</i> <i>Motion</i>)	Produksi berlebih berpengaruh pada kebiasaan non ergonomi, dimana akan berpengaruh pada metode kerja yang tidak memenuhi standar dengan banyaknya kerugian gerakan
4	O_T (<i>Overproduction_</i> <i>Transportation</i>)	Produksi berlebih berpengaruh pada upaya transportasi yang lebih untuk dapat menyokong jumlah bahan yang melimpah

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
5	<i>O_W</i> (<i>Overproduction_</i> <i>Waiting</i>)	Ketika produksi berlebih, hasil yang didapatkan pada waktu yang lebih lama dan pelanggan berikutnya akan menunggu lebih lama lagi
6	<i>I_O</i> (<i>Inventory_</i> <i>Overproduction</i>)	Tingkat persediaan bahan baku yang tinggi dapat mendorong pekerja untuk bekerja lebih dan dapat meningkatkan profitabilitas
7	<i>I_D</i> (<i>Inventory_</i> <i>Defect</i>)	Peningkatan inventory (RM, WIP dan FG) dapat meningkatkan peluang terjadinya cacat dikarenakan kekurangan konsentrasi saat mengerjakan dan tidak cocok dengan kondisi penggudangan
8	<i>I_M</i> (<i>Inventory_</i> <i>Motion</i>)	Peningkatan <i>inventory</i> akan meningkatkan waktu untuk mencari, menyeleksi, menjangkau atau berpindah
9	<i>I_T</i> (<i>Inventory_</i> <i>Transportation</i>)	Peningkatan <i>inventory</i> suatu saat dapat menghalangi gang (jalanan di sela-sela ruang), membuat aktivitas produksi menghabiskan banyak waktu untuk transportasi
10	<i>D_O</i> (<i>Defect_</i> <i>Overproduction</i>)	Produksi berlebih memunculkan perilaku untuk dapat mengatasi masalah kekurangan bahan karena adanya bahan cacat
11	<i>D_I</i> (<i>Defect_</i> <i>Inventory</i>)	Memproduksi bahan setengah jadi yang cacat menimbulkan perlunya <i>rework</i> yang berarti bahwa meningkatkan adanya <i>inventory</i> karena <i>work in process</i>
12	<i>D_M</i> (<i>Defect_</i> <i>Motion</i>)	Produksi cacat meningkatkan waktu untuk mencari, menyeleksi dan menginspeksi produk setengah jadi
13	<i>D_T</i> (<i>Defect_</i> <i>Transportation</i>)	Perpindahan produk setengah jadi yang cacat ke stasiun kerja sebelumnya membuat terjadinya pemborosan transportasi
14	<i>D_W</i> (<i>Defect_</i> <i>Waiting</i>)	Dengan adanya <i>rework</i> akan membuat proses selanjutnya menunggu
15	<i>M_I</i> (<i>Motion_</i> <i>Inventory</i>)	Metode kerja yang tidak sesuai dengan standar dapat meningkatkan adanya <i>work in process</i>
16	<i>M_D</i> (<i>Motion_</i> <i>Defect</i>)	Ketiadaan pelatihan dan standarisasi berarti bahwa persen cacat dapat meningkat
17	<i>M_P</i> (<i>Motion_</i> <i>Process</i>)	Ketika pekerjaan tidak terstandarisasi, pemborosan proses dapat meningkat karena kekurangpahaman kapasitas yang tersedia
18	<i>M_W</i> (<i>Motion_</i> <i>Waiting</i>)	Ketika standar tidak digunakan, waktu akan banyak dihabiskan untuk mencari, menggenggam, berpindah yang dapat mengakibatkan peningkatan waktu menunggu dari stasiun yang satu ke stasiun selanjutnya
19	<i>T_O</i> (<i>Transportation_</i> <i>Overproduction</i>)	Barang yang diproduksi lebih dari kapasitas akan meningkatkan pemindahan

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
20	<i>T_I</i> (<i>Transportation_Inventory</i>)	Ketidalcukupan <i>material handling equipment</i> (MHE) dapat menyebabkan <i>work in process</i> yang dapat berpengaruh pada proses selanjutnya
21	<i>T_D</i> (<i>Transportation_Defect</i>)	MHE sangat berperan untuk menentukan pemborosan dalam hal transportasi. MHE yang tidak cocok suatu saat dapat membahayakan produk yang dapat berakibat pada terjadinya kecacatan
22	<i>T_M</i> (<i>Transportation_Motion</i>)	Ketika <i>item</i> ditransportasikan kemana saja ini berarti bahwa besar kemungkinan terjadinya pemborosan pergerakan
23	<i>T_W</i> (<i>Transportation_Waiting</i>)	Apabila MHE tidak mencukupi, ini berarti bahwa <i>item</i> akan menganggur untuk menunggu dipindahkan
24	<i>P_O</i> (<i>Process_Overproduction</i>)	Untuk mengurangi biaya dari operasi per waktu mesin, maka mesin didorong untuk beroperasi penuh, dimana hasilnya akan terjadi produksi berlebih
25	<i>P_I</i> (<i>Process_Inventory</i>)	Kombinasi operasi dalam satu sel akan mendapatkan hasil secara langsung untuk menurunkan jumlah <i>work in process</i> karena mengeliminasi <i>buffer</i>
26	<i>P_D</i> (<i>Process_Defect</i>)	Jika mesin tidak dirawat sewajarnya, maka dapat menimbulkan cacat
27	<i>P_M</i> (<i>Process_Motion</i>)	Teknologi proses baru yang kekurangan training dapat menghasilkan pemborosan dalam hal pergerakan manusia
28	<i>P_W</i> (<i>Process_Waiting</i>)	Ketika teknologi yang digunakan tidak cocok, <i>setup time</i> dan <i>repetitive down time</i> sudah pasti akan menambah waktu tunggu
29	<i>W_O</i> (<i>Waiting_Overproduction</i>)	Ketika mesin menunggu karena <i>supplier</i> memasok konsumen lain, mesin ini suatu saat akan dipaksa untuk memproduksi lebih untuk menjaga agar proses dapat tetap berjalan
30	<i>W_I</i> (<i>Waiting_Inventory</i>)	Menunggu berarti banyak <i>item</i> daripada yang dibutuhkan pada satu titik, baik bahan baku, <i>work in process</i> ataupun produk jadi
31	<i>W_D</i> (<i>Waiting_Defect</i>)	<i>Item</i> yang menunggu mungkin menyebabkan cacat pada kondisi yang tidak cocok

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan kriteria pengukuran yang berupa enam pertanyaan dengan tiap jawaban memiliki rentang bobot 0 sampai 4. Hubungan antar *waste* yang satu dengan yang lainnya dapat disimbolkan dengan menggunakan huruf pertama pada tiap *waste* (Rawabdeh, 2005).

Tabel 2. 4 Kriteria untuk Pembobotan Kekuatan *Waste Relationship*

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
1	Apakah i menghasilkan j	a. Selalu	4
		b. Kadang	2
		c. Jarang	0
2	Bagaimana jenis hubungan antara i dan j	a. Jika i naik maka j naik	2
		b. Jika i naik maka j tetap	1
		c. Tidak tentu, tergantung keadaan	0
3	Dampak terhadap j karena i	a. Tampak secara langsung & jelas	4
		b. Butuh waktu untuk muncul	2
		c. Tidak sering muncul	0
4	Menghilangkan dampak i terhadap j dapat dicapai dengan cara....	a. Metode <i>engineering</i>	2
		b. Sederhana & langsung	1
		c. Solusi untuk intruksional	0
5	Dampak i terhadap j terutama mempengaruhi....	a. Kualitas produk	1
		b. Produktivitas sumber daya	1
		c. Lead time	1
		d. Kualitas & Produktivitas	2
		e. Kualitas & <i>lead time</i>	2
		f. Produktifitas & <i>lead time</i>	2
		g. Kualitas, produktivitas & <i>lead time</i>	4
6	Sebesar apa dampak i terhadap j akan meningkatkan <i>lead time</i>	a. Sangat tinggi	4
		b. Sedang	2
		c. Rendah	0

(Sumber: Rawabdeh, 2005)

2. *Waste Relationship Matrix (WRM)*

Waste Relationship Matrix (WRM) merupakan matriks yang digunakan untuk menganalisis kriteria pengukuran (Khannan & Haryono, 2015). *Waste Relationship Matrix* merupakan suatu *matrix* yang digunakan untuk menganalisis kriteria pengukuran. *WRM* merupakan *matrix* yang terdiri dari baris dan kolom. Setiap baris menunjukkan pengaruh suatu *waste* tertentu terhadap ke 6 *waste* lainnya. Sedangkan setiap kolom menunjukkan *waste* yang dipengaruhi oleh *waste* lainnya (Rawabdeh, 2005).

Tabel 2. 5 Contoh *Waste Relationship Matrix*

FROM/TO	<i>Overproduction</i>	<i>Inventory</i>	<i>Defect</i>	<i>Motion</i>	<i>Transportation</i>	<i>Process</i>	<i>Waiting</i>
<i>Overproduction</i>	A	E	A	O	O	X	E
<i>Inventory</i>	A	A	I	I	I	X	X
<i>Defect</i>	I	I	A	A	O	X	E
<i>Motion</i>	X	I	O	A	X	E	I
<i>Transportation</i>	U	O	U	O	A	X	U
<i>Process</i>	E	A	I	E	X	A	O
<i>Waiting</i>	U	U	I	X	X	X	A

Tabel 2. 6 Konversi Rentang Skor Keterkaitan antar *Waste*

Range	Jenis Hubungan	Simbol
17-20	<i>Absolutely Necessary</i>	A
13-16	<i>Especially Important</i>	E
9-12	<i>Important</i>	I
5-8	<i>Ordinary Closeness</i>	O
1-4	<i>Unimportant</i>	U

(Sumber: Rawabdeh, 2005)

3. *Waste Assessment Questionnaire (WAQ)*

Waste Assessment Questionnaire dibuat untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan *waste* yang terjadi pada lini produksi (Khannan & Haryono, 2015). *Waste Assessment Questionnaire* dibuat untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan *waste* yang terjadi pada lini produksi (Rawabdeh, 2005), kuesioner untuk WAQ terdiri dari 68 pertanyaan. Kuesioner ini mewakili dua jenis pertanyaan yang didahului dengan “*from*” yaitu menjelaskan jenis pemborosan yang dapat menyebabkan munculnya pemborosan yang lain dan “*to*” yaitu menjelaskan jenis pemborosan yang muncul disebabkan oleh pemborosan lain. Jawaban kuesioner terdiri dari dua kategori jawaban, yaitu A bila terdapat pemborosan dan B bila tidak terdapat pemborosan. Kedua kategori jawaban tersebut memiliki tiga jenis pilihan jawaban yaitu “Ya”, “sedang”, dan “tidak” yang memiliki bobot 1, 0.5, dan 0. WAQ memiliki delapan tahapan perhitungan skor *Waste* untuk mencapai peringkat *Waste*, yaitu antara lain: (Rawabdeh, 2005)

- 1) Mengelompokkan dan menghitung jumlah pertanyaan kuesioner berdasarkan jenis pertanyaan.
- 2) Melakukan pembobotan awal untuk tiap jenis *waste* pada tiap jenis pertanyaan kuesioner berdasarkan nilai bobot dari WRM.
- 3) Menghilangkan pengaruh variasi jumlah pertanyaan untuk tiap jenis pertanyaan dengan membagi bobot setiap baris dengan jumlah pertanyaan yang dikelompokkan (N_i) untuk setiap pertanyaan dengan menggunakan persamaan berikut (Rawabdeh, 2005):

$$S_j = \sum_{k=1}^K \frac{W_{j.k}}{N_i}$$

- 4) Menghitung jumlah skor (S_j) berdasarkan persamaan 3 dan frekuensi (F_j) dari munculnya nilai pada tiap kolom *waste* dengan mengabaikan nilai 0 (nol).

$$F_j = N - F_0$$

- 5) Memasukkan nilai rata-rata dari jawaban (terlampir) dari hasil kuesioner ke dalam tiap bobot nilai di tabel dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_j = \sum_{k=1}^K X_k \frac{W_{j.k}}{N_i}$$

- 6) Menghitung jumlah skor (s_j) berdasarkan persamaan 5 dan frekuensi (f_j) untuk tiap nilai bobot pada kolom *Waste*

$$f_j = N - f_0$$

- 7) Menghitung indikator awal untuk tiap *waste* (Y_j) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y_j = \frac{s_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j}$$

- 8) Menghitung nilai final *waste* faktor (Y_{jfinal}) dengan memasukkan faktor probabilitas pengaruh antara jenis *waste* (P_j) berdasarkan total "from" dan "to" pada WRM. Mempersentasekan bentuk Y_{jfinal} yang diperoleh sehingga bisa diketahui peringkat level dari masing-masing *waste*. Y_{jfinal} dapat dihasilkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y_{jfinal} = Y_j \times P_j = \left(\frac{s_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j} \right) \times (\%From_j \times \%To_j)$$

Keterangan:

N = Jumlah pertanyaan (68)

N_i	= Jumlah pertanyaan yang dikelompokkan
K	= Nomor pertanyaan (antara 1-68)
X_k	= Nilai dari jawaban tiap pertanyaan kuesioner (1, 0.5 atau 0)
S_j	= Skor <i>waste</i>
S_j	= Total untuk nilai bobot <i>waste</i>
W_j	= Bobot hubungan dari tiap jenis <i>waste</i>
F_j	= Frekuensi <i>waste</i> bukan 0 (Untuk S_j)
f_j	= Frekuensi <i>waste</i> bukan 0 (Untuk s_j)
F_o	= Frekuensi 0 (Untuk S_j)
f_o	= Frekuensi 0 (Untuk s_j)
Y_j	= Faktor indikasi awal dari tiap jenis <i>waste</i>
P_j	= Probabilitas pengaruh antar jenis <i>waste</i>
Y_{final}	= Faktor akhir dari setiap jenis <i>waste</i>
$\%From_j$	= Persentase nilai <i>from waste</i> terkait
$\%To_j$	= Persentase nilai <i>to waste</i> terkait

2.7.2 SIPOC Diagram

SIPOC Diagram digunakan pada tahap *define* dalam *six sigma*. Analisis SIPOC adalah cara sederhana untuk mengidentifikasi tentang bagaimana aliran proses dimulai dari pemasok sampai dengan pelanggan (Saludin, 2016). *SIPOC Diagram* adalah adalah suatu diagram yang menggambarkan sebuah proses yang didalamnya terdapat *supplier*, *input*, *process*, *output* dan *customer* yang memiliki arti sebagai berikut: (Saludin, 2016).

- Supplier* – sistem, orang-orang, organisasi atau sumber lain untuk material, informasi, dan sumber daya lainnya yang ditransformasikan dalam suatu proses tertentu.
- Input* – material, informasi, dan sumber daya lainnya yang disediakan oleh *supplier* dan ditransformasikan dalam suatu proses tertentu.
- Process* – suatu kumpulan langkah dan aktivitas yang mentransformasikan *input* menjadi *output*.
- Output* – suatu produk atau jasa yang dihasilkan dari suatu proses dan digunakan oleh konsumen.

- e. *Customer* – orang-orang, perusahaan, sistem atau proses-proses lain yang menerima *output* dari proses tertentu.

2.7.3 Pendefinisian *Waste Defect*

Dalam aplikasi *Six sigma*, *Critical to Quality* (CTQ) adalah kriteria karakteristik kualitas yang menimbulkan dan atau memiliki potensi untuk menimbulkan kegagalan atau kecacatan (Gaspersz, 2002). CTQ adalah atribut-atribut yang sangat penting karena CTQ berkaitan langsung dengan kepuasan pelanggan, yang merupakan elemen dari produk, proses atau praktek yang berdampak terhadap kualitas.

2.7.4 Pendefinisian *Waste Inventory*

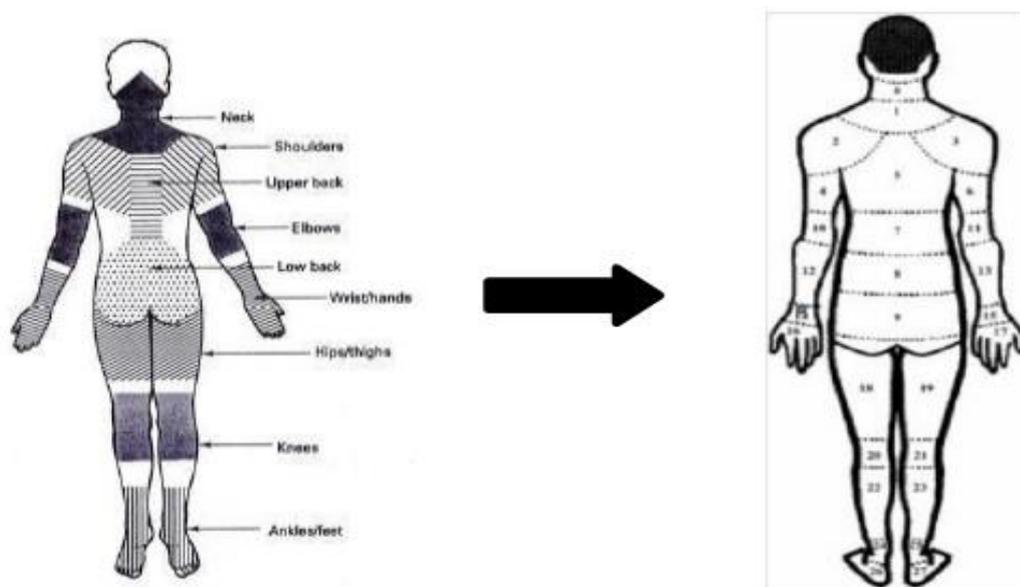
Stock Card atau biasa dikenal sebagai kartu stock merupakan *tools* yang sangat mendasar dan sederhana dalam pengelolaan *Inventory* namun sangat penting (Sipahutar, 2013). Fungsi dasarnya adalah mencatat pergerakan keluar masuk *inventory*. Secara sederhana, *stock card* itu akan berisi beberapa kolom utama yaitu: (Sipahutar, 2013)

1. Tanggal : Berisi catatan tanggal penerimaan dan pengeluaran
2. Keterangan : Penjelasan atas pergerakan barang baik keluar maupun penerimaan
3. *In* (Masuk) : Ini adalah kolom untuk menulis jumlah yang diterima
4. *Out* (Keluar) : Ini adalah kolom untuk menulis jumlah yang keluar
5. *Balance* (Saldo) : Ini adalah kolom selisih antara *Stock* Awal setelah ditambah dengan penerimaan atau dikurangi dengan pengeluaran yang hasilnya disebut dengan *Stock* Akhir
6. *Paraf* : Ini adalah kolom verifikasi yang menerima atau yang mengeluarkan

Sangat penting untuk selalu mengisi *stock card* secara rutin dan benar. *Stock Card* adalah data awal yang akan menjadi acuan pada semua proses selanjutnya, mulai dari sebagai alat verifikasi penjualan barang, analisis perhitungan *Inventory Turn Over* hingga *Aging of Inventory*. Data *stock card* yang tidak di perbaharui secara berkala dan diisi dengan benar akan menjadikan data berikutnya menjadi menyesatkan bahkan tidak berguna. (Sipahutar, 2013)

2.7.5 Pendefinisian *Waste Motion*

Nordic Body Map merupakan salah satu alat ukur subjektif berupa kuesioner yang digunakan untuk mengetahui bagian-bagian otot yang mengalami keluhan mulai dari rasa tidak nyaman (agak sakit) sampai sangat sakit (Corlett, 1992). Kuesioner *nordic body map* menggunakan gambar tubuh manusia yang dibagi menjadi 9 bagian tubuh utama yaitu leher, bahu, punggung bagian atas, siku, punggung bagian bawah, pinggang, lutut dan tumit. Dari 9 bagian tubuh tersebut kemudian diperinci menjadi 28 bagian tubuh seperti gambar dibawah berikut ini:



Gambar 2. 3 Perincian Bagian Tubuh *Nordic Body Map*

(Sumber: (Kroemer, 2001))

Tabel 2. 7 Tingkat Kesakitan Pekerja

Keterangan		
A	No Pain	Tidak terasa sakit
B	Sedangely Pain	Cukup sakit
C	Painful	Menyakitkan
D	Very Painful	Sangat Menyakitkan

Tabel 2. 8 Kuesioner *Nordic Body Map*

No	Location	Level of Complaints			
		A	B	C	D
0	<i>Upper neck</i> /atas leher				
1	<i>Lower neck</i> /bawah leher				

No	Location	Level of Complaints			
		A	B	C	D
2	<i>Left shoulder</i> /kiri bahu				
3	<i>Right shoulder</i> /kanan bahu				
4	<i>Left upper arm</i> /kiri atas lengan				
5	<i>Back</i> /punggung				
6	<i>Right upper arm</i> /kanan atas lengan				
7	<i>Waist</i> /pinggang				
8	<i>Buttock</i> /pantat				
9	<i>Bottom</i> /bagian bawah pantat				
10	<i>Left elbow</i> /kiri siku				
11	<i>Right elbow</i> /kanan siku				
12	<i>Left lower arm</i> /kiri lengan bawah				
13	<i>Right lower arm</i> /kanan lengan bawah				
14	<i>Left wrist</i> /pergelangan tangan kiri				
15	<i>Right wrist</i> /pergelangan tangan kanan				
16	<i>Left hand</i> /tangan kiri				
17	<i>Right hand</i> /tangan kanan				
18	<i>Left thigh</i> /paha kiri				
19	<i>Right thigh</i> /paha kanan				
20	<i>Left knee</i> /lutut kiri				
21	<i>Right knee</i> /lutut kanan				
22	<i>Left calf</i> /betis kiri				
23	<i>Right calf</i> /betis kanan				
24	<i>Left ankle</i> /pergelangan kaki kiri				
25	<i>Right ankle</i> /pergelangan kaki kanan				
26	<i>Left foot</i> /kaki kiri				
27	<i>Right foot</i> /kaki kanan				

Pengolahan data dalam menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* ini sangat beragam. Namun pada penelitian ini dibatasi dengan berbagai ketentuan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Sukania, Widodo, & Natalia, 2003) :

- a. Mengisi NBM kuesioner dengan beberapa responden yang jenis pekerjaannya sama.
- b. Membuat presentase setiap indikator dari jawaban yang diberikan.
- c. Menganalisis presentase yang memiliki tingkat sangat dikeluhkan oleh setiap pekerja.

2.8 *Measure* (Mengukur)

Measure merupakan langkah operasional yang kedua dalam tahapan *Six Sigma*.

2.8.1 Pengukuran *Waste Defect*

1. *U Chart*

Peta kendali ini digunakan untuk mengadakan pengujian terhadap kualitas proses produksi dengan mengetahui banyaknya kesalahan pada satu unit produk sebagai sampelnya. Karena sampel yang diambil bervariasi maka peta kendali yang digunakan adalah peta kendali U. Untuk menggunakan peta kendali U ini terlebih dahulu diketahui banyaknya kesalahan untuk satu unit produk. Berikut ini adalah langkah-langkah peta kendali untuk data atribut (*U Chart*): (Safira, 2017)

- 1) Menghitung “unit” masing-masing jumlah cacat

$$u = \frac{c}{n}$$

- 2) Menentukan garis tengah (*central line/CL*)

$$CL = \bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n}$$

- 3) Menentukan batas-batas pengendali, *Upper Control Limit* (UCL) dan *Lower Control Limit* (LCL)

$$UCL = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}}$$

$$LCL = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}}$$

Keterangan:

\bar{u} = garis pusat peta kendali proporsi kesalahan

ni = banyaknya sampel yang diambil setiap kali observasi

u = proporsi kesalahan dalam setiap sampel

n = banyaknya sampel yang diambil dalam inspeksi

UCL = Merupakan garis batas atas untuk suatu penyimpangan yang masih diijinkan

CL = Merupakan garis yang melambangkan tidak adanya penyimpangan dari karakteristik sampel

LCL = Merupakan garis batas bawah untuk suatu penyimpangan yang masih diijinkan

2. DPMO (*Defect Per Million Opportunities*)

DPMO adalah metode pengukuran jumlah cacat yang dihasilkan oleh suatu proses untuk setiap juta peluang. Berikut adalah rumus untuk perhitungan DPMO (Evans & William, 2007):

$$DPMO = \frac{D}{U \times O} \times 1000000$$

Keterangan:

D = Jumlah produk cacat

U = Jumlah produk yang diperiksa

O = Jumlah kemungkinan cacat

3. Nilai Sigma

Nilai sigma akan didapatkan setelah mendapatkan nilai DPMO terlebih dahulu. Untuk mengkonversikan nilai DPMO ke nilai sigma dapat dilihat pada tabel konversi nilai sigma atau menggunakan rumus fungsi logika di *Microsoft Excel* (Gaspersz,2002). Rumus fungsi logika yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Nilai Sigma} = \text{normsinv} \left(\frac{(1000000 - DPMO)}{1000000} \right) + 1,5$$

2.8.2 Pengukuran *Waste Inventory*

1. Perhitungan Utilitas Gudang

Pengukuran rasio utilitas gudang dapat dilakukan secara sederhana dengan cara menghitung kapasitas simpan gudang (jika menggunakan rak maka harus dihitung berapa total yang dapat disimpan) dengan luasan yang ada. Rasio utilitas gudang bisa di definisikan sebagai perbandingan *space* yang dapat digunakan untuk menyimpan/menangani barang dengan total *space* yang ada. Pada umumnya utilitas

antara 60-70% sudah dapat dikatakan baik. Kelancaran barang masuk dan barang keluar (perputaran persediaan atau *inventory turnover*) menjadi hal yang penting untuk mengimbangi tingginya nilai utilitas. (Indonesia, 2010)

2. *Inventory Turnover (ITO)*

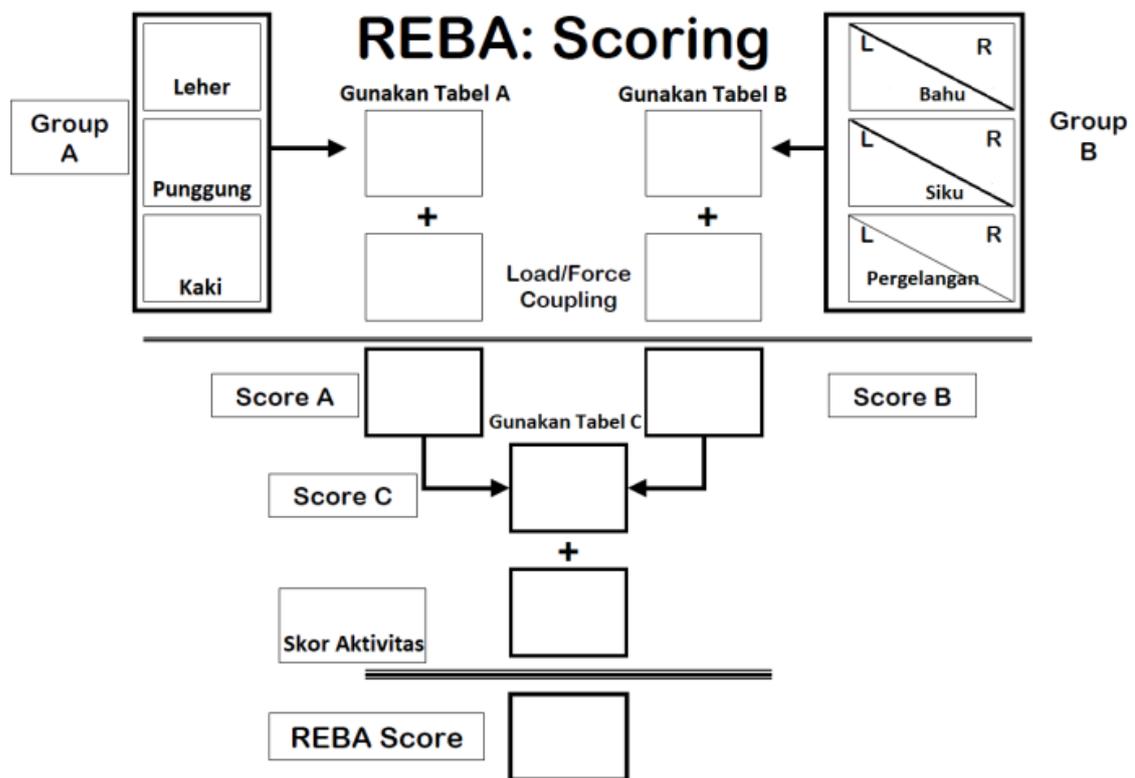
Perputaran persediaan atau biasa disebut dengan *Inventory Turnover (ITO)* adalah ukuran dari seberapa cepat *inventory* berputar. Dengan menghitung ITO maka dapat diketahui apakah pengelolaan persediaan telah dilakukan dengan baik atau tidak, kemudian dapat diketahui kecepatan dari pergantian persediaan, dimana semakin tinggi pergantian persediaan maka semakin tinggi biaya yang dapat dihemat sehingga laba perusahaan naik (Wibowo, 2017). Nilai dan definisi ITO yang diambil dari referensi pada perusahaan PT Pertamina (persero) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 9 Kategori *Inventory Turnover (ITO)*

Nilai ITO (Tahun)	Nilai ITO (Bulan)	Keterangan
ITO > 36 x dalam setahun	ITO > 3 x dalam sebulan	<i>Fast Moving</i>
ITO > 24 x dalam setahun	ITO > 2 x dalam sebulan	<i>Medium Moving</i>

2.8.3 Pengukuran *Waste Motion*

REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) diperkenalkan oleh McAtamney dan Hignett pada tahun 1995. Metode REBA dapat digunakan secara tepat untuk menilai postur seorang pekerja, selain itu metode REBA juga dipengaruhi oleh faktor *coupling*, beban eksternal yang ditopang oleh tubuh serta aktivitas pekerja (Hignet & McAtamney, 2000). Proses pengerjaan metode REBA adalah sebagai berikut



Source: Hignett, S., McAtamney, L. (2000) *Applied Ergonomics*, 31, 201-5.
 © Professor Alan Hedge, Cornell University, September 2001.

Gambar 2. 4 **REBA Scoring**

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Output REBA yang terdapat pada tabel dibawah ini adalah pengelompokkan *action level* yang harus dilakukan berdasarkan dari hasil akhir total nilai dalam penilaian REBA, yaitu adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 10 *Action Level* Metode REBA

<i>Action Level</i>	Skor REBA	Level Resiko	Tindakan Perbaikan
0	1	Bisa diabaikan	Tidak perlu
1	2 - 3	Rendah	Mungkin perlu
2	4 - 7	Sedang	Perlu
3	8 - 10	Tinggi	Perlu segera
4	11+	Sangat Tinggi	Perlu saat ini juga

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

a. Langkah-langkah *Rapid Entire Body Assessment* (REBA)

Berikut adalah langkah-langkah dari perhitungan *Rapid Entire Body Assessment* (REBA):

1. Pengambilan data postur kerja menggunakan bantuan video atau foto.

Agar mendapatkan postur pekerja ada bagian leher, punggung, lengan, pergelangan tangan hingga kaki secara terperinci maka perlu pengambilan video atau foto dengan merekam atau memotret postur tubuh dari pekerja. Hal ini dilakukan agar peneliti mendapatkan data postur tubuh secara detail dari hasil rekaman dan foto bisa didapatkan data akurat untuk tahap perhitungan serta analisis selanjutnya.

2. Penentuan sudut-sudut dari bagian tubuh pekerja

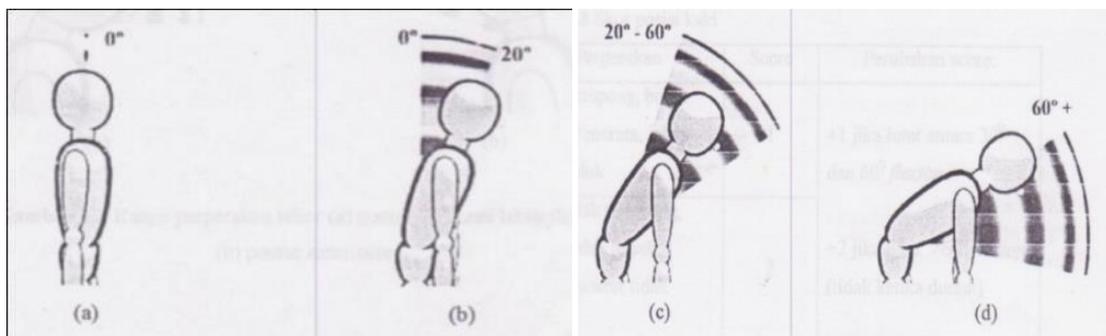
Setelah didapatkan hasil rekaman atau foto dari postur tubuh pekerja maka langkah selanjutnya adalah perhitungan besar sudut dari masing-masing bagian tubuh yang meliputi punggung (batang tubuh), leher, lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan dan kaki. Pada metode REBA, bagian-bagian tubuh tersebut dibagi menjadi dua kelompok yaitu grup A dan B. Grup A meliputi punggung (batang tubuh), leher dan kaki. Grup B meliputi lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan. Dari data sudut bagian tubuh pada masing-masing grup dapat diketahui skornya, kemudian dengan skor tersebut digunakan untuk melihat tabel A untuk grup A dan tabel B untuk grup B agar diperoleh skor untuk masing-masing tabel.

a. Punggung

Skor pergerakan punggung (batang tubuh) dan *range* pergerakannya dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah berikut ini:

Tabel 2. 11 Skor Pergerakan Punggung (Batang Tubuh)

Pergerakan	Skor	Penambahan Skor
Tegak/alamiah	1	
0°-20° <i>flexion</i>	2	+1 jika memutar atau miring ke samping
0°-20° <i>extension</i>	3	
20°-60° <i>flexion</i>	3	
>20° <i>extension</i>	4	
>60° <i>flexion</i>	4	



Gambar 2. 5 *Range* Pergerakan Punggung

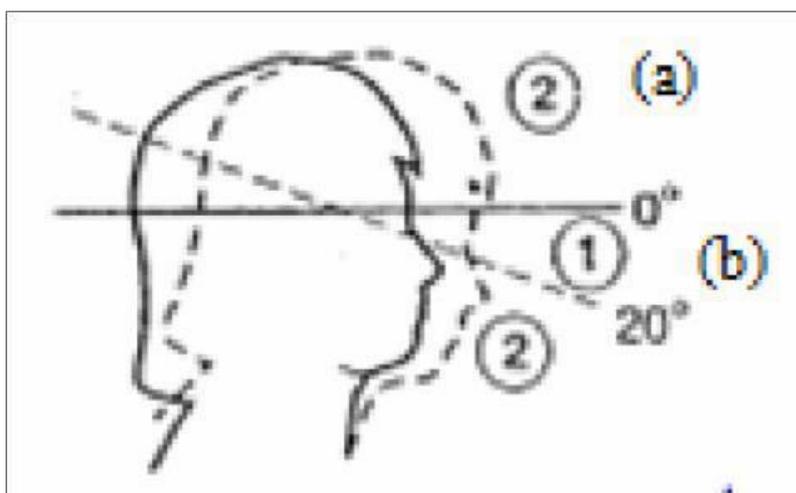
(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

b. Leher

Skor pergerakan leher dan *range* pergerakannya dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah berikut ini:

Tabel 2. 12 Skor Pergerakan Leher

Pergerakan	Skor	Penambahan Skor
0°-20° <i>flexion</i>	1	+1 jika memutar atau memiring kesamping
>20° <i>flexion</i> atau <i>extension</i>	2	

Gambar 2. 6 *Range* Pergerakan Leher

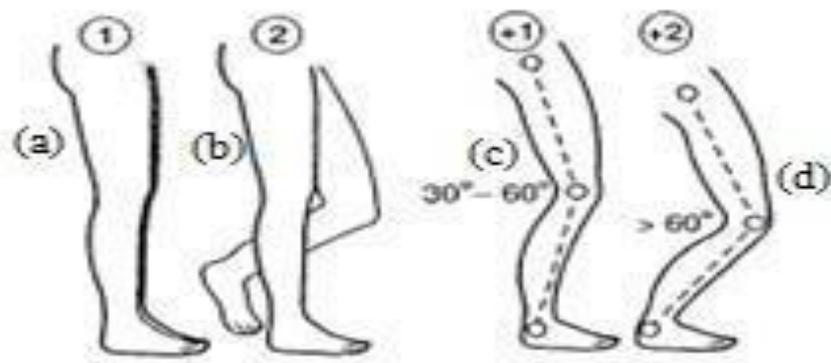
(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

c. Kaki

Skor pergerakan kaki dan *range* pergerakannya dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah berikut ini:

Tabel 2. 13 Skor Posisi Kaki

Pergerakan	Skor	Penambahan Skor
Kaki tertopang, bobot tersebar merata, jalan atau duduk	1	+1 jika lutut antara 30° dan 60° <i>flexion</i>
Kaki tidak tertopang, bobot tidak tersebar merata/postur tidak stabil	2	+2 jika lutut >60° <i>flexion</i> (tidak ketika duduk)



Gambar 2. 7 **Range Pergerakan Kaki**

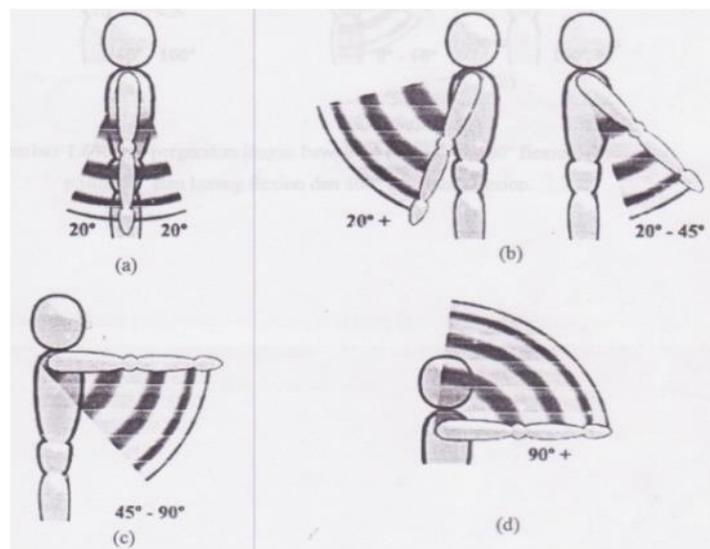
(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

d. Lengan atas

Skor pergerakan lengan atas dan *range* pergerakannya dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah berikut ini:

Tabel 2. 14 Skor Pergerakan Lengan Atas

Pergerakan	Skor	Penambahan Skor
20° <i>extension</i> sampai 20° <i>flexion</i>	1	+1 jika posisi lengan <i>abducted</i> atau <i>rotated</i>
>20° <i>extension</i>	2	+1 jika bahu ditinggikan
20° - 45° <i>flexion</i>	3	-1 jika bersandar, bobot lengan ditopang atau sesuai gravitasi
>45° - 90° <i>flexion</i>	3	
>90° <i>flexion</i>	4	



Gambar 2. 8 **Range Pergerakan Lengan Atas**

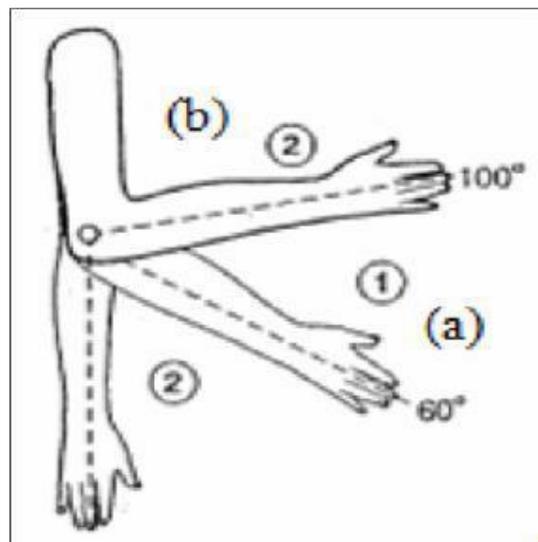
(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

e. Lengan bawah

Skor pergerakan lengan bawah dan *range* pergerakannya dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah berikut ini:

Tabel 2. 15 Skor Pergerakan Lengan Bawah

Pergerakan	Skor
60°-100° <i>flexion</i>	1
<60° <i>flexion</i> atau >100° <i>flexion</i>	2

Gambar 2. 9 *Range* Pergerakan Lengan Bawah

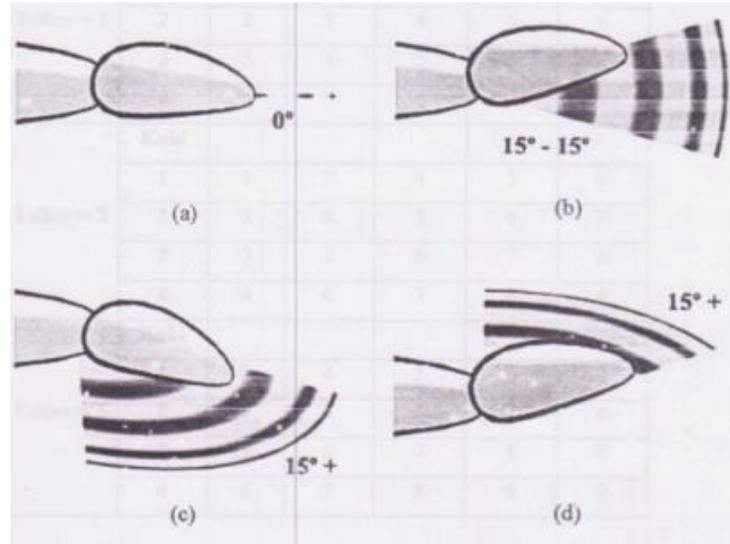
(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

f. Pergelangan tangan

Skor pergerakan pergelangan tangan dan *range* pergerakannya dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah berikut ini:

Tabel 2. 16 Skor Pergerakan Pergelangan Tangan

Pergerakan	Skor	Penambahan Skor
0°-2°15 <i>flexion</i> atau <i>extension</i>	1	+1 jika pergelangan tangan menyimpang atau berputar
>15° <i>flexion</i> atau <i>extension</i>	2	



Gambar 2. 10 **Range Pergerakan Pergelangan Tangan**

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

3. Penentuan Skor Grup A dan Skor Grup B

Setiap bagian tubuh yang telah diklasifikasikan skornya kemudian dimasukkan ke dalam Tabel A dan Tabel B untuk mengetahui skor grup A dan skor grup B.

Tabel 2. 17 Tabel A

		Punggung				
		1	2	3	4	5
Leher = 1	Kaki					
	1	1	2	2	3	4
	2	2	3	4	5	6
	3	3	4	5	6	7
Leher = 2	4	4	5	6	7	8
	Kaki					
	1	1	3	4	5	6
	2	2	4	5	6	7
Leher = 3	3	3	5	6	7	8
	4	4	6	7	8	9
	Kaki					
	1	3	4	5	6	7
	2	3	5	6	7	8
	3	5	6	7	8	9
	4	6	7	8	9	9

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Tabel 2. 18 Tabel B

		Lengan Atas					
		1	2	3	4	5	6
Lengan bawah = 1	Pergelangan						
	1	1	1	3	4	6	7
	2	2	2	4	5	7	8
	3	3	3	5	5	8	8
Lengan bawah = 2	Pergelangan						
	1	1	2	4	5	7	8
	2	2	3	5	6	8	9
	3	3	4	5	7	8	9

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

4. Penentuan Berat Benda yang diangkat, *Coupling* dan *Activity Score*

Selain scoring pada masing – masing bagian tubuh, faktor lain yang perlu disertakan adalah berat benda yang diangkat yang kemudian ditambahkan ke skor A yang sudah didapatkan pada langkah sebelumnya. Sedangkan *coupling* ditambahkan ke skor B.

Tabel 2. 19 Skor Berat Beban yang diangkat

Berat Beban	Skor	Penambahan Skor
<5 Kg	0	
5-10 Kg	1	+1 jika terjadi penambahan berat secara tiba-tiba
>10 Kg	2	

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Tabel 2. 20 Tabel *Coupling*

Skor	Kategori	Keterangan
0	<i>Good</i>	Jenis pegangan kuat dan tepat berada di tengah bagian sisi beban
1	<i>Fair</i>	Pegangan tangan bisa diterima tapi belum ideal atau coupling lebih sesuai digunakan oleh bagian lain
2	<i>Poor</i>	Pegangan tangan tidak bisa diterima walaupun memungkinkan
3	<i>Unacceptable</i>	Pegangan tangan tidak ideal karena dipaksakan dan tidak aman. Tidak sesuai jika digunakan oleh bagian tubuh yang lain (tanpa <i>coupling</i>)

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Tabel 2. 21 Tabel *Activity Score*

Penambahan Skor	Keterangan
+1	1 atau lebih bagian tubuh statis, ditahan lebih dari 1 menit
+1	Pengulangan gerakan dalam rentang waktu singkat, diulang lebih dari 4 kali per menit (tidak termasuk berjalan)
+1	Gerakan menyebabkan perubahan atau pergeseran postur yang cepat dari postur awal

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Hasil skor yang diperoleh dari skor A dan skor B digunakan untuk melihat tabel C sehingga didapatkan skor dari tabel C seperti pada tabel dibawah berikut ini:

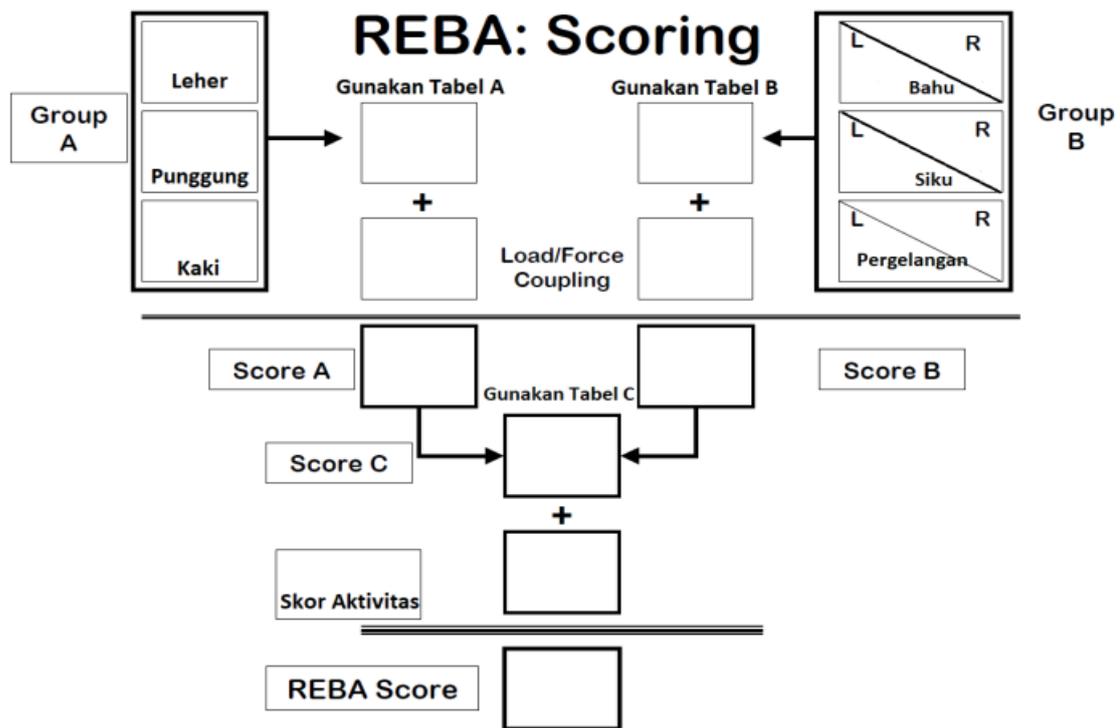
Tabel 2. 22 Tabel C

		Score A											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score B	1	1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12
	2	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
	3	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
	4	2	3	3	4	5	7	8	9	10	11	11	12
	5	3	4	4	5	6	8	9	10	10	11	12	12
	6	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	12
	7	4	5	6	7	8	9	9	10	11	11	12	12
	8	5	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	12
	9	6	6	7	8	9	10	10	10	11	12	12	12
	10	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12
	11	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12
	12	7	8	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

5. Perhitungan nilai REBA untuk Postur yang Bersangkutan

Setelah didapatkan skor dari tabel A kemudian dijumlahkan dengan skor untuk berat beban yang diangkat sehingga didapatkan nilai bagian A. Sementara skor dari tabel B dijumlahkan dengan skor dari tabel *coupling* sehingga didapatkan nilai bagian B. Dari nilai akhir bagian A dan bagian B dapat digunakan untuk mencari nilai bagian C dari tabel C yang ada.



Gambar 2. 11 Langkah-langkah Perhitungan Metode REBA

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Tabel 2. 23 Tabel Level Resiko dan Tindakan

<i>Action Level</i>	Skor REBA	Level Resiko	Tindakan Perbaikan
0	1	Bisa diabaikan	Tidak perlu
1	2 - 3	Rendah	Mungkin perlu
2	4 - 7	Sedang	Perlu
3	8 - 10	Tinggi	Perlu segera
4	11+	Sangat Tinggi	Perlu saat ini juga

(Sumber: Hignett dan Mc Atamney, 2000)

Level resiko dapat diketahui dengan nilai REBA yang didapatkan dari hasil perhitungan sebelumnya. Berdasarkan klasifikasi dari tabel di atas, dapat diketahui level resiko yang terjadi dan perlu atau tidaknya tindakan yang dilakukan untuk perbaikan.

2.9 Analyze (Menganalisis)

2.9.1 *Fishbone Diagram*

Analyze merupakan langkah operasional yang ketiga dalam tahapan *Six Sigma*. *Fishbone diagram* (diagram tulang ikan — karena bentuknya seperti tulang ikan) sering juga disebut *Cause-and-Effect Diagram* atau *Ishikawa Diagram* diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang ahli pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar (*7 basic quality tools*). *Fishbone diagram* digunakan ketika kita ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah dan terutama ketika sebuah *team* cenderung jatuh berpikir pada rutinitas (Tague, 2005).

Cause and effect diagram juga sering disebut *fishbone diagram*, dikarenakan bentuk diagram ini menyerupai bentuk tulang ikan. Dimana bagian kepala sebagai masalah (*effect*) dan bagian tubuh ikan berupa rangka serta duri-duri sebagai penyebab (*cause*) dari suatu permasalahan yang ada. Faktor dalam *cause and effect diagram* berdasarkan 5M + 1E, yaitu *machine, measurement, method, material, men*, dan *environment* (Ariani, 2003). Kepala dari *fishbone diagram* digunakan untuk mengetahui akar penyebab dari permasalahan *waste* tertinggi dari perhitungan *waste* sebelumnya.

2.9.2 *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pada awalnya dibuat oleh *Aerospace Industry* pada tahun 1960-an. FMEA mulai digunakan oleh Ford pada tahun 1980-an, AIAG (*Automotive Industry Action Grup*) dan ASQC (*American Society for Quality Control*) menetapkannya sebagai standar pada tahun 1993. Saat ini FMEA merupakan salah satu tools dalam ISO/TS 16949:2002 (*Technical Specification for Automotive Industry*). Arti FMEA secara harafiah adalah :

1. *Failure*: Prediksi kemungkinan kesalahan atau cacat
2. *Mode*: Penentuan mode kesalahan
3. *Effect*: Identifikasi pengaruh tiap komponen terhadap kesalahan.
4. *Analysis*: Tindakan perbaikan berdasarkan hasil evaluasi terhadap penyebab.

Dari pengertian mengenai *Failure modes and effect analysis* (FMEA) tersebut, Menurut Chrysler (1995), terdapat tujuan yang bisa dicapai perusahaan melalui penerapan FMEA diantaranya:

- a. Mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkah keparahan efek dari model kegagalan tersebut
- b. Mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- c. Mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses
- d. Membantu fokus *engineer* dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan

Menurut Chrysler (1995), FMEA dapat dilakukan dengan cara :

- a. Mengenali dan mengevaluasi potensi kesalahan suatu produk dan efeknya.
- b. Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari potensi kesalahan terjadi.
- c. Pencatatan proses (*document the process*).

Menurut Chrysler (1995), Kegunaan FMEA adalah sebagai berikut:

- a. Ketika diperlukan tindakan pencegahan sebelum masalah terjadi
- b. Ketika ingin mengetahui/mendata alat deteksi yang ada jika terjadi kegagalan
- c. Pemakaian proses baru
- d. Perubahan/pergantian komponen peralatan
- e. Pindahkan komponen atau proses ke arah baru

Menurut Chrysler (1995), Sedangkan manfaat FMEA adalah sebagai berikut :

- a. Hemat biaya, karena sistematis maka penyelesaiannya tertuju pada *potensial causes* (penyebab yang potensial) sebuah kesalahan/kesalahan.
- b. Hemat waktu, karena lebih tepat pada sasaran.

FMEA akan memastikan produk akan memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan kebutuhan pelanggan (Kamble & Quazi, 2014). Pada FMEA konvensional, penilaian resiko suatu kegagalan atau kerusakan diperoleh dengan mengalikan skor *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), yang hasilnya berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN). Dimana skor nilai S, O, dan D masing-masing menggunakan skala penilaian 1-10 pada FMEA konvensional Metode FMEA banyak diterapkan dalam desain produk dan

perencanaan proses manufaktur (Kutlu & Ekmekcioglu, 2012). Pengukuran terhadap besarnya nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* adalah sebagai berikut:

1. Nilai *severity*

Keparahan (*severity*) adalah dampak yang timbul apabila suatu kegagalan terjadi. *Severity* adalah nilai yang berkaitan dengan efek atau akibat pada mode kesalahan. *Severity* merupakan angka 1 sampai 10 dimana 1 merupakan tingkat paling rendah dan 10 tingkat paling tinggi.

Tabel 2. 24 Penentuan Nilai *Severity*

Rating	Kriteria
1	<i>Negligible severity</i> (pengaruh buruk yang dapat diabaikan). Kita tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kualitas produk. Pelanggan mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan tersebut.
2	<i>Mild severity</i> (pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang ditimbulkan akan bersifat ringan, pelanggan tidak akan merasakan penurunan kualitas.
3	
4	<i>Sedange severity</i> (pengaruh buruk yang sedange). Pelanggan akan merasakan penurunan kualitas, namun masih dalam batas toleransi.
5	
6	
7	<i>High severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pelanggan akan merasakan penurunan kualitas yang berada diluar batas toleransi.
8	
9	<i>High severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pelanggan akan merasakan penurunan kualitas yang berada diluar batas toleransi.
10	

Sumber: Gaspersz 2002

2. Nilai *Occurrence*

Apabila sudah ditentukan rating pada proses *severity*, maka tahap selanjutnya adalah menentukan rating pada proses *occurrence*. Kejadian (*occurrence*) adalah kemungkinan atau probabilitas atau tingkat frekuensi terjadinya kegagalan. *Occurrence* adalah seberapa sering kemungkinan penyebab potensi kesalahan akan terjadi. Peringkat *occurrence* dari potensi mode kesalahan dimulai dari skala 1 - 10.

Tabel 2. 25 Penentuan Nilai *Occurence*

Degree	Berdasarkan Frekuensi Kejadian	Rating
Remote	0,01 per 1000 item	1
	0,1 per 1000 item	2
Low	0,5 per 1000 item	3
	1 per 1000 item	4
Sedange	2 per 1000 item	5
	5 per 1000 item	6
High	10 per 1000 item	7
	20 per 1000 item	8
Very High	50 per 1000 item	9
	100 per 1000 item	10

Sumber: Gaspersz 2002

3. Nilai *Detection*

Deteksi (*detection*) adalah kemungkinan untuk mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu kegagalan

Tabel 2. 26 Penentuan Nilai *Detection*

Rating	Kriteria	Berdasarkan Frekuensi Kejadian
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab kemungkinan	0,01 per 1000 item
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah	0,1 per 1000 item
3		0,5 per 1000 item
4	Kemungkinan penyebab terjadinya bersifat sedang.	1 per 1000 item
5	Metode pencegahan kadang mungkin penyebab itu terjadi.	2 per 1000 item
6		5 per 1000 item
7	Kemungkinan penyebab terjadinya masih tinggi.	10 per 1000 item
8	Metode pencegahan kurang efektif. Masih berulang kembali.	20 per 1000 item
9		50 per 1000 item
10	Kemungkinan penyebab terjadinya masih sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif. Penyebab masih berulang	100 per 1000 item

Sumber: Gaspersz 2002

Setelah mendapatkan nilai *severity*, *occurence* dan *detection* maka akan diperoleh nilai RPN dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Risk Priority Number (RPN)} = \text{Severity (S)} \times \text{Occurrence (O)} \times \text{Detection (D)}$$

Pada persamaan diatas merupakan perkalian dari efek/keparahan (S), frekuensi penyebab kesalahan (O) dan kontrol deteksi (D) yang kemudian dilakukan pengurutan berdasarkan nilai RPN tertinggi sampai terendah.

2.9.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP adalah suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah *multi factor* atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki (Syarifullah, 2010). Masalah yang kompleks dapat di artikan bahwa kriteria dari suatu masalah yang begitu banyak (multikriteria), struktur masalah yang belum jelas, ketidakpastian pendapat dari pengambil keputusan, pengambil keputusan lebih dari satu orang, serta ketidakakuratan data yang tersedia (Syarifullah, 2010). Menurut Saaty (1993), 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 kebawah hingga level terakhir yaitu alternatif. AHP sering digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain karena alasan-alasan sebagai berikut : (Syarifullah, 2010)

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

Metode AHP dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: (Endah Kusriani, 2008)

1. Menyusun hirarki dari permasalahan yang dihadapi.
Persoalan yang akan diselesaikan, diuraikan menjadi unsur-unsurnya, yaitu kriteria dan alternatif, kemudian disusun menjadi struktur hierarki.
2. Penilaian kriteria dan alternatif
Kriteria dan alternatif dinilai melalui perbandingan berpasangan. Menurut Saaty (1993), untuk berbagai persoalan, skala 1 sampai 9 adalah skala terbaik dalam mengekspresikan pendapat. Nilai dan definisi pendapat kualitatif dari skala perbandingan Saaty dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel 2. 27 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya

Intensitas Kepentingan	Keterangan
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 mutlak penting daripada elemen yang lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen yang lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

(Sumber: Saaty, 1993)

Perbandingan dilakukan berdasarkan kebijakan pembuat keputusan dengan menilai tingkat kepentingan satu elemen terhadap elemen lainnya. Proses perbandingan berpasangan dimulai dari level hirarki paling atas yang ditujukan untuk memilih kriteria, misalnya A, kemudian diambil elemen yang akan dibandingkan, misal A1, A2, dan A3 (Endah Kusriani, 2008). Maka susunan elemen-elemen yang dibandingkan tersebut akan tampak seperti pada gambar matriks di bawah ini :

Tabel 2. 28 Contoh matriks perbandingan berpasangan

	A1	A2	A3
A1	1		
A2		1	
A3			1

Untuk menentukan nilai kepentingan relatif antar elemen digunakan skala bilangan dari 1 sampai 9 seperti pada Tabel 2.22. Penilaian ini dilakukan oleh seorang pembuat keputusan yang ahli dalam bidang persoalan yang sedang dianalisis dan mempunyai kepentingan terhadapnya (Endah Kusriani, 2008). Apabila suatu elemen dibandingkan dengan dirinya sendiri maka diberi nilai 1. Jika elemen i dibandingkan dengan elemen j mendapatkan nilai tertentu, maka elemen j dibandingkan dengan elemen i merupakan kebalikannya.

Dalam AHP ini, penilaian alternatif dapat dilakukan dengan metode langsung (*direct*), yaitu metode yang digunakan untuk memasukkan data kuantitatif (Endah Kusriani, 2008). Biasanya nilai-nilai ini berasal dari sebuah analisis sebelumnya atau dari pengalaman dan pengertian yang detail dari masalah keputusan tersebut. Jika si pengambil keputusan memiliki pengalaman atau pemahaman yang besar

mengenai masalah keputusan yang dihadapi, maka dia dapat langsung memasukkan pembobotan dari setiap alternatif (Endah Kusriani, 2008).

3. Penentuan prioritas

Untuk setiap kriteria dan alternatif, perlu dilakukan perbandingan berpasangan (*pairwise comparisons*). Nilai-nilai perbandingan *relative* kemudian diolah untuk menentukan peringkat alternatif dari seluruh alternatif. Baik kriteria kualitatif, maupun kriteria kuantitatif, dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan bobot dan prioritas. Bobot atau prioritas dihitung dengan manipulasi matriks atau melalui penyelesaian persamaan matematik (Endah Kusriani, 2008).

Pertimbangan-pertimbangan terhadap perbandingan berpasangan disintesis untuk memperoleh keseluruhan prioritas melalui tahapan-tahapan berikut: (Endah Kusriani, 2008)

- a. Kuadratkan matriks hasil perbandingan berpasangan.
- b. Hitung jumlah nilai dari setiap baris, kemudian lakukan normalisasi matriks.

4. Konsistensi Logis

Semua elemen dikelompokkan secara logis dan diperingatkan secara konsisten sesuai dengan suatu kriteria yang logis. Matriks bobot yang diperoleh dari hasil perbandingan secara berpasangan tersebut harus mempunyai hubungan kardinal dan ordinal. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut: (Suryadi & Ramdhani, 1998)

Hubungan kardinal : $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$

Hubungan ordinal : $A_i > A_j, A_j > A_k$ maka $A_i > A_k$

Pada keadaan sebenarnya akan terjadi beberapa penyimpangan dari hubungan tersebut, sehingga matriks tersebut tidak konsisten sempurna. Hal ini terjadi karena ketidakkonsistenan dalam preferensi seseorang.

Penghitungan konsistensi logis dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mengalikan matriks dengan prioritas bersesuaian.
- b. Menjumlahkan hasil perkalian per baris.
- c. Hasil penjumlahan tiap baris dibagi prioritas bersangkutan dan hasilnya dijumlahkan.
- d. Hasil c dibagi jumlah elemen, akan didapat λ_{maks} .

- e. Selanjutnya menghitung nilai Indeks Konsistensi (CI) dengan persamaan:

$$CI = \frac{\lambda \text{ maksimum} - n}{n - 1}$$

- f. Kemudian menghitung nilai Rasio Konsistensi (CR) dengan persamaan:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

di mana RI adalah indeks random konsistensi. Jika rasio konsistensi ≤ 0.1 , hasil perhitungan data dapat dibenarkan. Daftar RI dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 2. 29 Nilai Indeks Random

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RC	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

2.9.4 FMEA AHP

Metode FMEA merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko dari proses produksi (Puspitasari & Martanto, 2014). Sedangkan metode AHP digunakan untuk membantu penentuan alternatif strategi dalam meminimalkan resiko dari proses produksi (Prasetiyo et al, 2017). Salah satu kelemahan dari FMEA adalah kemungkinan mendapatkan hasil nilai RPN yang sama dengan maksud dan tujuan yang berbeda. Sehingga nilai kepentingan relatif antara *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* perlu dipertimbangkan dengan mengintegrasikan dengan metode AHP.