



TESIS - BM185407

**UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PADA
PROSES SUSUN MUNISI KALIBER 5,56 MM DI PT.
PINDAD DENGAN METODE SIX SIGMA**

**RATNA SARI TRISNA WARDANI
09211850015006**

**Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**



TESIS - BM185407

**UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PADA
PROSES SUSUN MUNISI KALIBER 5,56 MM DI PT.
PINDAD DENGAN METODE SIX SIGMA**

**RATNA SARI TRISNA WARDANI
09211850015006**

**Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif Dan Bisnis Digital
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ratna Sari Trisna Wardani

NRP: 09211850015006

Tanggal Ujian: 3 Juli 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc(Eng)
NIP: 196506301990031002

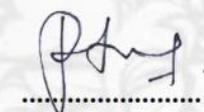


Penguji:

1. Prof. Dr Ir. Moses L. Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc,Ph.D
NIP: 195908171987031002



2. Putu Dana Karningsih S.T., M.Eng.Sc, Ph.D
NIP: 197405081999032001



**Kepala Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital**

Prof. Ir. Nyoman Puiawan, M.Eng. Ph.D. CSCP
NIP: 196912311994121076

UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PADA PROSES SUSUN MUNISI KALIBER 5,56 MM DI PT. PINDAD DENGAN METODE SIX SIGMA

Nama Mahasiswa : Ratna Sari Trisna Wardani
NRP : 09211850015006
Pembimbing : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)

ABSTRAK

Kualitas adalah salah satu indikator penting bagi perusahaan untuk dapat eksis di tengah persaingan kekuatan industri. Munisi kaliber 5,56 mm terutama varian MU5-TJ adalah komoditas utama produk munisi di PT. Pindad. Proses produksi munisi meliputi produksi longsong, produksi pelor, produksi penggalak, dan penyusunan munisi. Dalam proses produksi munisi, *cost of defective* terbesar disebabkan *defect* pada proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm yaitu sebesar 32,3%. Dalam proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm, sebagian besar *defect* berasal dari varian MU5-TJ dimana menyumbang 64% dari *cost of defective product* untuk munisi kaliber 5,56 mm. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas pada proses penyusunan munisi MU5-TJ dengan meningkatkan *level sigma* proses, sehingga *cost of defective product* akan berkurang dan menghasilkan *cost saving*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode *Six Sigma* melalui fase *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* (DMAIC). Pada setiap tahap DMAIC, terdapat tools yang digunakan dalam perbaikan. Hasil identifikasi kualitas menunjukkan bahwa proses timbang dan mal merupakan faktor penyumbang *defect* terbesar dalam proses penyusunan munisi MU5-TJ dengan jenis *defect* terbesar yaitu munisi ringan (kurang isian *propellant*). Hasil pengujian *chi-square* menunjukkan bahwa faktor penyebab cacat yang berpengaruh signifikan diantaranya keberadaan sensor isian, komposisi vernis, material perkakas, dan metode inspeksi. Untuk menurunkan *defect* tersebut, selanjutnya dilakukan perbaikan dengan pemasangan sensor isian pada mesin susun munisi, perubahan komposisi vernis mulut longsong, penggunaan perkakas yang terbuat dari hartmetall, dan *autocontrol* oleh operator setiap 15 menit. Hasil implementasi dari perbaikan yang dilakukan menghasilkan peningkatan *level sigma* dari 3,69 menjadi 3,79 dan pada akhirnya menghasilkan *cost saving* sebesar Rp. 275.421.993,96 selama periode 5 bulan.

Kata Kunci: *cost saving, defect, level sigma*, peningkatan kualitas, proses penyusunan munisi MU5-TJ

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PRODUCT QUALITY IMPROVEMENT IN THE ASSEMBLY PROCESS OF CALIBER 5,56 MM AMMUNITION IN PT. PINDAD USING THE SIX SIGMA METHOD

Student Name : Ratna Sari Trisna Wardani
ID Number : 09211850015006
Advisor : Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)

ABSTRACT

Quality is one of the important indicators for companies to be able to exist in the midst of competitive industrial strength. 5.56 mm caliber munitions especially MU5-TJ variant are the main commodity of munition products at PT. Pindad. The processes in the ammunition production consist of making cartridge cases, making bullets, making primers, and assembling munitions. In the process of producing munitions, the largest cost of defective is caused by defects in the assembly process of the 5.56 caliber munitions, which is 32.3%. In the process of assembling 5.56 mm caliber munitions, most of the defects came from the MU5-TJ variant which accounted for 64% of the cost of defective product for 5.56 mm caliber munitions. This study aims to improve the quality of the MU5-TJ munition assembly process by increasing the sigma level of process, so that the cost of defective product will be reduced and result in cost savings. The method used in this study is the Six Sigma Method through the Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC) phases. At each stage of DMAIC, there are tools used in the improvement. The results of quality identification indicate that the weighing and gauging process are the biggest contributing factors to the defect in the MU5-TJ munition assembly process with the largest type of defect is improper ammunition weight (lack of propellant powder filling). The results of chi-square test showed that the factors causing defects that had a significant effect included the presence of sensor filling, varnish composition, tools material, and inspection methods. To reduce the defect, further improvements were made by installing powder filling sensor in the ammunition assembly machine, changing the composition of mouth varnish of the cartridge case, using tools made from hartmetall, and autocontrol system by the operator every 15 minutes. The results of improvements that have been made show an increase in sigma level from 3.69 to 3.79 and ultimately results in a cost saving of Rp. 275,421,993.96 during five months period.

Keywords: *cost savings, defects, sigma level, quality improvement, MU5-TJ ammunition assembly process*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PADA PROSES SUSUN MUNISI KALIBER 5,56 MM DI PT. PINDAD DENGAN METODE SIX SIGMA”. Dengan selesainya penyusunan tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Suami, Ibu, Ayah, dan Putra tercinta yang senantiasa memberikan dukungan serta doa yang tiada henti kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
2. Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc. (Eng) selaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam memberikan saran serta arahan yang terbaik kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
3. Rekan-rekan, khususnya sahabat seperjuangan di Manajemen Industri MMT-ITS angkatan 2018.
4. Rekan-rekan PT. Pindad (Persero) yang senantiasa memberikan dukungan dan kemudahan bagi penulis untuk penyelesaian tesis ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan di MMT yang telah menyediakan layanan yang sangat membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini. Penulis menyadari bahwa selalu ada kekurangan dalam setiap karya, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun diharapkan demi lebih baiknya tesis ini. Akhirnya, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan dan Asumsi Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Proses Produksi Munisi.....	9
2.2 Standar Spesifikasi Munisi.....	17
2.3 Kualitas.....	20
2.4 Six Sigma	22
2.4.1 Stabilitas dan Kapabilitas Proses	27
2.4.2 Metodologi <i>Six Sigma</i>	32
2.5 Penelitian Sebelumnya	47
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	49
3.1 Tahap <i>Define</i>	49
3.1.1 Mengidentifikasi Permasalahan Kualitas	49

3.1.2	Mengidentifikasi Kualitas yang Diharapkan Konsumen	49
3.1.3	Menentukan Target Kualitas yang Ingin Dicapai	50
3.1.4	Mendefinisikan Proses yang Akan Diperbaiki.....	50
3.1.5	Mendefinisikan Suatu Sistem Pengukuran yang Valid dan <i>Reliable</i>	50
3.2	Tahap <i>Measure</i>	51
3.3	Tahap <i>Analyze</i>	51
3.4	Tahap <i>Improve</i>	53
3.5	Tahap <i>Control</i>	53
3.6	Tahapan Penelitian.....	54
3.7	Kerangka Hipotesis Hasil Penelitian	55
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		57
4.1	Tahap <i>Define</i>	58
4.2	Tahap <i>Measure</i>	60
4.2.1	Perhitungan Current Sigma Level	60
4.2.2	Perhitungan <i>Cost of Defective</i> Produk Saat Ini	62
4.2.3	<i>Process Capability</i> dan <i>Control Chart</i>	63
4.3	Tahap <i>Analyze</i>	68
4.4	Tahap <i>Improve</i>	73
4.4.1	Pengujian Setting Mesin	74
4.4.2	Pengujian Sensor Isian	75
4.4.3	Pengujian Komposisi Vernis.....	76
4.4.4	Pengujian Material Perkakas atau <i>Tools</i>	78
4.4.5	Pengujian Metode Inspeksi	79
4.4.6	Hasil Pengujian Faktor Penyebab <i>Defect</i>	80
4.4.7	Implementasi <i>Improvement</i>	81
4.4.8	Hasil <i>Improvement</i>	84
4.5	Tahap <i>Control</i>	92

4.5.1	Perhitungan <i>Level Sigma</i> Setelah <i>Improvement</i>	92
4.5.2	Perhitungan Asumsi Biaya <i>Improvement</i>	94
4.5.3	Perhitungan <i>Cost Saving</i>	96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		99
5.1	Kesimpulan.....	99
5.2	Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA.....		101
LAMPIRAN.....		105
BIOGRAFI PENULIS.....		129

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Produk Munisi Kaliber 5,56 mm Varian MU5-TJ	3
Gambar 1. 2 Diagram Pareto Nilai Rupiah Kegagalan Produk	4
Gambar 1. 3 Diagram Pareto Nilai Rupiah Kegagalan Produk Munisi Kaliber 5,56 mm	4
Gambar 2. 1 Komponen pada Munisi	10
Gambar 2. 2 Proses Produksi Penggalak	11
Gambar 2. 3 Proses Produksi Longsong	12
Gambar 2. 4 Proses Produksi Pelor	15
Gambar 2. 5 Proses Produksi Munisi.....	16
Gambar 2. 6 Konsep <i>Six Sigma</i> Umum dengan Distribusi Nilai Terpusat	26
Gambar 2. 7 Konsep <i>Six Sigma</i> dengan Distribusi Normal Bergeser $1,5 \sigma$ Motorola.....	26
Gambar 2. 8 Batas Spesifikasi dan Batas Kendali	28
Gambar 2. 9 Kondisi Produk dalam Batas Spesifikasi dan Batas Kendali	29
Gambar 2. 10 Grafik Nilai Cp.....	31
Gambar 2. 11 Contoh Grafik Cp dan Cpk.....	32
Gambar 2. 12 Contoh Diagram SIPOC pada Suatu Proses.....	34
Gambar 2. 13 Contoh Diagram Pareto untuk <i>Defect Product</i>	35
Gambar 2. 14 Control Chart Model	39
Gambar 2. 15 Pola Grafik <i>Control Chart</i>	41
Gambar 2. 16 <i>Fishbone Diagram</i>	42
Gambar 2. 17 Contoh <i>Root Cause Analysis</i>	44
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian	54
Gambar 4. 1 Diagram Pareto <i>Defect</i> Munisi MU5-TJ	59
Gambar 4. 2 Uji Normalitas Data <i>Defect Produk MU5-TJ Sebelum Improvement</i>	61

Gambar 4. 3 Uji Normalitas Data Berat Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	64
Gambar 4. 4 Uji Normalitas Data Panjang Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	64
Gambar 4. 5 <i>Process Capability</i> Berat Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	65
Gambar 4. 6 <i>Process Capability</i> Panjang Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	66
Gambar 4. 7 <i>Control Chart</i> Berat Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	67
Gambar 4. 8 <i>Control Chart</i> Panjang Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	67
Gambar 4. 9 Diagram Pareto Jenis <i>Defect</i> Lini Penyusunan Munisi MU5-TJ.....	69
Gambar 4. 10 <i>Fish Bone Diagram</i>	70
Gambar 4. 11 Mesin Susun Munisi	82
Gambar 4. 12 Vernis Bituminlak untuk Mulut Longsong.....	82
Gambar 4. 13 Perkakas Hartmetall untuk Proses Susun Munisi	83
Gambar 4. 14 Pemeriksaan <i>Autocontrol</i> oleh Operator.....	84
Gambar 4. 15 Uji Normalitas Data Berat Munisi Setelah <i>Improvement</i>	85
Gambar 4. 16 Uji Normalitas Data Panjang Munisi Setelah <i>Improvement</i>	85
Gambar 4. 17 <i>Process Capability</i> Berat Munisi Setelah <i>Improvement</i>	86
Gambar 4. 18 <i>Process Capability</i> Panjang Munisi Setelah <i>Improvement</i>	87
Gambar 4. 19 <i>Control Chart</i> Berat Munisi Setelah <i>Improvement</i>	88
Gambar 4. 20 <i>Control Chart</i> Panjang Munisi Setelah <i>Improvement</i>	89
Gambar 4. 21 Perbandingan <i>Control Chart</i> Berat Munisi Sebelum dan Setelah <i>Improvement</i>	89
Gambar 4. 22 Perbandingan <i>Control Chart</i> Panjang Munisi Sebelum dan Setelah <i>Improvement</i>	90
Gambar 4. 23 Uji Normalitas Data <i>Defect</i> MU5-TJ Setelah <i>Improvement</i>	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Cacat Visual pada MU5-TJ sesuai NATO Standar.....	17
Tabel 2. 2 Standar Spesifikasi Produk MU5-TJ.....	19
Tabel 2. 3 Tabel Hubungan <i>Sigma</i> dengan DPMO.....	26
Tabel 2. 4 DMAIC dan Aktivitas yang Menyertainya.....	32
Tabel 2. 5 Penelitian dengan Metode <i>Six Sigma</i>	47
Tabel 3. 1 Calon Responden Untuk Wawancara	52
Tabel 4.1 Proses Penyusunan Munisi (MU5-TJ).....	57
Tabel 4. 2 <i>Cost of Defective</i> Produk MU5-TJ Sebelum <i>Improvement</i>	62
Tabel 4. 3 Jenis <i>Defect</i> Lini Penyusunan MU5-TJ	68
Tabel 4. 4 <i>Critical Factor Defect</i> Munisi MU5-TJ	70
Tabel 4. 5 Spesifikasi Vernis Mulut Longsong.....	72
Tabel 4. 6 Data <i>Defect</i> yang Dipengaruhi Faktor <i>Setting</i> Mesin	74
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian <i>Chi-Square Critical Factor</i> Setting Mesin	74
Tabel 4. 8 Data <i>Defect</i> yang Dipengaruhi Faktor <i>Sensor Isian</i>	75
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian <i>Chi-Square Critical Factor</i> Sensor Isian.....	76
Tabel 4. 10 Komposisi Vernis Mulut Longsong.....	76
Tabel 4. 11 Data <i>Defect</i> yang Dipengaruhi Faktor Komposisi Vernis	77
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian <i>Chi-Square Critical Factor</i> Komposisi Vernis	77
Tabel 4. 13 Data <i>Defect</i> yang Dipengaruhi Faktor Material Perkakas	78
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian <i>Chi-Square Critical Factor</i> Material Perkakas	78
Tabel 4. 15 Data <i>Defect</i> yang Dipengaruhi Faktor Metode Inspeksi.....	79
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian <i>Chi-Square Critical Factor</i> Material Perkakas	80
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Critical Factor Penyebab Defect.....	80
Tabel 4. 18 Hasil <i>Improvement</i> Lini Proses Penyusunan MU5-TJ.....	90
Tabel 4. 19 Biaya Material Vernis Mulut Longsong	94

Tabel 4. 20 Biaya Material Perkakas Susun Munisi.....	95
Tabel 4. 21 <i>Cost of Defective</i> pada Lini Proses Penyusunan MU5-TJ Setelah <i>Improvement</i>	97
Tabel 4. 22 Rata-Rata Persentase <i>Cost of Defective</i> pada Lini Proses Penyusunan MU5-TJ	97
Tabel 4. 23 <i>Cost Saving</i> Lini Proses Penyusunan MU5-TJ.....	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar <i>Defect</i> Visual Munisi Sesuai dengan Military Standard (MIL-STD-636).....	105
Lampiran 2. Data <i>Defect</i> Produk Munisi MU5-TJ	118
Lampiran 3. Data Berat Munisi dan Panjang Munisi Sebelum <i>Improvement</i>	119
Lampiran 4. Data Berat Munisi dan Panjang Munisi Setelah <i>Improvement</i>	121
Lampiran 5. Data Harga Pokok Proses Produksi Munisi MU5-TJ.....	123
Lampiran 6. Tabel <i>Chi-Square</i>	124
Lampiran 7. Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola.....	125

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Pindad (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang memproduksi peralatan pertahanan dan keamanan. Salah satu produk utama dari PT. Pindad (Persero) adalah munisi. PT. Pindad (Persero) memproduksi berbagai varian munisi kaliber kecil, munisi kaliber sedang, munisi kaliber besar mulai dari kaliber 5,56 mm hingga munisi artileri kaliber 105 mm, serta berbagai varian granat. PT. Pindad (Persero) terus melakukan ekspansi produk munisi dan mengembangkannya sesuai dengan perkembangan teknologi senjata-senjata yang semakin beragam dimana produk munisi menyumbang sekitar 60% penjualan produk di PT. Pindad (Persero) terkait sifatnya yang habis pakai (*consumable product*).

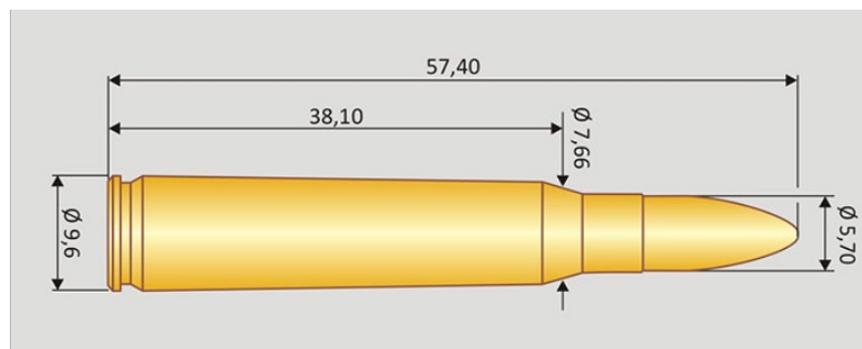
Dalam menghadapi persaingan global yang semakin kompetitif, kualitas merupakan faktor yang sangat penting. Kualitas merupakan faktor yang terdapat dalam suatu produk yang menyebabkan suatu produk memiliki *value* sesuai dengan maksud untuk apa suatu produk diproduksi. Kualitas juga merupakan cerminan keberhasilan perusahaan di mata konsumen dalam melaksanakan usaha produksinya. Terkait dengan permasalahan kualitas, PT. Pindad (Persero) selaku industri pertahanan di Indonesia perlu untuk senantiasa berusaha melakukan kegiatan pengendalian kualitas yang intensif terhadap komponen bahan dasar produk, proses produksi, hingga produk akhir. Adapun yang dimaksud dengan pengendalian kualitas adalah kegiatan untuk memastikan apakah kebijaksanaan dalam hal kualitas (standar) dapat tercermin dalam hasil akhir. Di dalam pengendalian kualitas ini produk diperiksa menurut standar spesifikasi yang berlaku dan semua penyimpangan dicatat serta dianalisis yang hasilnya akan digunakan sebagai umpan balik untuk para pelaksana dalam melakukan tindakan perbaikan di masa yang akan datang. Pelaksanaan kegiatan pengendalian kualitas ini sangat berkaitan dengan standar kualitas yang ditetapkan perusahaan. Pengendalian kualitas ini bertujuan untuk menekan jumlah produk *defect*

seminimal mungkin, menjaga agar produk akhir yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas perusahaan, dan menghindari lolosnya produk *defect* ke tangan konsumen. Hal ini sangat diperlukan khususnya oleh PT. Pindad (Persero) itu sendiri dimana memiliki visi untuk menjadi produsen alat utama sistem senjata (alutsista) terkemuka di Asia pada tahun 2026. PT. Pindad (Persero) juga merupakan satu-satunya produsen alutsista di Indonesia yang mendukung kemandirian pertahanan dan keamanan di Indonesia. Kemandirian industri pertahanan dan keamanan sangat penting dalam menjaga stabilitas keamanan negara. Selain itu, Indonesia secara aktif mengikuti kegiatan pertandingan penembakan antar negara tetangga di Asean yang disebut AARM (*Asean Armies Rifle Meet*) menggunakan produk munisi dari PT. Pindad dimana dalam 13 tahun terakhir, Indonesia mendominasi kemenangan dalam pertandingan persahabatan tersebut. Maka dari itu, sangat penting bagi PT. Pindad untuk menjaga reputasi produk dimana akan memiliki pengaruh lebih luas lagi yaitu menjaga reputasi negara Indonesia. Kepercayaan konsumen terhadap PT. Pindad, dalam hal ini pemerintah khususnya TNI dan Polri sangat diperlukan untuk keberlangsungan PT. Pindad. Dengan menghasilkan produk yang berkualitas, maka sebagian besar pengadaan munisi dapat didukung industri dalam negeri yang pada akhirnya akan meningkatkan penjualan perusahaan dan margin profit PT. Pindad. Untuk itu perusahaan perlu melakukan pengendalian dan pengawasan secara intensif dan terus-menerus baik pada kualitas bahan baku, proses produksi, maupun produk akhirnya, sehingga setiap ada penyimpangan akan segera diketahui dan tindakan perbaikan pun akan segera dapat dilakukan sebelum menimbulkan *defect* dan kerugian yang lebih besar. Dengan diterapkannya pengendalian kualitas diharapkan akan diperoleh output yang berkualitas, menekan jumlah produk *defect* dalam proses produksi mengingat akibat yang fatal apabila produk *defect* tersebut sampai kepada konsumen dan digunakan dalam event yang penting (misalnya pertandingan, peperangan, dan kegiatan pertahanan lainnya), serta mempertinggi reputasi perusahaan dengan menciptakan *image* bahwa produknya memiliki nilai lebih sehingga konsumen, dalam hal ini TNI dan Polri akan melakukan *repeat order*.

Munisi kaliber kecil merupakan komoditas utama dari produk munisi yang

ada di PT. Pindad (Persero) yang meliputi munisi kaliber 5,56 mm ; munisi kaliber 7,62 mm ; munisi kaliber 9 mm; munisi kaliber 12,7 mm; dan munisi kaliber .38 sp (munisi kaliber 9,652 mm). Sebagai komoditas utama dari produk munisi, faktor kualitas merupakan faktor yang sangat penting dan menjadi perhatian utama yang terkait dengan eksistensi perusahaan dan loyalitas pelanggan (*customer loyalty*) khususnya TNI dan Polri sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya mengingat munisi kaliber kecil merupakan *consumable product* yang sering digunakan dalam latihan, pertandingan, dan kegiatan pertahanan lainnya.

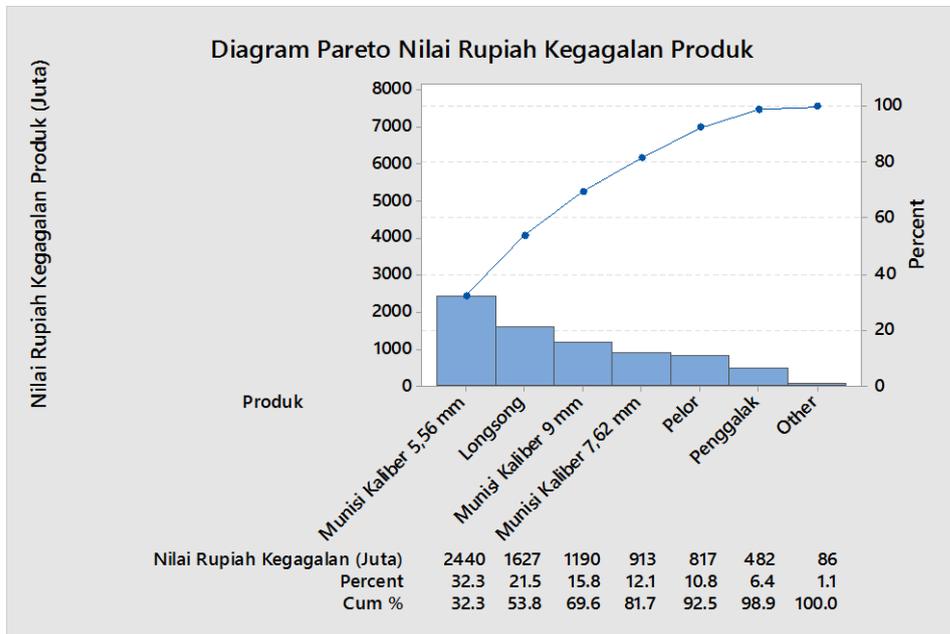
Proses-proses dalam produksi munisi meliputi pembuatan longsong (*cartridge*), pembuatan pelor (*projectile*), pembuatan penggalak (*primer*), dan penyusunan munisi (*munition*). Dalam proses produksi munisi tersebut, kegagalan (*defect*) terbesar terjadi pada proses penyusunan munisi terutama pada munisi kaliber 5,56 mm yang merupakan produk yang memiliki permintaan terbesar dalam setiap tahunnya dengan kapasitas sebanyak 100.000.000 butir/tahun. Munisi kaliber 5,56 mm tersebut khususnya varian MU5-TJ yang merupakan produk utama di PT. Pindad dapat dilihat pada Gambar 1.1.



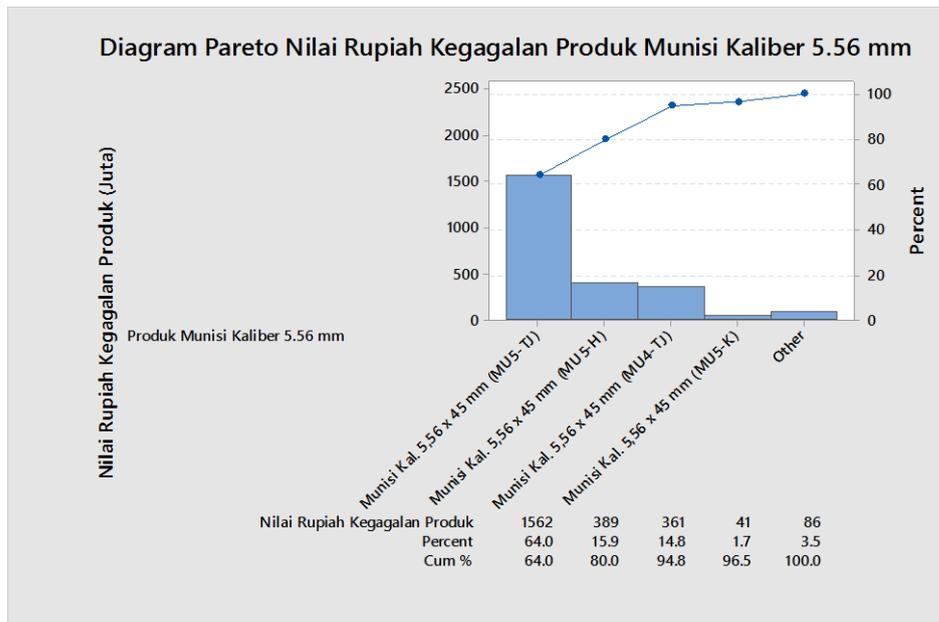
Gambar 1. 1 Produk Munisi Kaliber 5,56 mm Varian MU5-TJ (sumber: PT. Pindad)

Kegagalan pada proses penyusunan Munisi Kaliber 5,56 mm khususnya varian produk MU5-TJ menyumbang persentase terbesar secara total nilai rupiah kegagalan produk. Berdasarkan data kegagalan produk dari Januari 2019 sampai dengan Agustus 2019 yang selanjutnya digambarkan dengan diagram pareto,

didapatkan persentase nilai rupiah kerugian produk munisi sesuai Gambar 1.2 dan Gambar 1.3 berikut.



Gambar 1. 2 Diagram Pareto Nilai Rupiah Kegagalan Produk (sumber : hasil perhitungan)



Gambar 1. 3 Diagram Pareto Nilai Rupiah Kegagalan Produk Munisi Kaliber 5,56 mm (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan Gambar 1.2 tersebut, terlihat bahwa sebagian besar kerugian akibat kegagalan produk berasal dari produk munisi kaliber 5,56 mm yaitu sebanyak 32,3%. Sementara itu, berdasarkan Gambar 1.3 dapat ditunjukkan bahwa dari sebanyak 15 varian munisi kaliber 5,56 mm, sebagian besar kerugian akibat kegagalan produk yaitu sebanyak 64% berasal dari proses penyusunan munisi kaliber 5,56 x 45 mm varian MU5-TJ.

Salah satu metode yang dapat digunakan terkait permasalahan tersebut adalah metode *six sigma*. *Six Sigma* merupakan suatu alat manajemen yang terfokus pada pengendalian kualitas dengan mendalami sistem produksi perusahaan secara keseluruhan. Metodologi *six sigma* digunakan untuk melakukan upaya perbaikan dan peningkatan proses yang berkesinambungan (*Continuous Improvement*). Metodologi *Six Sigma* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control* (DMAIC). Strategi dari *six sigma* diantaranya fokus pada kepuasan pelanggan (*Customer Focused*), menurunkan tingkat kecacatan produk (*Reduce Defect*), berkisar di sekitar pusat target (*Center Around Target*), dan menurunkan variasi (*Reduce Variation*). Dalam penerapan *six sigma*, target atas kecacatan atau kegagalan proses dikontrol dalam target 3,4 DPMO (*Defects per Million Opportunities*) yang artinya dalam 1 juta unit produk yang diproduksi hanya ada 3,4 unit produk cacat.

Dari permasalahan tersebut, selanjutnya akan dilakukan penelitian untuk meningkatkan kualitas sehingga dapat mengurangi nilai kerugian akibat kegagalan produk pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ di PT. Pindad (Persero) dengan menggunakan metode *six sigma*.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan bahwa nilai penyumbang kerugian terbesar akibat kegagalan produk munisi berasal dari lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm, khususnya varian MU5-TJ dimana termasuk varian produk yang memiliki jumlah order tertinggi setiap tahunnya, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini diantaranya :

1. Jenis – jenis cacat produk apa saja yang terdapat pada proses produksi?
2. Bagian proses apa saja yang mempengaruhi cacat produk?

3. Berapa level sigma pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ saat ini?
4. Solusi / tindakan apa yang dapat dilakukan dan harus dibuat untuk meningkatkan kualitas produk yang pada akhirnya meminimalisir nilai kegagalan produk?

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan uraian rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini diantaranya

1. Mengidentifikasi jenis-jenis cacat produk yang ada dalam proses produksi
2. Mengidentifikasi bagian proses yang mempengaruhi cacat produk
3. Memberikan solusi potensial untuk meningkatkan kualitas sehingga meminimalisir nilai kegagalan produk pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ
4. Menentukan level *sigma* pada pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ sebelum dan setelah perbaikan serta pengurangan nilai rupiah kegagalan produk / *cost saving* yang dihasilkan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini yaitu:

1. Bagi internal perusahaan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terbaru, pengetahuan, dan wawasan terkait kondisi pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm, khususnya varian MU5-TJ sehingga dapat terus melakukan upaya perbaikan yang berkelanjutan (*continuous improvement*) untuk peningkatan kualitas produk
2. Bagi perkembangan keilmuan dan praktisi serta institusi, penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu, memberikan sumber informasi, dan dapat menjadi referensi untuk upaya peningkatan kualitas produk pada studi kasus dalam suatu perusahaan.

1.5 Batasan dan Asumsi Penelitian

Agar penelitian lebih fokus dan terarah, maka perlu adanya pembatasan

masalah diantaranya sebagai berikut :

1. Permasalahan yang diangkat adalah permasalahan yang terjadi pada lini proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm di Divisi Munisi PT. Pindad (Persero).
2. Penelitian ini mengambil objek produk munisi kaliber 5,56 mm, varian MU5-TJ dimana merupakan produk yang paling diminati di pasaran dengan tingkat kegagalan produk yang tinggi.
3. Penggambaran proses dan perhitungan yang diamati adalah proses penyusunan munisi varian MU5-TJ dari proses pasang penggalak sampai dengan proses visuil.
4. Data yang diambil yaitu berdasarkan laporan bulanan pada Bulan Januari sampai dengan Bulan Agustus 2019 dilanjutkan dengan penerapan *improvement* pada bulan September 2019 sampai dengan Januari 2020.

Untuk mempermudah analisis, juga diperlukan asumsi sebagai berikut :

1. Tidak terjadi perubahan kebijakan perusahaan yang mendasar terkait dengan sistem produksi yang ada saat ini

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam memahami isi tulisan, maka hasil dari penelitian ini akan disusun dalam penulisan yang sistematis. Dalam sistematika penulisan tesis ini terdiri dari enam bab yaitu Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Pengumpulan dan Pengolahan Data, Analisis dan Interpretasi Hasil, Kesimpulan dan Saran.

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang permasalahan yang ada saat ini, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang uraian teori-teori dasar yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini, konsep *six sigma*, dan *tools* yang digunakan untuk metode tersebut. Konsep-konsep dasar tersebut diharapkan dapat menjadi acuan dalam melakukan pengolahan data dan membantu dalam menginterpretasikan hasil yang diperoleh.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang uraian atau langkah-langkah secara sistematis dalam setiap tahapan penelitian yang akan dilakukan untuk memecahkan masalah. Urutan langkah yang telah ditetapkan tersebut merupakan suatu kerangka yang dijadikan pedoman dalam melaksanakan penelitian.

BAB 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini membahas segala hal yang termasuk dalam siklus *six sigma* dimulai dari pengumpulan data awal perusahaan serta tahap definisi permasalahan perusahaan (*Define*), tahap pengukuran (*Measure*), tahap analisis (*Analyze*), tahap perbaikan (*Improve*) dimana akan diberikan usulan-usulan dan implementasi perbaikan untuk meningkatkan kualitas, dan tahap pengendalian (*Control*).

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dimana menjawab tujuan yang telah dikemukakan sebelumnya serta saran-saran yang diharapkan dapat berguna bagi perusahaan atau penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab Dua akan diuraikan konsep dan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan topik yang diambil dalam penelitian ini sebagai acuan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Tinjauan pustaka yang digunakan ini berdasarkan topik penelitian yaitu permasalahan kualitas produk pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ. Dalam penelitian ini, akan dilakukan upaya peningkatan kualitas pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ dengan menggunakan metode *Six Sigma*.

2.1 Proses Produksi Munisi

Munisi didefinisikan sebagai suatu rangkaian dari beberapa komponen dengan bentuk dan sifat balistik dengan dimensi tertentu yang dapat diisi dengan bahan pendorong maupun bahan peledak dan dapat ditembakkan atau dilontarkan dengan senjata maupun alat lain dengan maksud ditujukan pada suatu target yang berfungsi untuk melukai, merusak, membinasakan, atau menghancurkan. Munisi terdiri dari beberapa komponen sebagaimana terdapat pada Gambar 2.1, diantaranya:

1. Longsong yaitu bagian munisi yang memegang pelor serta tempat dudukan penggalak dan merupakan wadah dari isian dorong atau *propellant*
2. Pelor atau yang disebut juga sebagai proyektil yaitu bagian munisi yang akan keluar dan terlempar dari laras yang ditujukan untuk mengenai sasaran yang dikehendaki
3. Penggalak atau yang disebut juga sebagai primer yaitu bagian munisi yang berfungsi sebagai penyala atau inisiasi awal untuk membakar *propellant*
4. *Propellant* atau yang disebut juga sebagai bubuk mesiu yaitu bagian munisi yang berfungsi sebagai penghasil kalori dari gas panas hasil

pembakaran *propellant* oleh penggalak yang berguna untuk mendorong pelor keluar dari laras

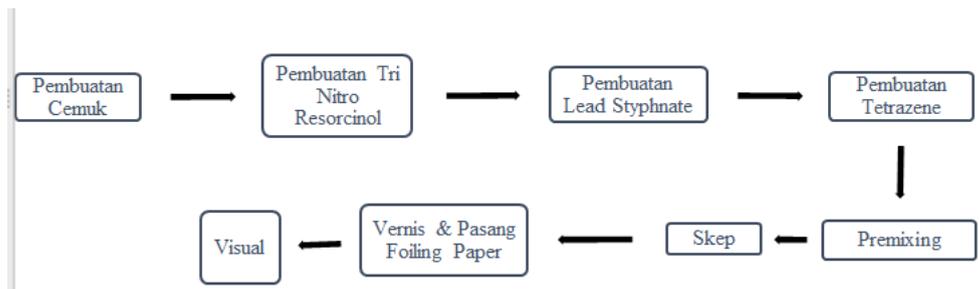


Gambar 2. 1 Komponen pada Munisi (sumber : PT. Pindad)

Proses produksi munisi di PT. Pindad (Persero) secara garis besar terdiri beberapa proses, diantaranya:

2.1.1 Proses Produksi Penggalak

Penggalak atau disebut juga primer memiliki fungsi sebagai inisiasi awal munisi pada saat penembakan. Penggalak pada munisi setiap kaliber memiliki komposisi bahan peledak primer yang berbeda-beda. Penggalak terdiri dari bahan peledak primer. Proses produksi penggalak di PT.Pindad secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini :

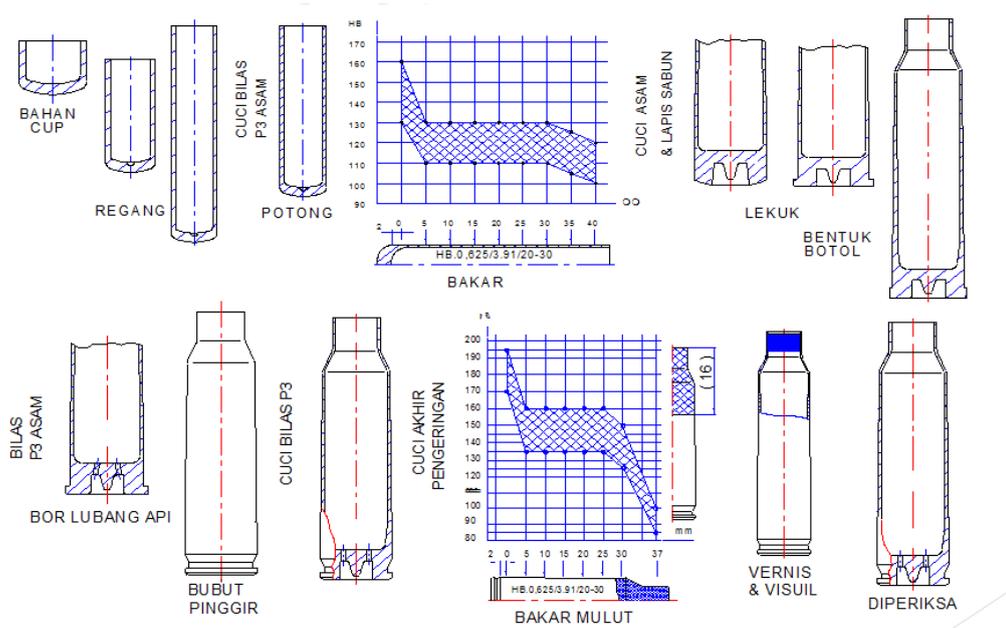


Gambar 2. 2 Proses Produksi Penggalak (sumber : PT. Pindad)

Sesuai dengan Gambar 2.2 tersebut, proses pembuatan penggalak diawali dari pembuatan cemuk. Cemuk tersebut akan menjadi tempat dari bahan peledak. Selanjutnya yaitu proses pembuatan bahan peledak primer yaitu *Tri Nitro Resorcinol*, *Lead Styphnate*, dan *Tetrazene*. Bahan peledak primer yang telah dibuat selanjutnya masuk ke lini *premixing*, untuk dicampurkan dengan bahan peledak lain dan oksidator. Pada lini *premixing* sangat penting untuk memperhatikan kelembaban atau kadar air bahan kimia sebab perbedaan kadar air berpengaruh pada massa dari bahan kimia tersebut. Bahan peledak yang telah melalui proses *premixing* selanjutnya disebut sebagai **Sas**. Selanjutnya sas dan cemuk masuk dalam lini penyusunan penggalak. Pada lini penyusunan penggalak selanjutnya dilakukan proses *skep* penempatan sas pada cemuk, kemudian dilanjutkan dengan proses pasang *foiling paper* dan vernis penggalak. Proses vernis pada penggalak bertujuan untuk melindungi sas bahan peledak agar tidak tumpah pada saat proses penyusunan munisi sebab hal tersebut selain berkaitan dengan mutu produk juga berkaitan dengan aspek *safety*. Apabila saat proses penyusunan munisi, terjadi penggalak yang rontok, maka selain isian berkurang yang mengakibatkan *defect* produk, dalam jumlah tertentu penggalak yang rontok tersebut dapat menyebabkan ledakan pada mesin. Selanjutnya penggalak dikeringkan selama tujuh hari. Setelah proses pengeringan tersebut, selanjutnya dilakukan proses visual dan pemeriksaan untuk menentukan penggalak yang dinyatakan baik. Pengujian kualitas penggalak terdiri dari pengujian secara visual, pengujian fungsi atau kepekaan dengan metode *drop test* dan statistik, dan pengukuran dimensi. Penggalak yang sesuai dengan spesifikasi selanjutnya akan dikirim ke proses penyusunan munisi.

2.1.2 Proses Produksi Longsong

Longsong merupakan salah satu bagian munisi yang berfungsi sebagai badan munisi yang memegang pelor, dudukan penggalak serta wadah dari *propellant*. Proses pembuatan longsong dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini



Gambar 2. 3 Proses Produksi Longsong (sumber : PT. Pindad)

Proses dimulai dari proses regang. *Raw material* yang digunakan yaitu kuningan *Brass Cup CuZn28*. Setelah brass cup diregang, selanjutnya dicuci dengan P3 asam yang terdiri dari asam sulfat, asam fosfat, asam sulfat, theepol, dan *caustic soda* 50%. Pencucian ini berfungsi untuk menghilangkan kotoran atau flek pada logam. Selanjutnya dilakukan proses potong dan proses bakar. Proses bakar bertujuan untuk membentuk struktur logam yang baik dengan kekerasan yang sesuai sehingga mudah pada saat proses penyusunan. Selanjutnya yaitu proses lekuk, bentuk botol, bor lubang api, bubut pinggir, cuci bilas P3 asam, cuci akhir dan pengeringan, dan proses bakar mulut. Pada proses bakar mulut yang kedua bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa. Selanjutnya proses vernis pada mulut longsong. Vernis yang digunakan pada mulut longsong adalah vernis

bituminlak atau vernis berbasis bitumin. Proses vernis mulut longsong merupakan proses yang sangat penting karena vernis pada mulut longsong berfungsi sebagai perekat pada saat pemasangan pelor atau proyektil. Vernis bituminlak yang baik memiliki spesifikasi harus kering di luar tetapi lembab atau basah di dalam. Vernis bituminlak yang digunakan berbahan dasar aspal dengan pelarut SBP, namun demikian saat ini seiring dengan perkembangan teknologi material, banyak bahan lain atau pelarut lain yang lebih baik untuk menghasilkan vernis yang sesuai dengan spesifikasi. Vernis yang terlalu kering atau terlalu lembab berpotensi menyebabkan cacat pada munisi ketika proses penyusunan. Pelor akan sulit menempel pada longsong dengan vernis mulut yang kering dan dapat menimbulkan mulut longsong retak, sedangkan apabila vernis kurang kering, maka berpotensi menyebabkan kuat tarik pelor yang rendah, sehingga pada saat penyusunan berpotensi menyebabkan dimensi munisi menjadi terlalu panjang atau pendek. Selain itu, vernis mulut longsong yang terlalu basah dapat berpotensi menyumbat saluran pengisian *propellant* ketika proses penyusunan munisi pada saat pengisian *propellant*. Sementara itu, kendala yang dihadapi yaitu spesifikasi dari vernis mulut longsong sulit didefinisikan secara kuantitatif. Setelah proses vernis mulut longsong, dilakukan proses visual dan pemeriksaan dimensi pada longsong. Longsong yang sesuai dengan spesifikasi selanjutnya akan dikirimkan ke lini proses penyusunan munisi.

2.1.3 Proses Produksi Pelor

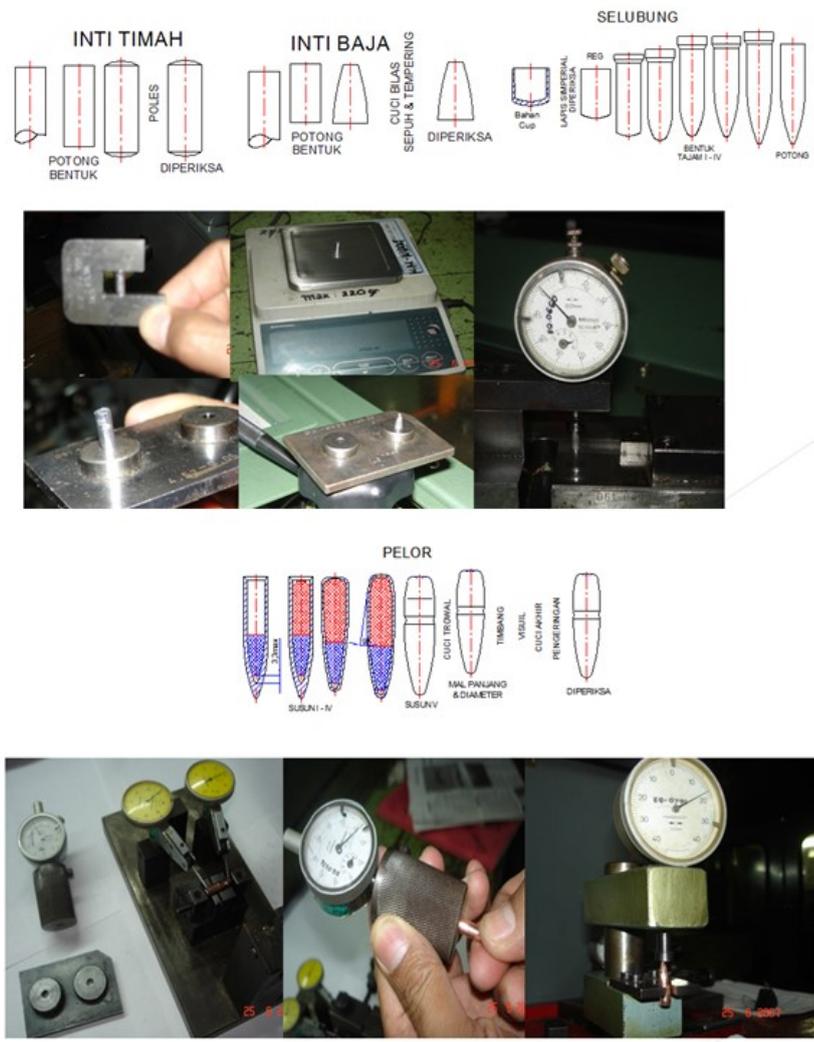
Pelor atau disebut juga proyektil merupakan bagian munisi yang akan keluar dan terlempar dari laras yang ditujukan untuk mengenai sasaran yang dikehendaki. Pelor untuk munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ terdiri dari tiga bagian komponen, diantaranya sebagai berikut :

1. Selubung Pelor : Bahan CuZn 10 atau CuZn 28 berfungsi sebagai pembungkus inti timah / inti baja. Harus mampu diproses bentuk dingin (*Cold Working*) dan licin saat bergesekan dengan kamar senjata.
2. Inti Baja : Harus mampu diproses bentuk dingin (*Cold Working*) dan mampu diolah panas (*Heat Treatment*) dengan kekerasan lebih besar

dari plat baja sasaran. Inti baja dibuat dari *Cold Extruding Steel Wire* 35 B2 DIN 1654.

3. Inti Timah : Bahan *Hard Lead Wire* dengan kadar Sb 2 – 3 % atau Sb 8 – 11 % sesuai dengan fungsi penggunaan atau sasaran akhir. Harus mampu dibentuk dan tidak mudah berubah saat diproses.

Proses pada masing-masing komponen pelor tersebut dijelaskan pada Gambar 2.4. Pada selubung pelor proses diawali dengan regang Brass Cup CuZn 10, kemudian dilakukan proses pelapisan dengan menggunakan larutan *metal cutting oil*, agar mudah saat dibentuk tajam. Setelah melalui proses pelapisan, selanjutnya dilakukan proses bentuk tajam pelor dan proses potong. Pada proses produksi inti baja diawali dengan proses potong dan bentuk steel wire dilanjutkan dengan proses cuci bilas dan tempering pada temperatur 140°C selama 140 menit hingga mencapai kekerasan atau HRC 54-57. Setelah dilakukan tempering, kekerasan inti baja diperiksa. Pada proses produksi inti timah proses diawali dengan proses potong dan bentuk *hard lead wire*, selanjutnya dipoles dengan granulat dan dilakukan pemeriksaan untuk dimensi dan berat. Selubung, inti baja, dan inti timah selanjutnya masuk dalam lini proses penyusunan pelor. Inti timah dan inti baja disusun dalam selubung pelor, selanjutnya dilakukan proses pencucian dengan larutan pencuci dan butiran pembersih (granulat). Selanjutnya dilakukan proses mal panjang, timbang dan visual. Pelor yang sesuai dengan spesifikasi selanjutnya masuk ke lini penyusunan munisi.

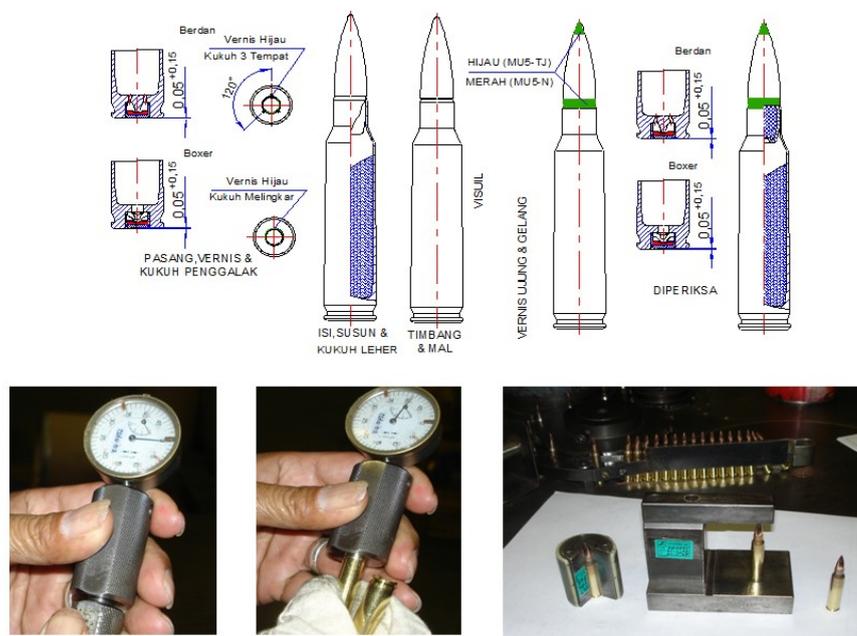


Gambar 2. 4 Proses Produksi Pelor (sumber : PT. Pindad)

2.1.4 Proses Penyusunan Munisi

Longsong, pelor, *propellant* dan penggalak yang dinyatakan sesuai dengan spesifikasi (diberi label biru oleh QC) selanjutnya masuk dalam proses penyusunan munisi. Untuk *propellant*, saat ini tidak diproduksi sendiri oleh PT. Pindad. *Propellant* yang digunakan berbasis Double Base (*Nitrocellulose* dan *Nitroglycerine*) dengan tipe *Smokeless Powder* for M855. Komponen-komponen yang telah memenuhi spesifikasi tersebut selanjutnya diproses di lini penyusunan munisi diawali dengan proses pasang, vernis, dan kukuh penggalak pada longsong. Vernis dalam proses ini berfungsi sebagai penanda bawah untuk tipe

tajam atau nyala (*tracer*). Untuk munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ menggunakan vernis berwarna hijau. Setelah penggalak terpasang pada longsong, selanjutnya yaitu proses pengisian *propellant*, penyusunan atau pemasangan pelor, dan kukuh leher munisi. dilakukan uji fungsi Selanjutnya dilakukan proses timbang dan mal pada munisi. Setelah proses timbang dan mal, dilakukan proses visual pada munisi. Proses visual berfungsi untuk memilih munisi yang dinyatakan baik secara visual sesuai standar NATO yaitu MIL-STD-636 atau MIL-C-9963F yang dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Setelah proses visual, dilakukan vernis ujung dan gelang pada munisi yang berfungsi sebagai penanda atas untuk tipe tajam atau nyala (*tracer*). Selanjutnya, munisi yang telah dinyatakan baik pada lini penyusunan munisi dikemas. Proses-proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5. Munisi yang akan dikirimkan kepada customer harus melalui uji mutu melalui prosedur *sampling* untuk setiap lot sesuai Standar Spesifikasi Produk. Uji dimensi dan fungsi (kelancaran pada senjata) dilakukan pada lorong tembak 25 m, sedangkan uji balistik untuk mengetahui performa munisi dilakukan di laboratorium balistik lorong 200 m.



Gambar 2. 5 Proses Produksi Munisi (sumber : PT. Pindad)

2.2 Standar Spesifikasi Munisi

Spesifikasi munisi mengacu pada standar spesifikasi produk yang ditetapkan oleh pelanggan dalam hal ini yaitu TNI AD. Standar yang digunakan pelanggan mengacu pada standar internasional yaitu NATO Standar. Standar visual munisi kaliber kecil mengacu pada MIL-STD-636 dan MIL-C-9963F. Standar visual munisi dan spesifikasi munisi untuk munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2. Untuk lebih jelasnya, gambar jenis-jenis cacat visual pada munisi dapat dilihat pada Lampiran 1.

Kriteria cacat pada munisi dibedakan menjadi tiga kriteria yaitu *Critical*, *Major*, dan *Minor*. Bila cacat masuk dalam kategori *critical* artinya produk munisi dalam satu lot secara keseluruhan dianggap tidak memenuhi spesifikasi. Sementara untuk jenis cacat dalam kategori *major*, kriteria penerimaan atau penolakan sesuai dengan AQL 0,25. Sementara untuk cacat dengan kategori *minor*, maka kriteria penerimaan atau penolakan sesuai AQL 1,5. Nilai AQL tersebut selanjutnya mengikuti *Special Inspection Levels S-2 Double Sampling Plans for Normal Inspection*.

Tabel 2. 1 Kategori Cacat Visual pada MU5-TJ sesuai NATO Standar

No	Defect and Method of Inspection	Critical	Major	Minor	Major or Minor
Visual					
	Cartridge				
1	Discolored, dirty, Oily, Smeared			X	
2	Corrode or stained, if etched cas		X		
3	Mixed ammunition types	X			
	Case				
4	Round Head		X		
5	Dent				X
6	Split Case				
	in K, L, or M location	X			
	in I, S, or J location		X		
7	Perforated case	X			
8	Draw scratch				X
9	Scratch			X	

Lanjutan Tabel 2. 2 Kategori Cacat Visual pada MU5-TJ sesuai NATO Standar

No	Defect and Method of Inspection	Critical	Major	Minor	Major or Minor
10	Beveled underside of head		X		
11	Case mouth not crimped in cannelure		X		
12	Scaly metal				X
13	No chamfer on head (rim)		X		
14	Fold			X	
15	Wrinkle			X	
16	Buckle			X	
17	Bulge			X	
18	Illegible or missing head stamp			X	
19	Defective head			X	
20	Defective mouth			X	
21	No visible evidence of mouth anneal		X		
	Bullet				
22	Dent			X	
23	Scratch			X	
24	Split bullet jacket		X		
25	Loose bullet		X		
26	Missing cannelure		X		
27	Scaly metal (bullet)				X
28	Upset (crooked) point			X	
29	Exposed steel (clad jacket)			X	
30	Blunt point			X	
31	Defective cannelure			X	
	Primer				
32	No primer	X			
33	Cocked primer	X			
34	Inverted primer	X			
35	Loose primer		X		
36	Nicked or dented primer			X	
37	No waterproofing material (primer pocket joint)			X	
38	Defective crimp			X	

Sumber : MIL-STD-636, 1958

Tabel 2. 3 Standar Spesifikasi Produk MU5-TJ

No	Mata Uji	Persyaratan
1	Dimensi	
	- Kritis	- Tidak lurus sesuai gauge profil dan untuk memasukkan mempergunakan gaya dorong statis sebesar 10 Kg serta tidak masuk kamar senjata.
		- Penggalak menonjol lebih dari 0,05 mm
	- Utama	
	Panjang munisi	$(57,4^{-0,63})$ mm
	Ø alur penarik	$(8,45^{-0,18})$ mm
	Ø dasar longsong	$(9,62^{-0,18})$ mm
	Tebal pinggiran	$(1,15^{-0,18})$ mm
	Panjang dari pinggiran s/d pundak longsong Ø 7,66 mm	$(38,10^{-0,15})$ mm
	Kedalaman Galak	$(0,05^{+0,15})$ mm
2	Berat	
	- Munisi lengkap	$12,35 \pm 1,35$ gram
	- Pelor	$4 \pm 0,10$ gram
	- Isian dorong	$P \pm 0,03$ gram
3	Uji Kimiawi	Tidak boleh rengat dan retak
4	Kuat Tarik Pelor	
	- Rata - rata	≥ 25 kp
	- Individu	≥ 20 kp
5	Kedap Udara	Tidak boleh timbul gelembung udara
6	Hang Fire	-
7	Kecepatan Pelor	$\leq 0,002$ detik
	- Rata - rata V	915 ± 12 m/detik
	- Std. Deviasi	≤ 9 m/detik
8	Lit. Bak Jarak 100 m	$H + V \leq 20$ cm
9	Tekanan Gas	
	- Rata-rata	≤ 3800 kg/cm ²
	- Individu	≤ 4200 kg/cm ²
10	Kepekaan penggalak	
	Berat bola = 112 gram	
	Ketinggian = 75 mm	Harus tak meletus
	Ketinggian = 356 mm	Harus meletus

Sumber : PT. Pindad

2.3 Kualitas

Kualitas merupakan salah satu indikator penting bagi perusahaan untuk dapat eksis di tengah ketatnya persaingan di dunia industri. Definisi dari kualitas itu sendiri terdiri dari beberapa persepsi menurut para ahli. Dalam segi proses produksi, kualitas merupakan suatu proses yang menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi dari produk yang telah ditetapkan (Feigenbaum, 1992). Kualitas merupakan atribut produk atau jasa yang menunjukkan daya keandalan, ketepatan kemudahan operasi perbaikan, serta atribut yang mempunyai nilai tambah lainnya (Kotler dan Armstrong, 2008). Menurut The American Society for Quality (ASQ), kualitas didefinisikan sebagai karakteristik dari suatu produk yang menunjang kemampuannya untuk memuaskan kebutuhan yang di spesifikasikan atau ditetapkan. Definisi lain dari kualitas adalah *loss to society*, yang maksudnya adalah apabila terjadi penyimpangan dari target, hal ini merupakan fungsi berkurangnya kualitas (Taguchi, 1987). Pada sisi lain, berkurangnya kualitas tersebut akan menimbulkan biaya. Standar Nasional Indonesia (SNI) menyatakan kualitas sebagai keseluruhan ciri dan karakteristik produk dan jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Disamping itu, kebutuhan pelanggan memiliki sifat yang dinamis, selalu berubah seiring dengan perkembangan jaman. Oleh sebab itu paradigma dan konsep tentang kualitas juga berubah sepanjang waktu (Suef et al., 2017). Dari definisi-definisi yang ada, terdapat beberapa persamaan terkait definisi kualitas tersebut diantaranya adanya unsur-unsur sebagai berikut :

1. Kualitas dimaksudkan untuk memenuhi atau melebihi harapan pelanggan.
2. Kualitas meliputi produk, jasa, manusia proses dan lingkungan.
3. Kualitas adalah suatu kondisi dinamis, yang selalu berubah (*moving target*).

Penilaian tentang baik atau buruknya kualitas suatu produk dapat ditentukan dalam delapan dimensi kualitas yang diperkenalkan oleh seorang Ahli Pengendalian Kualitas pada tahun 1987 yang bernama David A. Garvin.

Kedelapan dimensi kualitas yang dikemukakan oleh David A. Garvin ini kemudian dikenal dengan Delapan Dimensi Kualitas Garvin, yang terdiri dari :

1. Kinerja (*Performance*)

Kinerja atau *performance* merupakan dimensi kualitas yang berkaitan dengan karakteristik utama suatu produk.

2. Fitur (*Features*)

Fitur atau *features* merupakan karakteristik pendukung atau pelengkap dari karakteristik utama suatu produk.

3. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan atau *reliability* merupakan dimensi kualitas yang berhubungan dengan kemungkinan suatu produk dapat bekerja secara memuaskan pada waktu dan kondisi tertentu.

4. Kesesuaian (*Conformance*)

Kesesuaian atau *conformance* merupakan kesamaan kinerja dan kualitas produk dengan standar yang diinginkan karena pada dasarnya setiap produk memiliki standar maupun spesifikasi yang telah ditentukan.

5. Ketahanan (*Durability*)

Ketahanan atau *durability* merupakan ketangguhan suatu produk hingga saatnya harus diganti. Ketahanan ini biasanya diukur berdasarkan umur atau waktu daya tahan suatu produk.

6. *Serviceability*

Serviceability merupakan kemudahan layanan atau perbaikan jika dibutuhkan. Hal ini sering dikaitkan dengan layanan purna jual (*after sales service*) yang disediakan oleh produsen. Dalam hal ini terkait dengan ketersediaan suku cadang dan kemudahan perbaikan apabila terjadi kerusakan dengan didukung pusat layanan perbaikan (*service center*) yang letaknya mudah dijangkau oleh konsumen dan memiliki respon yang cepat (*fast respon*) ketika terjadi kerusakan.

7. Keindahan (*Aesthetics*)

Keindahan atau *aesthetics* erat kaitannya dengan daya tarik produk secara visual. Sering kali keputusan memilih suatu produk didasarkan pada faktor-faktor seperti model, warna, bentuk, kemasan maupun segi artistik lainnya.

8. Persepsi terhadap produk (*Perceived quality*)

Persepsi terhadap produk berkaitan erat dengan reputasi dan rekam jejak perusahaan di masa lalu terkait kualitas dan mutu produk dimana hal tersebut merupakan suatu hal yang substantial. Reputasi ini dapat berkaitan dengan kegagalan produk terdahulu, penarikan kembali (*recall*) produk karena ditemukan adanya cacat produksi maupun mengenai bagaimana pelanggan diperlakukan ketika ada pelaporan terkait kualitas produk.

2.4 *Six Sigma*

Six sigma merupakan sebuah metodologi terstruktur untuk memperbaiki proses yang difokuskan pada usaha mengurangi variasi proses sekaligus mengurangi cacat (produk atau jasa yang diluar spesifikasi) dengan menggunakan statistik dan *problem solving tools* secara intensif (Manggala, 2005). Menurut (Revere dkk, 2004), *six sigma* mencakup kegiatan mulai merancang, memperbaiki, dan memonitoring suatu proses bisnis dalam perusahaan. *Six sigma* merupakan proses disiplin tinggi yang membantu mengembangkan dan mengantarkan produk mendekati sempurna. *Six sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan (DPMO) untuk setiap transaksi produk baik barang maupun jasa (Trihendradi, 2006). Dengan semikian *six sigma* dapat dijadikan ukuran target kinerja sistem industri tentang bagaimana baiknya suatu proses transaksi produk antara pemasok (industri) dan pelanggan (pasar). Semakin tinggi target *sigma* yang dicapai kinerja sistem industri akan semakin baik. *Six sigma* juga dianggap sebagai terobosan yang memungkinkan perusahaan melakukan peningkatan luar biasa dan sebagai pengendalian proses industri yang berfokus pada pelanggan, melalui penekanan pada kemampuan proses (*process capability*).

Strategi penerapan *six sigma* yang diciptakan oleh Dr. Mikel Harry dan Richard Schroeder disebut sebagai *Six Sigma Breakthrough Strategy*. Strategi ini merupakan metode sistematis yang menggunakan pengumpulan data dan analisis statistik untuk menentukan sumber-sumber variasi dan cara-cara menghilangkannya (Harry dan Schroeder, 2000).

Six sigma mempunyai dua arti penting, yaitu:

1. *Six sigma* sebagai filosofi manajemen

Six sigma merupakan kegiatan yang dilakukan oleh semua anggota perusahaan yang menjadi budaya dan sesuai dengan visi misi perusahaan. Tujuannya meningkatkan efisiensi proses bisnis dan memuaskan keinginan pelanggan, sehingga meningkatkan nilai perusahaan.

2. *Six sigma* sebagai sistem pengukuran

Six sigma sesuai dengan arti sigma, yaitu distribusi atau penyebaran (variasi) dari rata-rata (*mean*) suatu proses atau prosedur. *Six sigma* ditujukan untuk memperkecil variasi. *Six sigma* sebagai sistem pengukuran menggunakan *Defect per Milion Opportunities* (DPMO) sebagai satuan pengukuran. DPMO merupakan ukuran yang baik bagi kualitas produk ataupun proses, sebab berkorelasi langsung dengan cacat, biaya, dan waktu yang terbuang.

Konsep *six sigma* diterapkan oleh perusahaan Motorola sejak tahun 1986, yang merupakan terobosan baru dalam penerapan manajemen kualitas. Semakin tinggi target sigma yang dapat dicapai mengindikasikan kinerja industri yang semakin baik. Terdapat beberapa istilah dalam konsep Six Sigma motorola, diantaranya:

1. *Black Belt* yang merupakan pemimpin tim (*team leader*) yang bertanggung jawab untuk pengukuran, analisis, peningkatan dan pengendalian proses-proses kunci yang mempengaruhi kepuasan pelanggan dan atau pertumbuhan produktivitas serta menenmpati posisi penuh waktu (*full time*) dalam proyek *six sigma*.
2. *Green Belt* dimana serupa dengan *Black Belt*, namun posisinya tidak

penuh waktu

3. *Master Black Belt* yang merupakan mentor atau konsultan dalam proyek six sigma yang sedang ditangani *Black Belt*. Kriteria yang harus dimiliki oleh *Master Black Belt* adalah keterampilan analisis kuantitatif yang sangat kuat dan kemampuan mengajar serta memberikan konsultasi tentang manajemen proyek yang berhasil. *Master Black Belt* merupakan posisi penuh waktu dan dapat menangani sekitar 25-30 orang *Black Belt*
4. *Champion* yang merupakan individu yang berada pada manajemen tingkat atas (*top management*) yang memahami *six sigma* dan bertanggung jawab untuk keberhasilan dari *six sigma* itu.
5. *Critical to Quality* (CTQ) yang merupakan atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan pelanggan
6. *Defect* yang merupakan kegagalan untuk memberikan apa yang diinginkan oleh pelanggan (tidak sesuai dengan spesifikasi)
7. *Defect Per Unit* (DPU) yang merupakan ukuran terjadinya cacat atau kegagalan per unit yang dinyatakan dengan persamaan :

$$DPU = \frac{\text{Defects}}{\text{Unit}} \times 100 \quad (2.1)$$

8. *Defect Per Opportunity* (DPO) yang merupakan ukuran kegagalan yang dihitung dalam Program Peningkatan Kualitas Six Sigma dengan rumusan:

$$DPO = \frac{\text{Defects}}{\text{Products} \times \text{Opportunities}} \quad (2.2)$$

9. *Defect per Million Opportunities* (DPMO) yang merupakan ukuran kegagalan dalam Program Peningkatan Kualitas *Six Sigma* yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan. Target dari pengendalian kualitas *Six Sigma* Motorola yaitu sebesar 3,4 DPMO yang diinterpretasikan dalam satu unit produk tunggal terdapat rata-rata kesempatan untuk gagal dari suatu karakteristik CTQ adalah hanya 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan. DPMO dinyatakan dengan rumusan:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (2.3)$$

10. *Process Capability* yang merupakan kemampuan proses untuk

memproduksi output sesuai dengan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan dan merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk

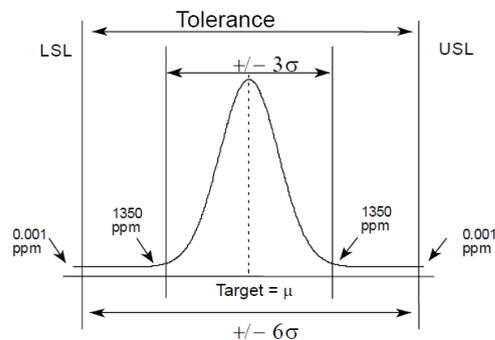
11. *Variation* yang merupakan apa yang pelanggan lihat dan rasakan dalam proses transaksi antar pemasok dan pelanggan. . Semakin kecil variasi maka akan semakin disukai karena mengindikasikan konsistensi dalam kualitas.
12. *Stable Operation* yang merupakan jaminan konsistensi, proses-proses yang dapat diperkirakan dan dikendalikan guna meningkatkan apa yang pelanggan lihat dan rasakan serta meningkatkan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan
13. *Design for Six Sigma* (DFSS) yang merupakan suatu desain untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dan kemampuan proses (*process capability*). DFSS merupakan suatu metodologi sistematis yang menggunakan peralatan, pelatihan, dan pengukuran untuk memungkinkan pemasok mendesain produk dan proses yang memenuhi ekspektasi dan kebutuhan pelanggan, serta dapat diproduksi dan dioperasikan pada tingkat kualitas *six sigma*
14. *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control* (DMAIC) yang merupakan proses untuk meningkatkan secara terus menerus menuju target six sigma. DMAIC dilakukan secara sistematis, berdasarkan ilmu pengetahuan dan fakta (*systematic, scientific, and fact based*)

Hubungan nilai sigma dengan DPMO dapat dilihat pada Tabel 2.3. Sedangkan, konsep six sigma umum dengan distribusi nilai terpusat dan konsep six sigma motorola dengan distribusi normal bergeser $1,5 \sigma$ masing-masing dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.

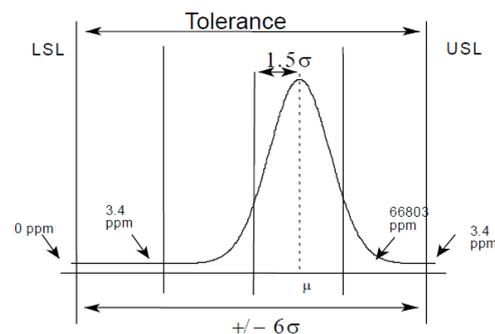
Tabel 2. 4 Tabel Hubungan Sigma dengan DPMO

Sigma Level	DPMO		Yield (%)		Keterangan
	Konsep 6σ Motorola	Konsep 6σ Umum	Konsep 6σ Motorola	Konsep 6σ Umum	
6	3,40	0,002	999,997	99,9999998	Industri Kelas Dunia
5	233	0,57	99,977	99,999943	Rata-Rata Industri Jepang
4	6.21	63	99,379	99,9937	Rata-Rata Industri USA
3	66.807	2.7	93,32	99,73	
2	308.357	45.500	69,20	95,45	Rata-Rata Industri Indonesia
1	690	317.300	31	68,27	Sangat Tidak Kompetitif

Sumber : Pande, Peter. 2000



Gambar 2. 6 Konsep Six Sigma Umum dengan Distribusi Nilai Terpusat (sumber: Montgomery, 2015)



Gambar 2. 7 Konsep Six Sigma dengan Distribusi Normal Bergeser 1,5 σ Motorola (sumber: Montgomery, 2015)

Apabila konsep *six sigma* akan diterapkan dalam bidang *manufacturing*, maka beberapa aspek yang harus diperhatikan, diantaranya:

1. Identifikasi karakteristik produk yang akan memuaskan pelanggan

(sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan)

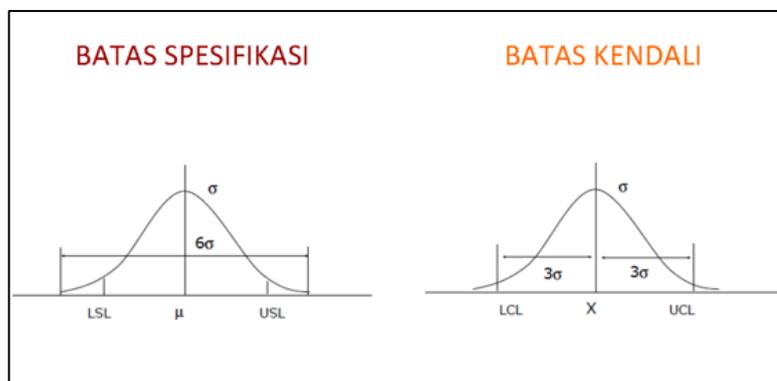
2. Mengklasifikasikan semua karakteristik kualitas itu sebagai CTQ (*Critical to Quality*)
3. Menentukan apakah setiap CTQ (*Critical to Quality*) itu dapat dikendalikan melalui pengendalian material, mesin, proses kerja, dan sebagainya
4. Menentukan batas maksimum toleransi untuk setiap CTQ sesuai yang diinginkan pelanggan (menentukan nilai USL dan LSL 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*, yang berarti memiliki indeks kemampuan proses, C_{pm} minimum sama dengan 2 ($C_{pm} \geq 2$). Selanjutnya efektivitas dari upaya peningkatan proses dan keberhasilan dalam aplikasi program six sigma dapat diukur melalui nilai C_{pm} yang terus meningkat.

2.4.1 Stabilitas dan Kapabilitas Proses

Dalam penerapan six sigma stabilitas proses merupakan konsep penting yang harus diperhatikan. Kestabilan proses dapat ditentukan dari tingkat respon semua parameter yang digunakan dalam mengukur variasi proses. Suatu proses dapat dikatakan stabil apabila semua parameter tersebut memiliki nilai variasi yang konstan. Stabilitas dari suatu proses dapat ditinjau dari *control chart* dimana apabila semua proses masuk dalam batasan, maka dapat dikatakan bahwa proses tersebut stabil.

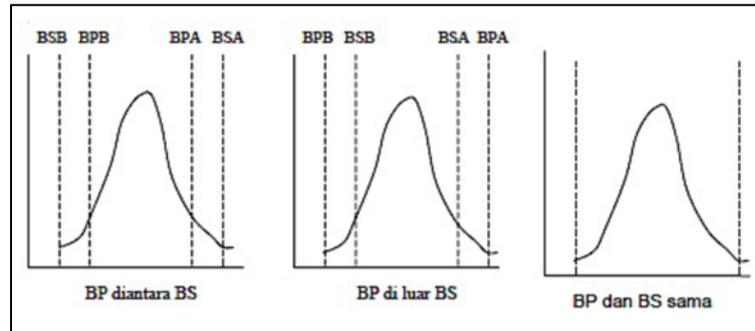
Kapabilitas Proses (*Process Capability*) adalah kemampuan suatu proses untuk menghasilkan suatu produk atau jasa yang sesuai dengan kebutuhan dari konsumen atau spesifikasi yang diharapkan. Analisis kapabilitas proses merupakan suatu tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan proses pengendalian. Analisis Kapabilitas Proses merupakan suatu studi guna menaksir

kemampuan proses dalam bentuk distribusi probabilitas yang mempunyai bentuk, rata-rata, dan penyebaran. Analisis Kapabilitas Proses merupakan prosedur yang digunakan untuk memprediksi kinerja jangka panjang yang berada dalam batas pengendali statistik (Pyzdek, 1995). Analisis kemampuan proses berkaitan dengan keseragaman proses variabilitas yang merupakan ukuran keseragaman proses, kemampuan dari proses untuk menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi, dan membedakan kesesuaian dengan batas-batas toleransi (rata-rata proses dalam batas pengendali serta berada dalam batas spesifikasi dan rata-rata proses dalam batas pengendali tetapi tidak berada dalam batas spesifikasi). Batas spesifikasi berbeda dengan batas kendali. Batas spesifikasi / toleransi merupakan batas-batas kesesuaian unit-unit secara individu dengan operasi manufaktur atau jasa. Batas spesifikasi ditentukan berdasarkan kebutuhan pelanggan terhadap produk. Sedangkan batas kontrol atau batas kendali merupakan batas yang digunakan dalam mengidentifikasi variasi yang ada antar sub grup. Batas spesifikasi dan batas kendali tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Batas Spesifikasi dan Batas Kendali (sumber: Montgomery, 2015)

Gambar 2.9 di bawah ini menunjukkan kondisi yang dapat terjadi terkait batas spesifikasi dan batas kendali.



Gambar 2. 9 Kondisi Produk dalam Batas Spesifikasi dan Batas Kendali (sumber: Montgomery, 2015)

Tujuan Analisis Kapabilitas Proses , diantaranya sebagai berikut :

1. Memprediksi variabilitas proses yang ada
2. Memilih diantara proses-proses yang paling tepat atau memenuhi
3. Menyediakan dasar kuantitatif untuk menyusun jadwal pengendalian proses dan penyesuaian secara periodik
4. Menguji teori mengenai penyebab kesalahan selama program perbaikan kualitas
5. Memberikan pelayanan sebagai dasar untuk menentukan syarat kinerja kualitas untuk mesin-mesin yang ada.

Analisis Kapabilitas Proses juga memiliki manfaat diantaranya sebagai berikut:

1. Menciptakan output yang seragam
2. Membantu dalam membuat perancangan produk maupun proses
3. Mengurangi biaya dengan memperkecil kegagalan
4. Memperkirakan seberapa baik proses akan memenuhi toleransi
5. Membantu dalam pembentukan interval untuk pengendalian interval antara pengendalian sampel.

Kapabilitas proses merupakan parameter dari variasi yang diberikan pada proses yang stabil. Pengaplikasian metode *six sigma* sangat dipengaruhi oleh kapabilitas proses, dimana dengan meningkatkan kapabilitas proses akan menghasilkan produk dengan tingkat cacat mendekati nol. Kapabilitas proses juga dapat dijadikan *baseline* dari sebuah proses

Upper Specification Limit (USL) dan Lower Specification Limit merupakan nilai toleransi yang diberikan dalam kapabilitas proses. Kedua batasan tersebut merupakan tingkat toleransi yang harus dipenuhi oleh proses dimana apabila terdapat nilai yang keluar dari batasan tersebut, maka dapat dikatakan proses tidak dapat memenuhi spesifikasi

Rasio Kemampuan Proses / Process Capability Ratio (Cp Index) merupakan indikator kapabilitas proses yang sering digunakan dalam proses six sigma. Cp merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kepresisian suatu proses. Semakin besar nilai Cp, maka semakin presisi proses tersebut dimana ditunjukkan dengan semakin kecilnya nilai variasi dari proses. Nilai Cp dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.4)$$

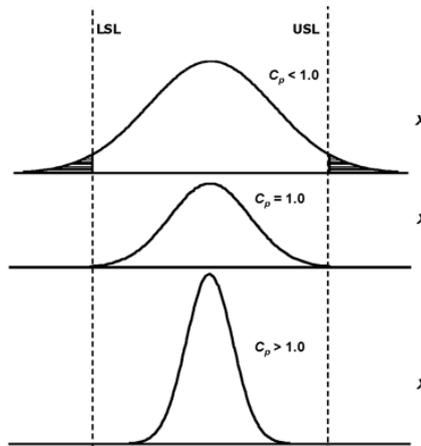
Dengan :

USL : *Upper Specification Limit*

LSL : *Lower Specification Limit*

σ : Standar deviasi proses

Nilai Cp dapat digunakan sebagai parameter penerimaan proses. Standar Cp pada suatu proses yaitu minimal sebesar 1,33 ($Cp_{min} = 1,33$) . Apabila suatu proses mempunyai nilai $Cp \geq 1$, maka proses dapat diterima atau proses memiliki kapabilitas yang baik. Apabila nilai $Cp < 1$, maka proses memiliki kapabilitas tidak baik (*not capable*) atau proses tidak mampu memenuhi kebutuhan konsumen sehingga proses dapat ditolak. Gambar grafik dari setiap nilai Cp ditunjukkan pada Gambar 2.10



Gambar 2. 10 Grafik Nilai Cp (sumber: Montgomery, 2015)

Indeks Cp tidak memperhatikan kondisi rata-rata proses atau tidak dapat digunakan untuk mengukur seberapa akurat proses tersebut terhadap target. Oleh karena itu, masih dibutuhkan persamaan Cpk untuk mengukur seberapa akurat proses terhadap target. Penghitungan Cpk sering Menggunakan *Capability Process Upper* (CPU) dan *Capability Process Lower* (CPL). CPU adalah toleransi atas dibagi dengan aktual sebaran proses atas. CPL adalah toleransi bawah dibagi dengan aktual sebaran proses bawah. Cpk didefinisikan nilai minimum dari CPU atau CPL. Indeks Kemampuan Proses (Cpk) merefleksikan kedekatan nilai rata-rata dengan dari proses sekarang terhadap salah satu USL atau LSL. CPU, CPL, dan Cpk dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$CPU = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (2.5)$$

Dengan :

CPU : Indeks kapabilitas atas

USL : Upper Spesification Limit

μ : Rata-rata proses

σ : Standar deviasi proses

$$CPL = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2.6)$$

CPL : Indeks kapabilitas bawah

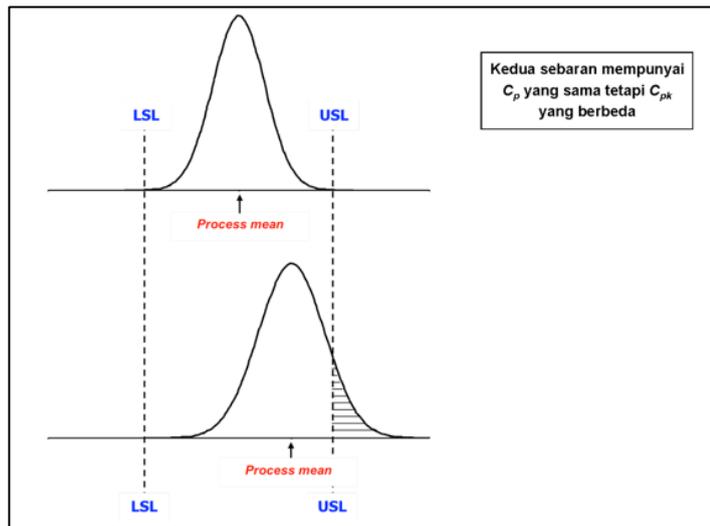
USL : Upper Spesification Limit

μ : Rata-rata proses

σ : Standar deviasi proses

$$Cpk = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right\} = \min\{CPU, CPL\} \quad (2.7)$$

Gambar 2.11 di bawah ini menunjukkan suatu proses yang memiliki nilai Cp yang sama, namun nilai Cpk berbeda



Gambar 2. 11 Contoh Grafik Cp dan Cpk (sumber: Montgomery, 2015)

2.4.2 Metodologi Six Sigma

Penerapan metode six sigma dapat dilakukan dengan pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, and Control*). Tahapan aktivitas dengan pendekatan DMAIC ditunjukkan pada Tabel 2. 4.

Tabel 2. 5 DMAIC dan Aktivitas yang Menyertainya

Tahapan	Aktivitas
<i>Define</i>	<ul style="list-style-type: none"> Mengidentifikasi permasalahan kualitas Mengidentifikasi kualitas yang diharapkan konsumen Membuat target kualitas yang ingin dicapai Mendefinisikan proses yang akan diperbaiki Mendefinisikan suatu sistem pengukuran yang valid dan reliable

Lanjutan Tabel 2.4 DMAIC dan Aktivitas yang Menyertainya

Tahapan	Aktivitas
<i>Measure</i>	Pengumpulan data dan menghitung kapabilitas proses saat ini Menghitung <i>current level sigma</i> dan nilai kegagalan produk
<i>Analyze</i>	Mendeteksi variabel-variabel utama yang mempengaruhi kegagalan dan mendefinisikan sebagai variasi di luar batas-batas yang berkaitan dengan proses yang benar Identifikasi akar permasalahan Analisis hambatan yang dihadapi Analisis cara yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan
<i>Improve</i>	Memodifikasi proses internal sehingga banyaknya kegagalan berada dalam batasan toleransi yang telah ditetapkan Mengembangkan ide untuk menghilangkan permasalahan Menggunakan tools yang tepat dalam melakukan perbaikan Melakukan aktivitas yang diperlukan untuk melakukan perbaikan Menerapkan solusi yang telah diberikan
<i>Control</i>	Memantau proses-proses yang dimodifikasi untuk menguji bahwa variabel-variabel di bawah kontrol tetap stabil dalam batas-batas yang ditetapkan Memonitor proses setelah perbaikan Menghitung level <i>sigma</i> setelah perbaikan Membuat standar untuk menjaga performa proses Membuat laporan perbaikan yang diperlukan

Sumber : Pyzdek, 2003

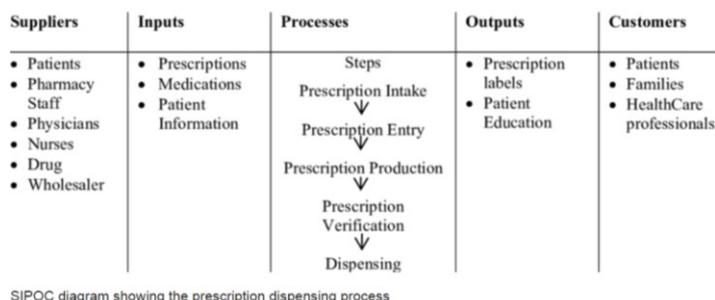
2.4.2.1 *Define*

Define merupakan tahap pertama dalam *six sigma* yang digunakan untuk mendefinisikan suatu permasalahan yang ada pada proses. Terdapat beberapa *tools* yang dapat digunakan dalam tahapan ini, diantaranya :

1. Diagram SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, and Customer)

Diagram SIPOC merupakan tools yang digunakan untuk perbaikan proses untuk menunjukkan aktivitas mayor, atau subproses dalam sebuah proses kerja. Unsur-unsur yang terdapat dalam SIPOC yaitu *Supplier*, *Input*, *Process*, *Output*, dan *Customer*. *Supplier* merupakan organisasi atau individu yang memberikan aliran informasi atau sumber daya yang berkaitan dengan proses produksi. *Input* merupakan segala sesuatu yang diberikan oleh *supplier* untuk proses produksi. *Process* merupakan alur kegiatan yang dilakukan untuk merubah *input* menjadi *output*. *Output* merupakan hasil dari suatu proses. *Customer* merupakan organisasi atau individu yang menerima *output*. SIPOC berfungsi untuk memberikan pengetahuan menyeluruh kepada anggota tim yang tidak familiar dengan proses terkait, untuk menghubungkan kembali antara proses dengan orang-orang yang dahulu terlibat didalamnya (namun kini keterkaitan tersebut telah melonggar karena perubahan-perubahan pada proses), dan untuk membantu tim mendefinisikan proses yang baru. Contoh Diagram SIPOC dapat dilihat pada Gambar 2.12. Diagram SIPOC biasanya digunakan untuk mengklarifikasi beberapa hal berkaitan dengan lima variabel tersebut, diantaranya:

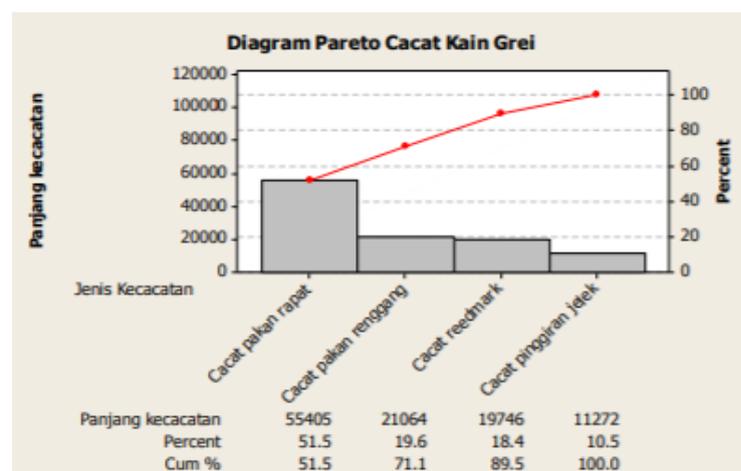
- a. Siapa yang menyuplai input kedalam proses?
- b. Spesifikasi seperti apa yang berkaitan dengan input?
- c. Bagaimana proses tersebut berjalan?
- d. Siapa sesungguhnya customer yang akan menerima hasil dari proses?
- e. Apa ekspektasi dan kebutuhan pelanggan?



Gambar 2. 12 Contoh Diagram SIPOC pada Suatu Proses (sumber: Alkuwaiti, 2016)

2. Diagram Pareto (*Pareto Chart*)

Diagram Pareto merupakan salah satu *tools* yang sering digunakan dalam pengendalian mutu. Hukum pareto yang telah banyak diaplikasikan dalam industri, salah satunya untuk mengelompokkan jenis cacat dan menentukan mana yang lebih penting untuk diperbaiki terlebih dahulu. Hukum pareto lebih dikenal sebagai 80/20 yang berarti memperbaiki 20% akan berdampak pada 80% perbaikan seluruh sistem. Pada dasarnya, Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya jumlah kejadian. Urutan dimulai dari jumlah permasalahan yang paling banyak terjadi sampai yang paling sedikit terjadi. Dalam grafik, ditunjukkan dengan batang grafik tertinggi (paling kiri) hingga grafik terendah (paling kanan). Dalam aplikasinya, Diagram Pareto sangat bermanfaat dalam menentukan dan mengidentifikasi prioritas permasalahan yang akan diselesaikan. Permasalahan yang paling banyak dan sering terjadi selanjutnya akan menjadi prioritas utama untuk melakukan tindakan. Sebelum membuat sebuah Diagram Pareto, data yang berhubungan dengan masalah atau kejadian yang ingin dianalisis, harus dikumpulkan terlebih dahulu. Contoh dari Diagram Pareto dapat dilihat pada Gambar 2.13. Pada umumnya, alat yang sering digunakan untuk pengumpulan data adalah dengan menggunakan *Check Sheet* atau Lembaran Periksa.



Gambar 2. 13 Contoh Diagram Pareto untuk *Defect Product* (sumber: Ayudya, Mustafid, 2016)

2.4.2.2. *Measure*

Measure merupakan tahap kedua dari metode *six sigma*. Pada tahap ini ditujukan untuk mengukur *Critical to Quality* (CTQ). Tahap pengukuran ini sangat penting dalam meningkatkan kualitas, karena dengan mengukur CTQ dapat diketahui keadaan perusahaan saat ini sehingga dapat dijadikan acuan dalam melakukan perbaikan. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan nilai sigma yang ada pada proses proses perusahaan saat ini (*current sigma level*). Langkah awal yang dapat dilakukan yaitu menguji normalitas data. Jika data memiliki distribusi normal, maka dapat dikatakan bahwa data tersebut dapat mewakili keseluruhan data yang ada pada suatu lini proses produksi. Setelah dilakukan uji normalitas data tersebut, jika data memiliki distribusi normal, tahap selanjutnya adalah menentukan nilai z atau level sigma pada suatu lini proses produksi. Perhitungan nilai z atau level sigma tersebut jika diketahui rata-rata dari rasio cacat produk, maka mengikuti persamaan Distribusi Normal Standar yaitu sebagai berikut :

$$P(z \geq x) = NORM.S.INV (probability) + 1,5\sigma \quad 2.8$$

Dengan :

Probability : probabilitas

z : *level sigma*

Dimana $1,5 \sigma$ merupakan nilai pergeseran *sigma* motorola dan nilai probabilitas dalam hal ini yaitu nilai probabilitas pada sisi kanan dari daerah distribusi, sehingga nilai probabilitas ditentukan dengan persamaan :

$$Probabilitas = 1 - probabilitas sisi kiri daerah distribusi \quad 2.9$$

Dimana probabilitas dari sisi kiri daerah distribusi sama dengan rata-rata dari rasio cacat produk. Nilai DPMO dalam hal ini merupakan nilai probabilitas dari sisi kiri daerah distribusi atau rata-rata rasio cacat produk untuk setiap satu juta unit produk yang dihasilkan.

Dalam *six sigma*, terdapat dua pengukuran dasar yaitu pengukuran konsep kinerja produk dan pengukuran konsep kinerja proses. Pengukuran konsep kinerja produk dapat dilakukan dengan perhitungan nilai DPU, DPO, dan DPMO sesuai Persamaan 2.1 , Persamaan 2.2 , dan Persamaan 2.3 pada sub bab sebelumnya. Sementara itu, pada pengukuran konsep kinerja proses langkah awal yang perlu dilakukan yaitu menentukan spesifikasi yang diharapkan oleh pelanggan selanjutnya pengolahan data dilakukan secara kuantitatif. Data tersebut kemudian diolah ke dalam diagram CTQ. Langkah kedua yaitu mengumpulkan data proses, tingkat *output*, dan tingkat *outcome*. Langkah selanjutnya yaitu mengukur tingkat performa yang akan dijadikan sebagai *baseline* kinerja awal proses *six sigma*. Tools yang dapat digunakan dalam metode ini adalah CTQ dan *Control Chart*.

1. *Control Chart*

Diagram kontrol (*Control Chart*) adalah alat yang digunakan dalam mengendalikan proses, yang bertujuan untuk mengkaji apakah suatu proses berada dalam pengendalian statistik, memantau proses terus menerus sepanjang waktu agar proses tetap stabil dan hanya mengandung variasi penyebab yang bersifat umum, serta mengukur dan menentukan kemampuan proses (*Process Capability*). Harusnya dipahami bahwasannya proses tidak berjalan secara alami atau dalam keadaan terkontrol namun senantiasa berubah dan berfluktuasi. Diagram kontrol (*Control Chart*) pertama kali ditemukan oleh *Walter A. Shewhart* yang saat itu bekerja di *Bell Telephone Laboratories*, Amerika Serikat pada tahun 1924. Pada saat itu *Walter A. Shewhart* ingin menghilangkan variasi tidak normal melalui pemisahan variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special-causes variation*) dan variasi yang disebabkan oleh penyebab yang bersifat umum (*common-causes variation*). Pada dasarnya semua proses akan menimbulkan variasi, namun proses produksi tetap harus dikendalikan dengan cara menghilangkan penyebab khusus dari proses tersebut, sehingga variasi yang diperbolehkan di dalam proses hanya disebabkan oleh variasi penyebab yang bersifat umum. Di dalam diagram kontrol (*Control Chart*) terdapat 3 (tiga) macam garis control yaitu:

- a) Garis tengah (*Center Line*) yang mewakili nilai rata-rata karakteristik kualitas, sesuai dengan keadaan yang dikontrol.

$$CL = \mu \quad 2.10$$

- b) Batas kontrol atas (*Upper Control Limit/UCL*)

$$UCL = \mu + 3\sigma \quad 2.11$$

- c) Batas kontrol bawah (*Lower Control Limit/LCL*).

$$LCL = \mu - 3\sigma \quad 2.12$$

Dimana :

μ : Rata-rata proses

σ : Standar deviasi proses

Sedangkan untuk rata-rata (*Mean/ μ*) dirumuskan dengan:

$$\mu = \frac{\sum x_i}{n} \quad 2.13$$

Standar deviasi dirumuskan dengan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad 2.14$$

Dimana :

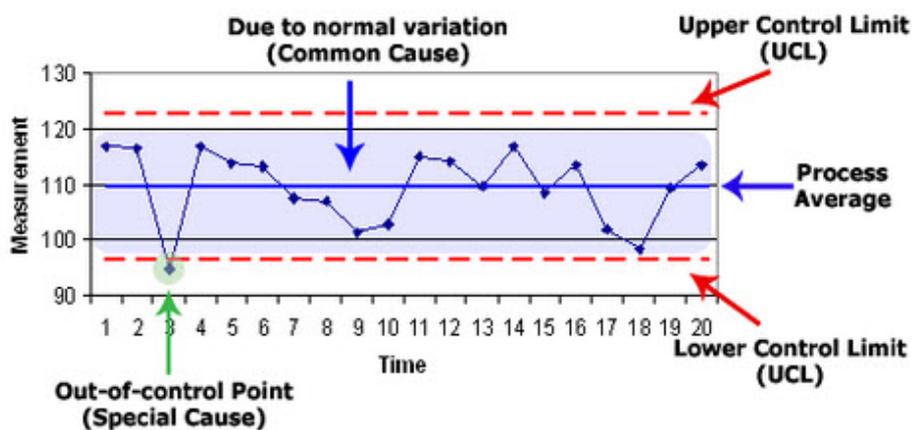
n : Ukuran sampel

x_i : Nilai x ke i

\bar{x} : Nilai x rata-rata

Nilai dari karakteristik kualitas yang dimonitor, ditunjukkan sepanjang sumbu y . Sumbu x menunjukkan sample atau subgroup dari karakteristik kualitas tersebut. Semua karakteristik disebut dengan variabel. Sedangkan atribut adalah karakteristik kualitas yang ditunjukkan dengan jumlah produk yang cacat (*defect*) serta jumlah cacat per unit. Batas kontrol (*Control limit*) ini sebelumnya telah ditetapkan terlebih dahulu, sehingga jika proses terkendali, maka hampir semua titik sampel akan berada di antara garis tengah (*Center Line*), batas kontrol atas

(*Upper Control Limit/UCL*) dan batas kontrol bawah (*Lower Control Limit/LCL*). Selama plot poin berada dalam batas kontrol, maka proses diasumsikan normal atau berada dalam kontrol sehingga tidak perlu diambil tindakan. Namun, jika didapati ada titik yang berada di luar batas kontrol, maka itu menunjukkan bahwa proses berada di luar kendali, sehingga investigasi dan tindakan korektif diperlukan untuk menemukan dan menghilangkan penyebabnya. Contoh dari *Control Chart* ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Control Chart Model (sumber : Gejdos, 2015)

Berdasarkan jenis data yang diukurinya, diagram kontrol (*control chart*) dibagi menjadi 2 macam, yaitu diagram kontrol variabel (*variable control chart*) dan diagram kontrol atribut (*attribute control chart*). Diagram Kontrol Data Variabel (*Variable Control Chart*) digunakan untuk mengendalikan proses dengan menggunakan data variabel. Yang termasuk dalam *variable control chart* adalah:

a) *Xbar – R Chart*

Diagram kontrol yang berfungsi untuk mengendalikan proses berdasarkan rata-rata (*Xbar*) dan Range (*R*). *Xbar – R Chart* digunakan apabila jumlah sample yang dikumpulkan berjumlah lebih dari 2 dan kurang dari atau sama dengan 5 ($2 < n \leq 5$) pada setiap set sample data. Jumlah set sample yang ideal adalah 20 – 25 set sample.

b) *Xbar – s Chart*

\bar{X} – s Chart adalah diagram kontrol untuk mengendalikan proses berdasarkan rata-rata (\bar{X}) dan Standar Deviasi (s). \bar{X} – s Chart digunakan apabila jumlah sample yang dikumpulkan lebih dari 5 ($n > 5$) pada setiap set sample data. Jumlah set sample yang ideal adalah 20 – 25 sample.

c) *I – MR Chart*

I – MR Chart digunakan apabila data sample hanya berjumlah 1 unit. Chart jenis ini digunakan jika sample hanya dapat dipakai sekali.

Diagram Kontrol Data Atribut (*Attribute Control Chart*) digunakan untuk mengendalikan proses dengan menggunakan atribut data. Contohnya jumlah unit yang gagal produksi (*reject*), jumlah komponen yang cacat (*defect*) dan lain sebagainya. Yang termasuk dalam *attribute control chart* adalah np-chart, p-chart, c-chart dan u-chart.

a. *np-Chart*

Adalah control chart yang berfungsi untuk mengukur jumlah kegagalan/cacat (*defect*) pada produksi. np-chart digunakan apabila jumlah sample (*sample size*) yang dikumpulkan adalah konstan atau tetap. Jumlah sample (*sample size*) sebaiknya berjumlah lebih dari 30 (>30) dan harus konstan dari waktu ke waktu.

b. *p-Chart*

Adalah jenis control chart yang berfungsi untuk mengukur proporsi kegagalan/cacat (*defect*) pada proses produksi. Sebagai contoh, jika ada sepuluh unit yang gagal (*defect*) pada saat proses produksi, maka proporsi produk gagal (*defect*) adalah $10/100 = 0.10$. p-Chart digunakan apabila jumlah sample (*sample size*) tidak konstan atau tidak tetap.

c. *c-Chart*

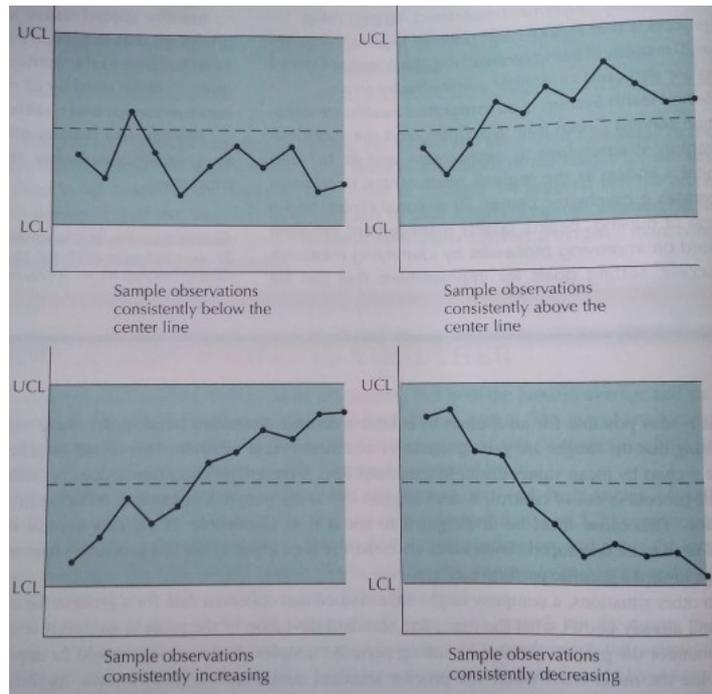
Berfungsi untuk mengukur banyaknya jumlah cacat (*defect*) atau ketidaksesuaian yang terdapat dalam unit yang diproduksi. Jumlah sample (*sample size*) biasanya bersifat konstan atau tetap.

d. *u-Chart*

Berfungsi untuk mengukur banyaknya jumlah cacat (*defect*) atau ketidaksesuaian yang terdapat dalam unit yang diproduksi. Perbedaan

yang mendasar dengan c-Chart adalah pada jumlah sampelnya (*sample size*) tidak konstan atau tidak tetap.

Beberapa pola grafik dari *control chart* dapat dilihat pada Gambar 2.15 di bawah ini.



Gambar 2. 15 Pola Grafik *Control Chart* (sumber: Russel, Taylor, 2014)

2. *Critical to Quality*

Merupakan tools yang digunakan untuk mengetahui karakteristik produk atau jasa yang diinginkan oleh customer. Indikator keberhasilan dari CTQ diukur dari tingkat cacat pada produk, *cost of poor quality*, kepuasan pelanggan, pangsa pasar, dan lain-lain. Setelah CTQ diketahui, selanjutnya ditentukan target dari proyek *six sigma*, kemudian ditentukan tujuan dari proyek tersebut.

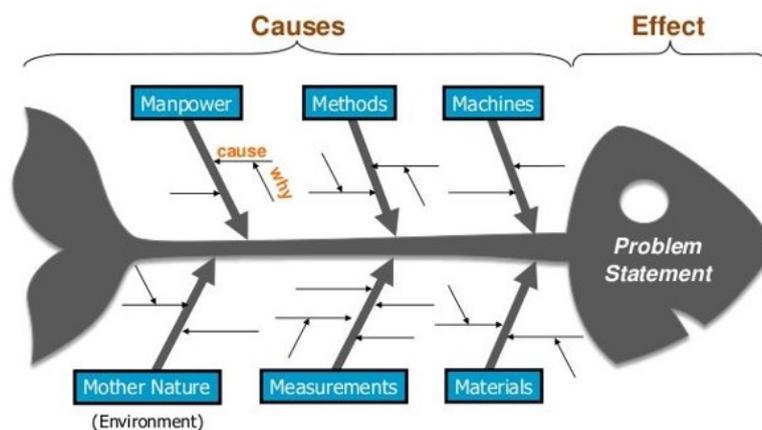
2.4.2.3 *Analyze*

Tahap *analyze* merupakan tahap ketiga dari siklus *six sigma*. Kolarik J dan Williams, (1999), menyatakan terdapat tiga tahapan pening dalam tahap *analyze* ini, diantaranya :

- a. Mengidentifikasi dan memberikan prioritas cacat yang paling dominan terhadap produk yang dihasilkan. *Tools* yang dapat digunakan pada tahap ini yaitu diagram pareto
- b. Menganalisis penyebab dari cacat yang paling dominan. *Tools* yang dapat digunakan yaitu *fishbone* dan *root cause analysis*
- c. Menentukan penyebab yang paling dominan terhadap cacat produk yang akan dilakukan perbaikan

1. *Fishbone Diagram*

Pada tahun 1943, Kaoru Ishikawa telah mengembangkan *Fishbone Diagram* atau yang disebut juga Diagram Ishikawa yang merupakan *tools* untuk mengidentifikasi sebab akibat pada suatu permasalahan. Diagram ini terdiri dari kepala ikan yang merupakan “efek” dan tulang-tulang yang merupakan penyebabnya. Penyebab dari efek nantinya akan dipecah menjadi beberapa sub penyebab diantaranya metode, material, mesin, lingkungan, dan lain-lain. Bagian-bagian dari *fishbone diagram* ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 *Fishbone Diagram* (sumber: Russel, Taylor, 2014)

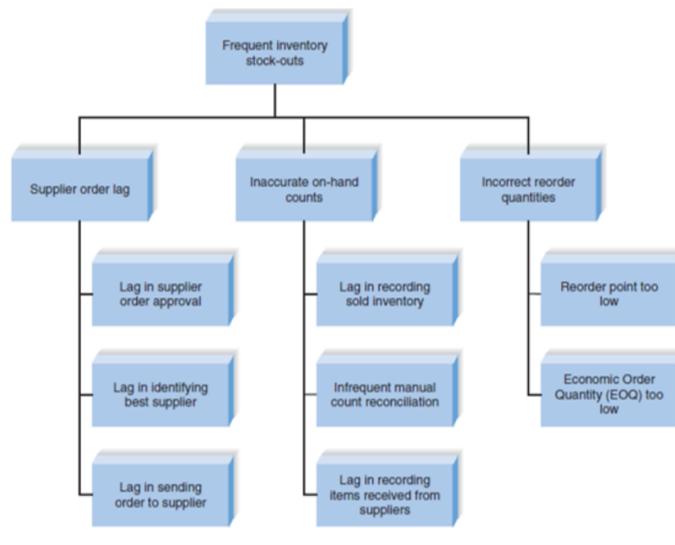
2. *Root Cause Analysis (RCA)*

Root Cause Analysis (RCA) adalah sebuah *tool problem solving* untuk membantu dan menemukan serta memahami akar penyebab masalah, dengan

tujuan menghilangkan akar penyebab tersebut dan mencegah masalah muncul kembali. Pada dasarnya, RCA bertujuan untuk mengidentifikasi asal-usul terjadinya masalah. Analisis akar penyebab sering digunakan dalam manajemen proaktif untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah, yaitu faktor yang menjadi penyebab utama masalah itu yang biasanya merujuk pada akar penyebab dalam bentuk tunggal, tetapi satu atau beberapa faktor mungkin sebenarnya merupakan akar penyebab dari masalah yang diteliti. Suatu faktor dianggap sebagai akar penyebab masalah jika melekasnya mencegah masalah berulang. Faktor penyebab, sebaliknya, adalah faktor yang mempengaruhi hasil suatu peristiwa, tetapi bukan akar penyebabnya. Meskipun menghilangkan faktor penyebab dapat menguntungkan hasil, itu tidak mencegah terulangnya dengan pasti. RCA dapat didekomposisi menjadi empat langkah:

- a. Mengidentifikasi dan menjelaskan masalah
- b. Menetapkan timeline dari situasi normal hingga saat masalah terjadi
- c. Membedakan antara akar penyebab dan faktor penyebab lainnya (misalnya dengan menggunakan korelasi peristiwa)
- d. Menetapkan grafik sebab akibat antara akar permasalahan dan permasalahan yang ada.

Contoh dari *Root Cause Analysis* untuk permasalahan *inventory* ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Contoh *Root Cause Analysis* (sumber: Pyzdek, 2003)

2.4.2.4 *Improve*

Tahap keempat dari six sigma yaitu melakukan *improvement* terhadap permasalahan. Tools yang dapat digunakan dalam tahap ini misalnya *Design of Experiment* (DOE) atau Uji Statistik *Chi-Square*. Penggunaan *tools* atau metode dalam tahap ini dapat disesuaikan dengan rencana *improvement* yang akan dilakukan yaitu apakah merujuk pada keseluruhan sistem ataupun merujuk pada proses yang lebih sempit namun berpengaruh sangat signifikan. Pada tahapan *improvement* ini, metode yang dapat dilakukan diantaranya :

1. *Design of Experiment*

Design of Experiment (DOE) adalah sebuah pendekatan sistematis yang bertujuan untuk menginvestigasi suatu sistem guna membuat suatu perubahan baru berdasarkan variabel input dari proses sehingga setiap perubahan yang terjadi dapat diamati dan diidentifikasi sesuai dengan respon output. *Design of Experiment* (DOE) lebih dari sekedar metode experimental ‘one change at a time’, *Design of Experiment* (DOE) juga memudahkan kita untuk melakukan *judgement* pada variabel input dan output yang signifikan. Pengujian secara ‘one change at a time’ menimbulkan risiko yang mengharuskan pelaku eksperimen

untuk menemukan satu variabel efek yang signifikan pada output. Metodologi *Design of Experiment* (DOE) ini pertama kali diperkenalkan kepada publik oleh *Ronald A. Fisher* dalam sebuah buku berjudul *The Design of Experiment* yang diterbitkan pada tahun 1935.

Yang dimaksud proses dalam *Design of Experiment* (DOE) ini dapat berupa kombinasi dari mesin, metode maupun manusia yang terlibat dalam kapasitasnya merubah input (bahan baku) menjadi output (produk). Khusus untuk produk dapat terdiri dari satu atau lebih karakteristik maupun respon kualitas yang dapat diamati. Beberapa variabel proses seperti X_1, X_2, \dots, X_p disebut variabel terkontrol. Sedangkan Z_1, Z_2, \dots, Z_q adalah variabel tak terkontrol. Faktor-faktor tak terkontrol ini disebut juga *Noise Factor*.

Metode *Design of Experiment* (DOE) ini dapat digunakan baik untuk pengembangan proses, pemecahan masalah di dalam proses, peningkatan kinerja proses guna mendapatkan suatu proses yang Tangguh (*robust*). Metode *Statistical Process Control* (SPC) dan *Design of Experiment* (DOE) adalah dua alat statistik yang saling terikat satu dengan lainnya. Keduanya memiliki keunggulan dalam hal perbaikan dan optimalisasi proses. Sebagai contoh, jika suatu keadaan proses telah dikontrol secara statistik namun dalam perjalanannya masih banyak ditemukan kekurangan, maka untuk meningkatkan kemampuan proses perlu kiranya dipadukan dengan metode *Design of Experiment* (DOE) yang bertujuan agar dapat meminimalisir variasi. Dengan kata lain *Design of Experiment* (DOE) menawarkan alternatif penyelesaian masalah yang lebih baik jika dibandingkan hanya menggunakan metode *Statistical Process Control* (SPC) saja.

Pada dasarnya, *Statistical Process Control* (SPC) adalah metode statistik yang bersifat **pasif**. Jika prosesnya terkendali, pengamatan pasif mungkin tidak akan menghasilkan banyak informasi yang berguna. Di lain sisi, desain eksperimental adalah metode statistik yang mempunyai karakter **aktif**. Dengan melakukan serangkaian uji pada proses, membuat perubahan dalam input dan mengamati perubahan yang terjadi pada output, akan menghasilkan informasi yang dapat mengarah pada perbaikan proses. Penerapan teknik-teknik ini di awal pengembangan proses dapat menghasilkan peningkatan hasil, meminimalisir variasi, dan mempersingkat waktu pengembangan produk

2. Uji Statistik *Chi-Square*

Setelah menentukan *Critical to Quality* (CTQ) dan mengetahui *defect* yang paling dominan, maka langkah selanjutnya yaitu menguji faktor penyebabnya. Analisa yang dilakukan dalam pengujian faktor penyebab *defect* yang berpengaruh signifikan terhadap terjadinya *defect* adalah dengan menggunakan metode statistik *chi-square*. Dalam melakukan pengujian dilakukan eksperimen untuk membuktikan apakah faktor-faktor penyebab *defect* tersebut berhubungan terhadap timbulnya *defect*. Tahap awal dalam melakukan pengujian yaitu dengan mendefinisikan hipotesis sebagai berikut :

Hipotesis :

H_0 : Tidak terdapat perbedaan antara kondisi A1,A2, dan A3 dari masing-masing faktor

H_1 : Terdapat perbedaan antara kondisi A1,A2, dan A3 dari masing-masing faktor

Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan *software* minitab dengan perhitungan manual . H_0 dapat diterima jika nilai *P-value* $> 0,05$ atau *Chi-Square* hitung $< Chi-Square$ Tabel. *Chi-Square* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$x^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad 2.15$$

Dimana :

O : Frekuensi hasil observasi

E : Frekuensi hasil yang diharapkan

x^2 : Nilai *chi-square*

Nilai frekuensi hasil yang diharapkan (E) dinyatakan sesuai persamaan berikut :

$$E = \frac{\text{Jumlah sebaris} \times \text{Jumlah sekolom}}{\text{Jumlah data}} \quad 2.16$$

Untuk mengetahui nilai *chi-square* tabel, perlu ditentukan nilai derajat kebebasan. Derajat kebebasan (*degree of freedom*) dinyatakan dengan rumus berikut :

$$dF = (\text{baris} - 1)(\text{kolom} - 1)$$

2.17

2.4.2.5 Control

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari metode *six sigma*. Dalam tahap ini seluruh hasil dari peningkatan kualitas dikumpulkan dan dijadikan acuan. Setelah dilakukan *improvement* dengan serangkaian pengujian atau eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat digunakan *process capability* dan *control chart* untuk lebih meyakinkan bahwa *improvement* tersebut secara reguler dapat diterapkan. Langkah terakhir yaitu menentukan *sigma* proses setelah dilakukan perbaikan (*future level sigma*) serta *cost saving* akibat berkurangnya *defect* pada produk.

2.5 Penelitian Sebelumnya

Metode *six sigma* merupakan metode yang lazim digunakan dalam melakukan perbaikan di suatu proses produksi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan metode tersebut (khususnya dalam industri manufaktur di Indonesia dan penelitian yang pernah dilaksanakan di Divisi Munisi PT. Pindad) dijelaskan dalam Tabel 2.5 di bawah ini :

Tabel 2. 6 Penelitian dengan Metode *Six Sigma*

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1.	Lila Ayudyaswara (2015)	Aplikasi Pendekatan <i>Lean Six Sigma</i> untuk meningkatkan kualitas kue Malkist di PT.X	<i>Six Sigma DMAIC, Lean (VSM)</i>	<i>Level sigma</i> mencapai 4,34 dan VAR meningkat dari 77,67% menjadi 252,73%
2.	Asadian Puja Enggita (2018)	Efisiensi dan Peningkatan Kualitas Produksi Kertas <i>Food Grade</i> Dengan Menggunakan <i>Lean Six Sigma</i> di PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia	<i>Six Sigma (DMAIC), Lean (VSM)</i>	Peningkatan <i>level sigma</i> dari 2,55 menjadi 2,67 dan VAR dari 2,78% menjadi 3,29%

Lanjutan Tabel 2. 7 Penelitian dengan Metode *Six Sigma*

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
3.	Sindy Putri Utami, Nashir Widha Setyanto, Ceria Farela Madra Tantrika (2014)	Implementasi Metode <i>Lean Six Sigma</i> Sebagai Upaya Meminimasi <i>Waste</i> Pada Produksi Link Belt di Divisi Munisi PT. Pindad (Persero)	<i>Six Sigma (DMAI), FMEA</i>	Tiga <i>waste</i> yang paling berpengaruh yaitu <i>Waste of Waiting</i> dengan nilai RPN 540, <i>Waste of Unnecessary Motion</i> dengan nilai RPN 267, dan <i>Waste of Defect</i> dengan nilai RPN 160. Rekomendasi perbaikan yaitu perancangan kartu kanban terkait <i>waiting</i> , modifikasi alat bantu material <i>handling</i> terkait <i>unnecessary motion</i> , dan perancangan <i>checklist</i> serta poster peringatan untuk <i>Defect</i> .

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab Tiga akan dijelaskan secara terperinci tentang metodologi penelitian. Metodologi penelitian berisi tentang penjelasan tahapan-tahapan dan metode-metode yang akan dilakukan dalam penelitian yang dimulai dari tahapan siklus *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*.

3.1 Tahap *Define*

Pada tahapan *Define* dilakukan beberapa langkah penting diantaranya :

3.1.1 Mengidentifikasi Permasalahan Kualitas

Pada tahapan *Define*, dilakukan identifikasi permasalahan kualitas. Pada langkah ini dilakukan studi lapangan untuk melihat proses produksi secara keseluruhan di lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ yang ada saat ini, dimulai dari proses susun penggalak, proses vernis dan kukuh penggalak, proses pengisian propellant dan penyusunan, proses timbang dan mal, dan proses visual. Pada proses studi lapangan, dilakukan inspeksi dari setiap tahapan proses pada lini proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ dan setiap tahapan proses tersebut dilakukan verifikasi apakah telah sesuai dengan *Standard Operation Procedure* (SOP) yang berupa Lembar Proses yang diterbitkan Departemen Engineering. Selain itu, dilakukan pengamatan terkait kondisi mesin yang ada pada proses penyusunan munisi tersebut dan kapabilitas dari mesin tersebut. Dari data studi lapangan, peneliti dapat mengidentifikasi kekurangan pada proses yang kemungkinan menjadi penyebab kegagalan produk.

3.1.2 Mengidentifikasi Kualitas yang Diharapkan Konsumen

Pada langkah ini, dilakukan identifikasi kualitas yang diharapkan konsumen. Konsumen yang dimaksud yaitu TNI-AD dengan standar spesifikasi

mengacu pada 5,56 X 45 mm NATO Standar yang juga merupakan Standar Spesifikasi Produk (SSP) di PT. Pindad sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya yang terdapat pada Tabel 2.2 . Selain itu, kategori jenis cacat visual pada produk munisi MU5-TJ mengacu pada MIL-STD 636 sebagaimana terdapat dalam bab sebelumnya yaitu pada Tabel 2.1.

3.1.3 Menentukan Target Kualitas yang Ingin Dicapai

Pada langkah ini , ditentukan target kualitas yang ingin dicapai diantaranya peningkatan *level sigma*, peningkatan kapabilitas proses dan keseragaman proses, dan pengurangan *cost of defective product* untuk lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ dimana target dari Divisi Munisi PT. Pindad (Persero) yaitu *total cost of defective product* untuk keseluruhan produk munisi yaitu maksimal 1,25% dari total produk munisi jadi yang diproduksi.

3.1.4 Mendefinisikan Proses yang Akan Diperbaiki

Pada langkah ini, dilakukan identifikasi proses yang akan diperbaiki dengan menganalisis setiap defect yang terjadi pada setiap lini proses. Data yang diperoleh berupa jumlah *output* produk dan jumlah *defect* produk pada setiap lini proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ dimulai dari proses susun penggalak, proses vernis dan kukuh penggalak, proses pengisian propellant dan penyusunan, proses timbang dan mal, sampai dengan proses visual. Dalam menggambarkan permasalahan pada setiap lini proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ digunakan *Pareto Chart* sehingga dapat diketahui kontribusi setiap lini proses dalam menyumbang *defect*.

3.1.5 Mendefinisikan Suatu Sistem Pengukuran yang Valid dan Reliable

Pada langkah ini, didefinisikan sistem pengukuran yang valid dan *reliable*. Terkait dengan pengukuran kapabilitas proses (*process capability*) dan keseragaman atau stabilitas proses (*control chart*) di lini proses penyusunan

munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ di PT. Pindad (Persero), jumlah sampel yang diambil mengikuti MIL-STD-105E *AQL Sampling Special Inspection Levels S-3 Single Sampling Plans For Normal Inspections* dengan kriteria keberterimaan mengikuti AQL 1,5. Hal ini berarti jika jumlah satu lot munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ sebesar 201.600 butir munisi, maka jumlah sampel yang diambil yang dapat mewakili populasi berdasarkan standar tersebut yaitu sebanyak 50 butir munisi. Dalam setiap perhitungan statistik, akan dilakukan normalisasi data untuk melihat apakah data berdistribusi normal. Dalam perhitungan level sigma saat ini (*current sigma level*) dan level sigma setelah perbaikan (*future sigma level*) akan digunakan persamaan Distribusi Poisson .

3.2 Tahap *Measure*

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran terhadap parameter kualitas. Untuk parameter kualitas dilakukan dengan mengukur *current sigma level* pada lini proses penyusunan dan pengemasan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ serta nilai kerugian akibat kegagalan produk sebelum adanya perbaikan berdasarkan data produksi (jumlah kegagalan produk dan harga pokok produksi pada setiap lini proses). Pada tahapan ini juga dilakukan pengukuran *process capability* dan *control chart* dari suatu lini proses sebelum adanya perbaikan.

3.3 Tahap *Analyze*

Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap parameter kualitas. Langkah awal pada tahap analisis tersebut yaitu menganalisis jenis cacat yang berpengaruh signifikan terhadap masalah kualitas. Selanjutnya, yaitu mencari akar masalah dari timbulnya jenis cacat tersebut. Dalam menganalisis akar masalah terkait jenis cacat yang berpengaruh signifikan terhadap masalah kualitas, dilakukan *interview* dan *brainstorming* dengan staff ahli dan manager lapangan tentang permasalahan pada lini proses penyusunan munisi. Dalam hal ini, untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat, pemilihan responden perlu dilakukan dengan tepat dimana responden harus memiliki pemahaman yang baik terhadap keseluruhan alur proses

pada lini penyusunan munisi, spesifikasi munisi , serta permasalahan atau kendala pada lini proses penyusunan munisi yang pada akhirnya berpengaruh pada kualitas dari munisi. Pemilihan responden pada penelitian ini berdasarkan pada beberapa kriteria berikut diantaranya :

1. *Job description* dimana responden terpilih memiliki pekerjaan yang berhubungan secara langsung dengan lini proses penyusunan munisi diantaranya fungsi yang bertanggung jawab terhadap hasil produk pada lini proses penyusunan munisi, fungsi pemeriksaan hasil produk munisi, dan fungsi perencanaan proses penyusunan munisi.
2. Tingkat pendidikan minimal D-3 dengan pengalaman kerja pada lini produksi minimal 5 tahun
3. Memiliki pengetahuan yang baik terhadap lini proses penyusunan munisi dimana responden terpilih telah memiliki sertifikasi *quality inspector*, dan pernah mengikuti program *training* dan inspeksi terkait produk munisi kaliber kecil sekurang-kurangnya yaitu dua kali.

Responden yang dipilih pada penelitian ini yaitu sesuai dengan Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3. 1 Responden Untuk Wawancara

No	Jabatan	Perusahaan	Lama Bekerja
1.	Manager Penyusunan dan Pengemasan MKK	PT. Pindad	30 tahun
2.	Manager Mutu Munisi	PT. Pindad	30 tahun
3.	Ahli Muda Engineering Munisi Kaliber Kecil	PT. Pindad	25 tahun
4.	Ahli Muda Inspektur Mutu Penyusunan dan Pengemasan	PT. Pindad	28 tahun
5.	Inspektur Mutu Penyusunan dan Pengemasan	PT. Pindad	25 tahun
6.	Junior Manager Penyusunan dan Pengemasan	PT. Pindad	30 tahun

Dari hasil *interview* dan *brainstorming* dengan staff lapangan dan manager terkait serta studi lapangan yang telah dilakukan, selanjutnya dibuat *Fish Bone Diagram* untuk mengetahui akar masalah yang menyebabkan level dari nilai *sigma* saat ini (*current level sigma*), sehingga dapat ditentukan *critical factor* yang mungkin berpengaruh terhadap permasalahan kualitas untuk selanjutnya dilakukan perbaikan.

3.4 Tahap Improve

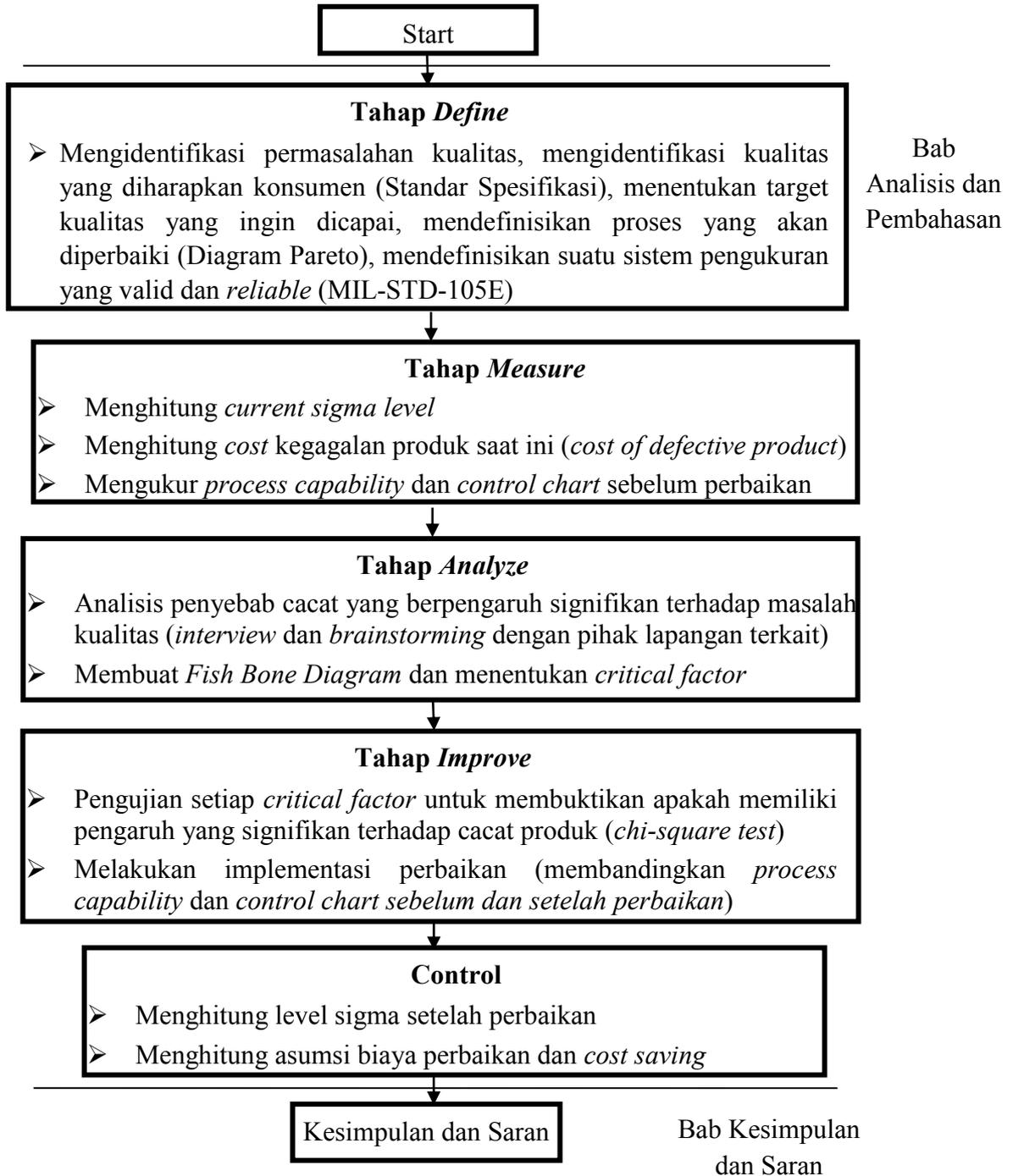
Pada tahapan ini dilakukan implementasi perbaikan terhadap permasalahan kualitas. Langkah awal sebelum dilakukannya implementasi perbaikan tersebut, yaitu dengan melakukan pengujian terhadap setiap *critical factor* yang telah ditentukan pada Tahap *Analyze*. Dalam menentukan faktor penyebab cacat yang berpengaruh signifikan terhadap permasalahan kualitas, dilakukan pengujian pada setiap *critical factor* tersebut dengan menggunakan metoda statistika *chi-square*. Langkah selanjutnya berdasarkan hasil pengujian tersebut, untuk setiap *critical factor* yang terbukti berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah cacat produk, maka diberikan usulan perbaikan dan dilanjutkan dengan implementasi perbaikan untuk mengatasi permasalahan cacat pada produk. Setelah implementasi perbaikan dilakukan, selanjutnya dibandingkan antara kapabilitas proses (*process capability*) serta peta kendali proses (*control chart*) sebelum dan setelah adanya perbaikan.

3.5 Tahap Control

Tahap control dilakukan untuk mengevaluasi hasil perbaikan yaitu dengan membandingkan *level sigma* sebelum (*current sigma level*) dan *level sigma* sesudah perbaikan (*future sigma level*), menghitung asumsi biaya *improvement* serta *cost saving* yang dihasilkan setelah dilakukan perbaikan sehingga berdasarkan nilai-nilai tersebut pada akhirnya meyakinkan bahwa *improvement* yang telah dilakukan secara reguler dapat diterapkan.

3.6 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini sesuai dengan Gambar 3.1 diantaranya :



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian

3.7 Kerangka Hipotesis Hasil Penelitian

Di dalam proposal penelitian ini dilakukan hipotesis untuk hasil penelitian sebagai berikut:

1. Kegagalan produk pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ sebagian besar berasal dari proses timbang dan mal serta proses visual. Pada proses timbang dan mal kegagalan produk yang terjadi terutama berupa isian propellant yang kurang atau isian propellant kosong, sedangkan pada proses visual, kegagalan produk yang terjadi berupa cacat pada badan munisi, cacat pada proyektil (proyektil panjang atau pendek), dan cacat pada penggalak. Kegagalan produk yang terjadi pada proses timbang dan mal, seharusnya terdeteksi pada proses sebelumnya yaitu proses pengisian *propellant* dan penyusunan, sehingga ada kemungkinan sensor pengisian *propellant* tidak berjalan. Sensor pengisian propellant yang tidak berjalan atau mungkin tidak terpasang, kemungkinan terkait dengan permasalahan pada saluran pengisian propellant. Proses yang berpengaruh signifikan adalah proses vernis, terutama proses vernis pada mulut longsong. Kualitas vernis mulut longsong berpengaruh pada kelancaran saluran pengisian propellant karena vernis yang kurang baik berpotensi menyumbat saluran pengisian propellant serta berpengaruh pada saat proses pemasangan proyektil dimana proyektil tertarik ke dalam atau proyektil kurang masuk ke dalam sehingga pada akhirnya menghasilkan munisi panjang atau munisi pendek karena kurangnya kuat tarik proyektil. Selanjutnya, penggunaan *tools* atau *sparepart* yang kurang sesuai dapat meningkatkan potensi cacat pada badan munisi.
2. Dengan melakukan perbaikan pada proses vernis mulut longsong, vernis pemasangan sensor yang tepat, serta penggunaan *tools* atau *spare part* yang sesuai, nilai kegagalan produk pada lini proses penyusunan dan pengemasan munisi kaliber 5,56 varian MU5-TJ dapat ditekan dan level sigma pada lini proses tersebut dapat ditingkatkan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk pada lini penyusunan dan pengemasan munisi kaliber 5,56 mm khususnya varian MU5-TJ dengan metode *six sigma*. Proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ beserta kapasitas produksi untuk setiap proses terdiri ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Proses Penyusunan Munisi (MU5-TJ)

No	Proses	Kode DAL Mesin	Kapasitas (butir/jam)
1.	Proses pasang, vernis, dan kukuh penggalak	41 DS	12.000
2.	Proses pengisian <i>propellant</i> , susun munisi, dan kukuh leher	43 DS-1 dan 43 DS-2	2 x 7.200
3.	Proses timbang dan mal	44 DS-1 dan 44 DS-2	2 x 7.200
4.	Proses visual	45 D-1 dan 46 B-4	2 x 7.200
5.	Proses vernis ujung dan gelang	46 DS-1 dan 46 DS-2	2 x 7.200

Sumber : PT. Pindad

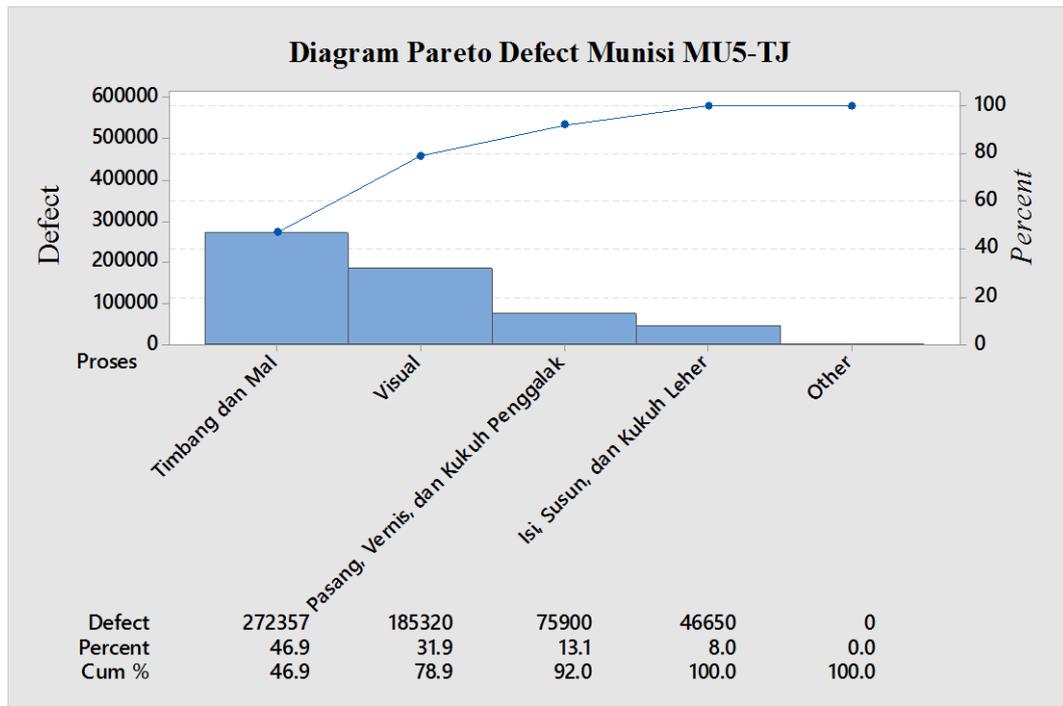
Setiap proses dalam lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ dapat menghasilkan *defect*. Jenis-jenis *defect* pada proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm MU5-TJ telah dijelaskan dalam bab tinjauan pustaka sesuai dengan Tabel 2.1 yaitu mengikuti NATO Standard MIL-STD-636 yang terdapat pada Lampiran 1. Untuk meminimalisir *defect* pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ, terdapat enam tahap dalam metode *six sigma* sebagaimana telah dijelaskan pada bab tinjauan pustaka diantaranya Tahap *Define*, Tahap *Measure*, Tahap *Analyze*, Tahap *Improve*, dan Tahap *Control*.

4.1 Tahap *Define*

Dalam mendefinisikan suatu permasalahan pada penelitian ini, dilakukan identifikasi terhadap permasalahan kualitas, identifikasi kualitas yang diharapkan konsumen, menentukan target kualitas yang ingin dicapai, mendefinisikan proses yang akan diperbaiki, dan mendefinisikan suatu sistem pengukuran yang valid dan *reliable*. Langkah-langkah secara umum telah dijelaskan dalam bab metodologi.

Permasalahan kualitas yang dihadapi yaitu terkait tingginya *defect* pada lini penyusunan munisi MU5-TJ sebagaimana telah dijelaskan pada bab pendahuluan yaitu pada Gambar 1.3. Selanjutnya, terkait dengan kualitas yang diharapkan konsumen yaitu mengikuti Standar Spesifikasi Produk yang telah dijelaskan pada bab tinjauan pustaka sesuai dengan Tabel 2.2. Target kualitas yang ingin dicapai yaitu diantaranya peningkatan *level sigma*, peningkatan kapabilitas proses dan keseragaman proses, dan pengurangan *cost of defect* untuk lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ yang akan dilakukan pada tahapan selanjutnya. Selanjutnya, proses yang akan diperbaiki yaitu proses- proses dalam lini penyusunan munisi MU5-TJ yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 di atas. Sistem pengukuran yang akan dilakukan sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu mengikuti MIL-STD-105E *AQL Sampling Special Inspection Levels S-3 Single Sampling Plans For Normal Inspections*.

Berdasarkan data *defect* pada Bulan Januari sampai dengan Bulan Agustus 2019 yang terdapat pada Lampiran 2, *defect* pada lini penyusunan munisi MU5-TJ digambarkan sesuai Gambar 4.1 berikut



Gambar 4. 1 Diagram Pareto *Defect* Munisi MU5-TJ (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan diagram tersebut di atas dapat dilihat bahwa sebagian besar *defect* terjadi pada proses timbang dan mal selanjutnya yaitu pada proses visual. *Defect* untuk proses timbang dan mal memiliki proporsi 46,9% dari total *defect* pada lini penyusunan munisi MU5-TJ, sedangkan *defect* pada proses timbang dan mal beserta visual memiliki proporsi sebesar 78,9% dari total *defect*. Pada proses timbang dan mal munisi, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, khususnya *defect* terkait berat munisi yang kurang akibat kurangnya isian *propellant* seharusnya terdeteksi pada proses sebelumnya yaitu pada proses pengisian *propellant* dan penyusunan karena terdapat sensor isian yang berfungsi untuk pemeriksaan isian munisi secara otomatis pada mesin, sehingga untuk proses penyusunan munisi khususnya dimulai pada proses pengisian *propellant* sampai dengan proses visual akan dianalisis lebih lanjut pada tahap *Analyze* beserta jenis-jenis *defect* yang terdapat pada keseluruhan lini penyusunan munisi MU5-TJ serta penyebab dari *defect* tersebut.

4.2 Tahap *Measure*

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran terhadap parameter kualitas. Terkait dengan pengukuran parameter kualitas tersebut, dilakukan pengukuran *current sigma level* pada lini proses penyusunan munisi MU5-TJ, nilai kerugian akibat kegagalan produk (*cost of defective product*) sebelum adanya perbaikan berdasarkan data produksi yang terdapat pada Lampiran 2, serta *process capability* dan *control chart* dari lini proses penyusunan MU5-TJ sebelum adanya perbaikan berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran 3.

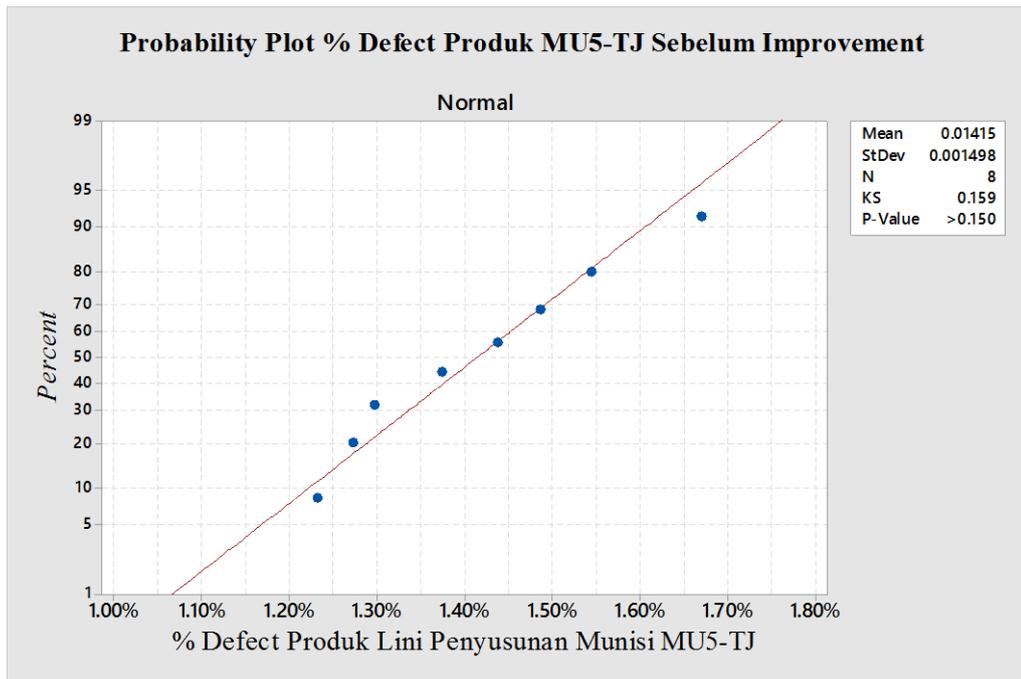
4.2.1 Perhitungan *Current Sigma Level*

Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran 2, data *defect* produk sebelum dilakukan *improvement* yaitu terdapat pada Bulan Januari sampai dengan Agustus 2019. Dilakukan uji normalitas data terlebih dahulu dimana uji normalitas data merupakan hal penting yang harus dilakukan sebelum melakukan analisis pada parameter kualitas. Jika data yang diambil pada Bulan Januari sampai dengan Agustus 2019 berdistribusi normal, maka dapat dikatakan bahwa data tersebut dapat mewakili keseluruhan data *defect* pada lini penyusunan MU5-TJ. Pengujian normalitas data dilakukan dengan *software minitab* 17. Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis yaitu:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Dimana dalam pengujian ini daerah kritis untuk menolak H_0 yaitu melalui pendekatan $P\text{-value} < \alpha$, dengan nilai α (*confidence level*) sebesar 0,05 dengan Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.2. Jika $P\text{-value}$ lebih besar dari 0,05 maka data berdistribusi normal.



Gambar 4. 2 Uji Normalitas Data *Defect Produk MU5-TJ Sebelum Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan hasil tersebut di atas didapatkan nilai $P\text{-value} > 0,150$ yang berarti $P\text{-Value}$ tersebut $> \alpha$ ($P\text{-Value} > 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data tersebut berdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan pengukuran *level sigma*. Tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan distribusi probabilitas dari *defect* produk MU5-TJ sebelum *improvement*. Berdasarkan data pada Lampiran 2, rata-rata dari rasio untuk *defect* produk MU5-TJ selama Bulan Januari sampai dengan Agustus 2019 yaitu sebesar 1,41%. Perhitungan level produk dilakukan dengan menggunakan persamaan Distribusi Normal Standar yaitu sebagai berikut:

$$P(z \geq x) = NORM.S.INV(probability) + 1,5\sigma \quad (4.1)$$

$$z = NORM.S.INV(1 - 0,0141) + 1,5\sigma$$

$$z = 3,6945$$

Hasil dari perhitungan tersebut menghasilkan level sigma awal sebesar 3,6945. Nilai DPMO untuk nilai sigma tersebut dengan nilai probabilitas 0,0141 yaitu sebesar 14.100 unit produk. Hal tersebut berarti bahwa pada proses produksi penyusunan munisi MU5-TJ mempunyai peluang menghasilkan produk *defect* sebesar 14.100 unit dari 1.000.000 unit produk yang dihasilkan.

4.2.2 Perhitungan *Cost of Defective* Produk Saat Ini

Pada tahap ini dilakukan perhitungan terhadap nilai kerugian akibat produk *defect* pada lini penyusunan munisi MU5-TJ. Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran 2 dan Lampiran 5, *cost of defective* produk selama periode Bulan Januari sampai dengan Bulan Agustus 2019 ditunjukkan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 2 *Cost of Defective* Produk Munisi MU5-TJ Sebelum *Improvement*

Bulan	Tahun	Nilai Produk Baik MU5-TJ (Rupiah)	<i>Cost of Defective</i> Penyusunan MU5-TJ (Rupiah)	% <i>Cost of Defective</i>
Januari	2019	15,552,139,896	247,765,468	1.59%
Februari	2019	18,621,676,386	269,412,692	1.45%
Maret	2019	14,964,060,494	174,303,345	1.16%
April	2019	9,791,201,309	122,601,127	1.25%
Mei	2019	12,869,311,584	155,725,387	1.21%
Juni	2019	10,674,211,049	138,291,869	1.30%
Juli	2019	17,475,866,866	219,653,420	1.26%
Agustus	2019	14,599,756,336	200,506,456	1.37%
Jumlah		114,548,223,918	1,528,259,764	1.33%

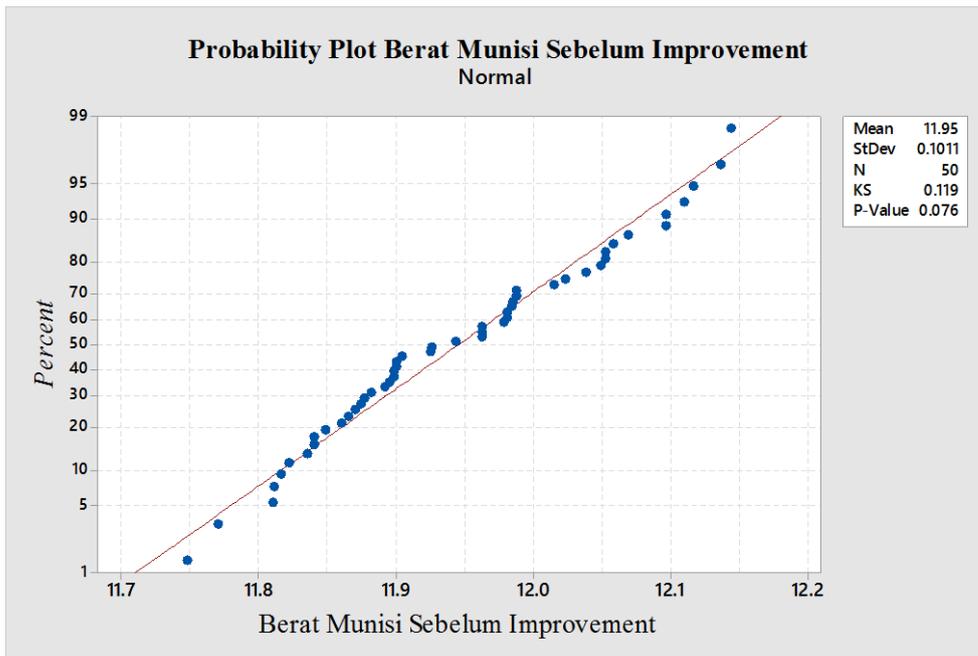
Sumber : Hasil Perhitungan

Nilai *cost of defective* pada Tabel 4.2 di atas diperoleh dengan mengalikan jumlah *defect* pada setiap proses dengan harga yang terdapat pada setiap proses. Sementara itu, nilai produk baik merupakan nilai *output* produk MU5-TJ yang sudah dinyatakan baik pada proses akhir dan siap untuk dikirim. Berdasarkan data tersebut di atas nilai *cost of defective product* yaitu sebesar Rp. 1.528.259.764,00.

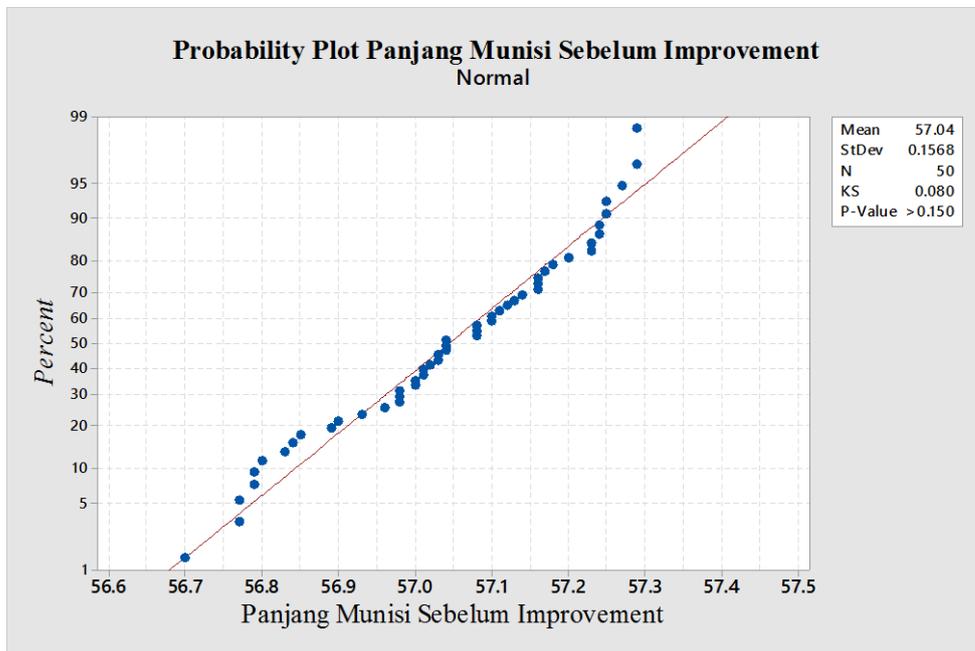
Nilai tersebut memiliki proporsi 1,33% dari *output* produk baik MU5-TJ yang dihasilkan.

4.2.3 *Process Capability dan Control Chart*

Pengukuran *process capability* dilakukan untuk mengetahui tingkat kemampuan proses dalam pencapaian target kualitas. Sementara itu, *control chart* digunakan untuk mengendalikan proses, yang bertujuan untuk mengkaji apakah suatu proses berada dalam pengendalian statistik, memantau proses agar proses tetap stabil dan hanya mengandung variasi penyebab yang bersifat umum. Dalam penelitian ini, dibuat *process capability* dan *control chart* untuk proses timbang dan mal mengingat pada Tahap *Define* bahwa proses tersebut menghasilkan proporsi *defect* terbesar dalam lini penyusunan munisi MU5-TJ. Pada proses timbang dan mal, *defect* produk terjadi karena kurangnya berat munisi (isian *propellant* kurang) dan panjang munisi yang tidak sesuai (terlalu panjang atau terlalu pendek). Sebelumnya terlebih dahulu dilakukan uji normalitas data untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal. Data berat munisi dan panjang munisi sebelum *improvement* terdapat pada Lampiran 3. Selanjutnya dilakukan uji normalitas data untuk berat munisi dan panjang sebelum *improvement*. Hasil dari uji normalitas data dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 di bawah ini.

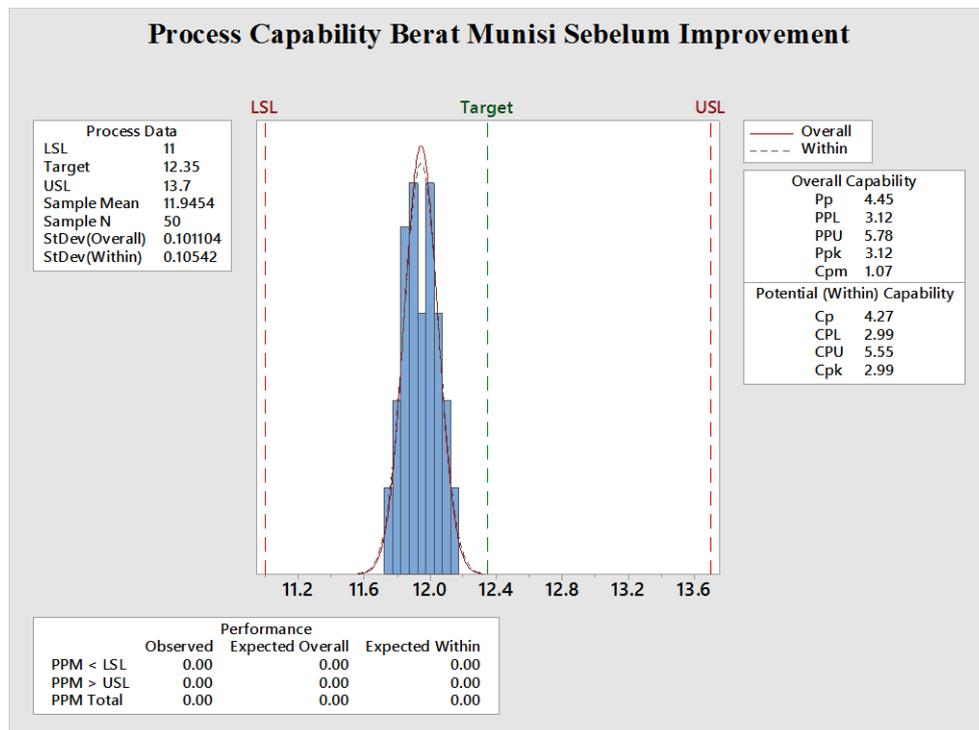


Gambar 4. 3 Uji Normalitas Data Berat Munisi Sebelum *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

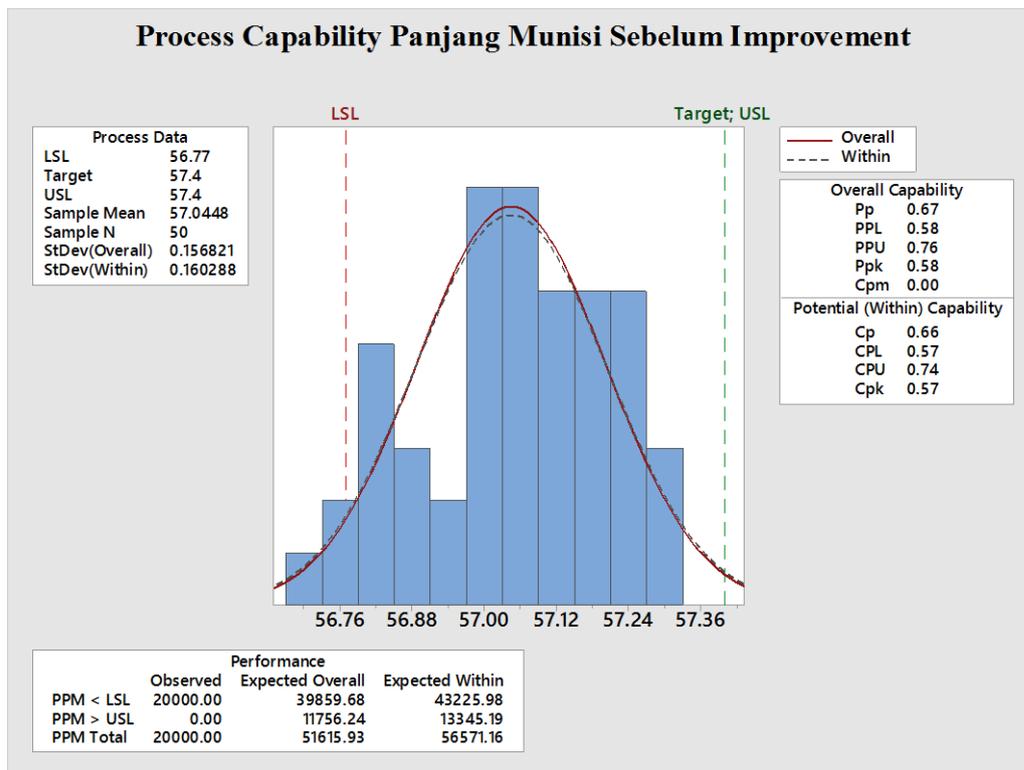


Gambar 4. 4 Uji Normalitas Data Panjang Munisi Sebelum *Improvement* (sumber: hasil perhitungan)

Berdasarkan hasil uji normalitas data tersebut, untuk berat munisi memiliki P-value 0,076 dan panjang munisi memiliki P-value $> 0,150$ dimana kedua nilai tersebut lebih besar dari *confidence level* 0,05. Jadi dapat disimpulkan bahwa kedua data tersebut berdistribusi normal. Artinya data tersebut memiliki sebaran data yang merata dan dapat mewakili populasi munisi pada lini penyusunan munisi MU5-TJ. Selanjutnya dibuat *process capability* untuk berat munisi dan panjang munisi dengan menggunakan *software minitab 17*. *Process capability* untuk berat munisi dan panjang munisi masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 *Process Capability* Berat Munisi Sebelum *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

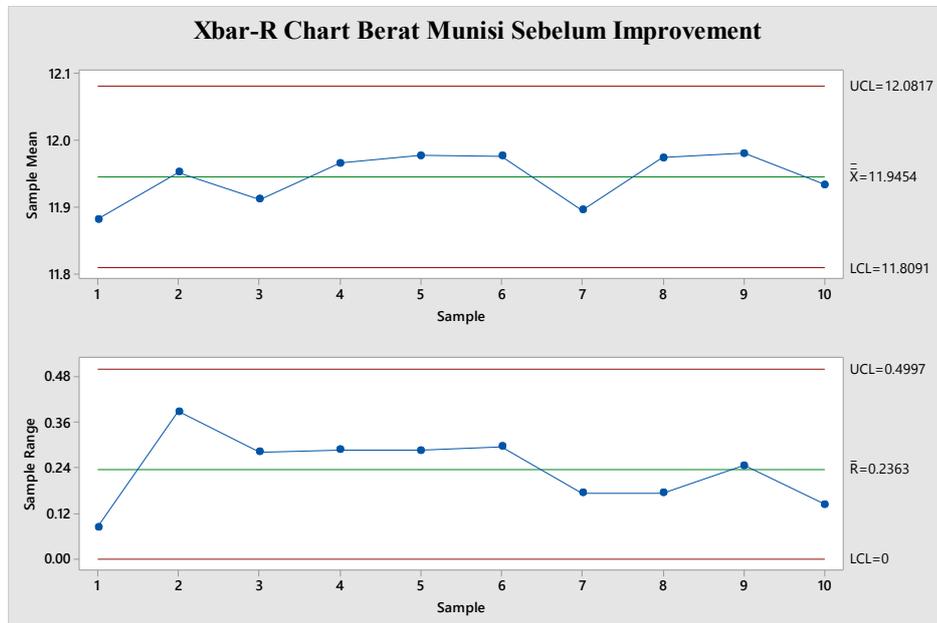


Gambar 4. 6 *Process Capability* Panjang Munisi Sebelum *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

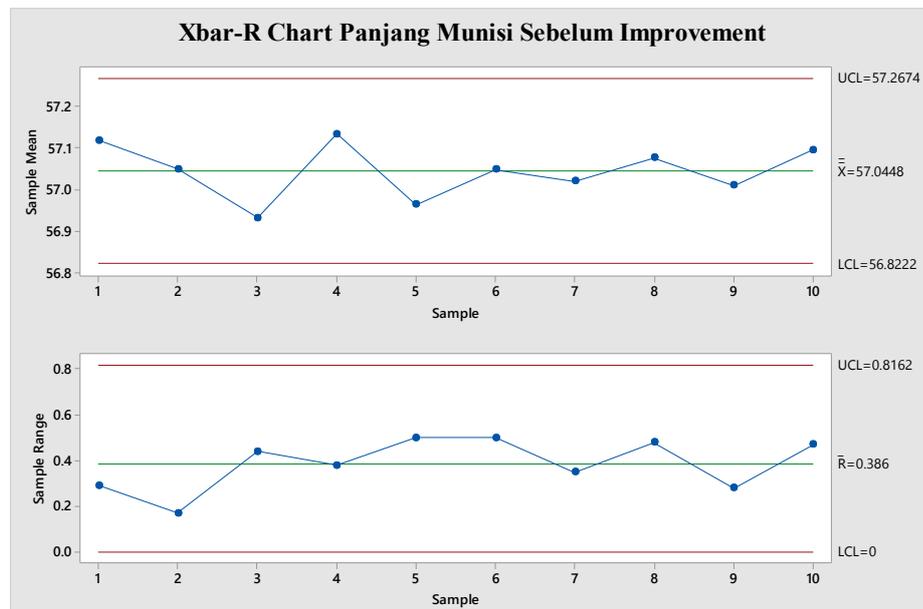
Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 di atas, dapat dilihat bahwa bentuk histogram pada proses tersebut lebar, khususnya pada *process capability* panjang munisi yang dapat diartikan bahwa proses ini memiliki banyak variasi dan proses yang dihasilkan berjalan dengan kurang sesuai. Nilai Cp pada panjang munisi yaitu sebesar 0,66 daengan nilai Cpk sebesar 0,57, mengindikasikan bahwa proses memiliki kapabilitas yang kurang baik dan tidak mendekati target (kepresisian dan keakurasian proses kurang baik). Kedua *process capability* tersebut pada tahap selanjutnya akan dibandingkan dengan *process capability* setelah dilakukan *improvement*, sehingga dapat diketahui apakah ada peningkatan terhadap kemampuan proses.

Selanjutnya, pada tahap ini dibuat *control chart* untuk berat munisi dan panjang munisi menggunakan Xbar-Rchart dengan menggunakan *software*

minitab 17. Hasil *control chart* yang didapatkan, ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4. 7 *Control Chart* Berat Munisi Sebelum *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)



Gambar 4. 8 *Control Chart* Panjang Munisi Sebelum *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan Gambar 4.7 dan 4.8 di atas semua proses dapat dikatakan terkendali secara statistik (*in statistical control*). Selisih nilai UCL dan LCL untuk berat munisi yaitu sebesar 0,2726, sedangkan selisih nilai UCL dan LCL untuk panjang munisi yaitu sebesar 0,4452. Selisih nilai tersebut akan dibandingkan pada tahap selanjutnya dengan selisih nilai pada *control chart* setelah *improvement* sehingga dapat diketahui berdasarkan *control chart* tersebut apakah variasi proses berkurang yang mengindikasikan proses lebih seragam.

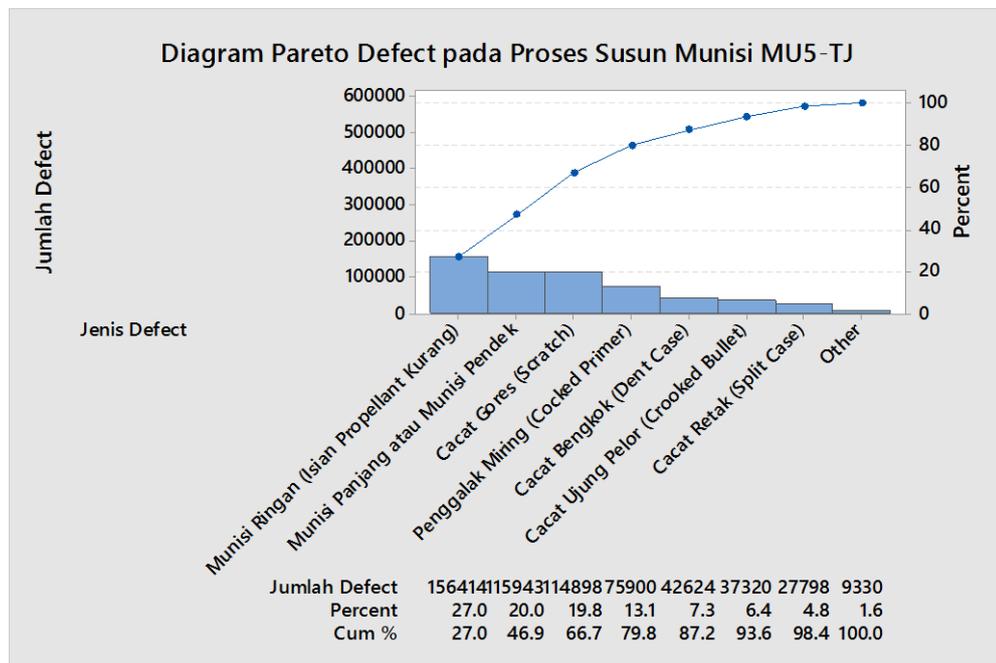
4.3 Tahap *Analyze*

Pada tahap ini dilakukan analisis jenis dan penyebab cacat yang berpengaruh signifikan terhadap masalah kualitas. Langkah pertama yaitu dengan mengelompokkan jenis-jenis *defect* yang terjadi pada lini penyusunan munisi MU5-TJ selama periode Bulan Januari sampai dengan Agustus 2019. Data yang didapatkan terkait dengan jenis-jenis *defect* yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 4.3 di bawah ini. Selanjutnya diagram pareto untuk keseluruhan jenis *defect* yang terjadi pada lini penyusunan munisi MU5-TJ ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4. 3 Jenis *Defect* Lini Penyusunan MU5-TJ

No	Jenis <i>Defect</i>	Jumlah <i>Defect</i> (Butir)	Proporsi (%)
1.	Munisi Panjang atau Munisi Pendek	115,943	19.98%
2.	Munisi Ringan (Isian <i>Propellant</i> Kurang)	156,414	26.96%
3.	Cacat Gores (<i>Scratch</i>)	114,898	19.80%
4.	Cacat Retak (<i>Split Case</i>)	27,798	4.79%
5.	Cacat Bengkok (<i>Dent Case</i>)	42,624	7.35%
6.	Penggalak Miring (<i>Cocked Primer</i>)	75,900	13.08%
8.	Pelor Retak (<i>Split Bullet</i>)	9,330	1.61%
9.	Cacat Ujung Pelor (<i>Crooked Bullet</i>)	37,320	6.43%
Jumlah		580,227	100%

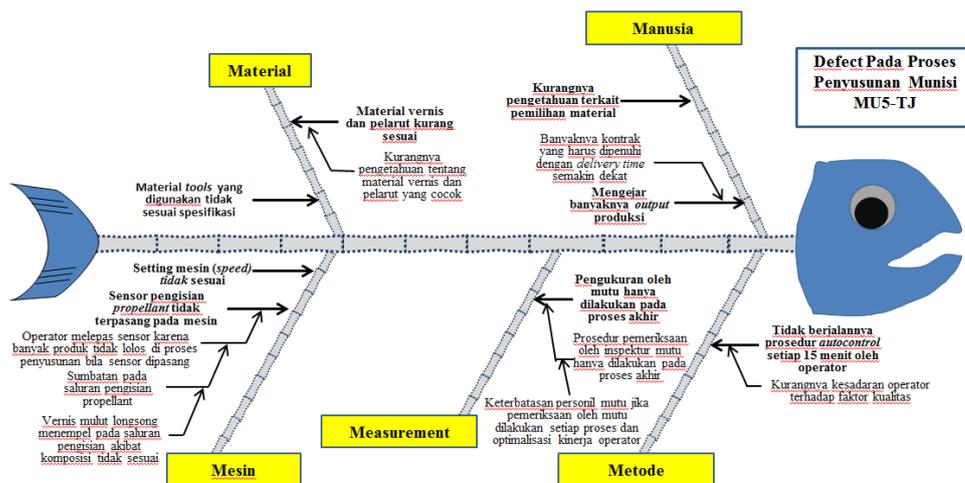
Sumber : PT. Pindad



Gambar 4. 9 Diagram Pareto Jenis *Defect* Lini Penyusunan Munisi MU5-TJ (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan diagram pareto pada Gambar 4.9 tersebut di atas dapat dilihat bahwa berat munisi ringan (isian *propellant* kurang) memegang proporsi *defect* terbesar yaitu sebesar 27 %. Selanjutnya munisi panjang atau pendek memegang proporsi sebanyak 20% dari keseluruhan jenis *defect* pada munisi MU5-TJ. Hal ini berarti sebesar 46,9% dari jenis *defect* tersebut berada pada proses timbang dan mal. Sementara itu, *defect* pada proses visual memiliki proporsi sebesar 31,94% yang terdiri dari munisi cacat gores (*scratch*) sebesar 19,8%, munisi cacat bengkok (*dent*) sebesar 7,35% , dan munisi cacat retak (*split*) sebesar 4,79%. Selanjutnya *defect* pada proses pasang, vernis , dan kukuh penggalak berupa penggalak miring (*cocked primer*) memegang proporsi sebesar 13,1% dan *defect* pada proses pengisian *propellant*, susun munisi, dan kukuh leher yaitu sebesar 8,04% terdiri dari cacat ujung pelor (*crooked bullet*) sebesar 6,43 % dan pelor retak (*split bullet*) sebesar 1,61%.

Selanjutnya, penentuan faktor penyebab cacat, khususnya pada proses timbang dan mal serta visual dimana memiliki proporsi *defect* terbesar, dilakukan dengan *interview* dan *brainstorming* terhadap manager dan staff lapangan terkait. Kemudian hasil dari *interview* dan *brainstorming* dengan manager dan staff lapangan terkait digambarkan dalam *Fishbone Diagram* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Fish Bone Diagram (sumber : hasil analisis)

Berdasarkan *Fishbone Diagram* di atas, staff ahli dan manager lapangan terkait menyimpulkan terdapat beberapa *critical factor* yang menyebabkan terjadinya *defect* terutama pada proses timbang dan mal serta visual. Faktor-faktor tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini

Tabel 4. 4 *Critical Factor Defect Munisi MU5-TJ*

No	<i>Critical Factor</i>
1.	Setting mesin
2.	Keberadaan sensor isian
3.	Komposisi vernis mulut longsong
4.	Material perkakas atau tools
5.	Metode inspeksi

Sumber : Hasil Analisis

Penjelasan untuk masing-masing *critical factor* sesuai dengan Tabel 4.4 tersebut yaitu sebagai berikut :

1. *Setting* Mesin

Pada proses pengisian *propellant*, susun munisi, dan kukuh leher terdapat adanya kemungkinan terjadinya *defect* pada proses timbang dan mal yaitu terkait pengaturan *speed*. Menurut staff ahli dan manager lapangan terkait, kecepatan mesin dapat berpengaruh pada isian *propellant*. *Speed* mesin yang terlalu cepat dapat menyebabkan *propellant* yang masuk ke dalam munisi tidak sesuai jumlah isian yang dipersyaratkan sehingga tentunya berpengaruh pada berat munisi secara keseluruhan .

2. Keberadaan Sensor Isian

Sensor isian dalam hal ini seharusnya terpasang pada mesin pengisian *propellant*, susun munisi, dan kukuh leher. Fungsi sensor ini yaitu untuk mendeteksi jumlah isian *propellant* pada munisi sehingga munisi yang tidak terisi *propellant* atau kurang isian tidak sampai pada proses susun munisi dalam hal ini artinya tidak sampai pada proses pemasangan proyektil, sehingga dapat dilakukan *rework* sebelum berlanjut ke proses timbang dan mal. Apabila munisi yang tidak terisi *propellant* atau kurang isian masuk pada proses timbang dan mal tentunya akan berpengaruh terhadap *cost of defective product*.

3. Komposisi Vernis Mulut Longsong

Berdasarkan hasil *interview* dengan staff ahli dan manager lapangan terkait, komposisi vernis mulut longsong yang kurang sesuai merupakan faktor yang mendasari adanya sumbatan pada saluran pengisian *propellant*. Dalam hal ini vernis mulut longsong yang kurang kering pada permukaan atau vernis yang masih lembab dapat mengotori saluran pengisian *propellant* sehingga terjadi penyumbatan pada saluran pengisian *propellant*. Penyumbatan tersebut menyebabkan *propellant* tidak dapat turun atau masuk sepenuhnya ke dalam badan longsong

sehingga terjadi kurang isian propellant pada munisi. Selain itu, vernis mulut longsong juga berpengaruh pada proses pemasangan pelor. Ketika vernis yang dipakai terlalu lembab atau kurang kering, hal ini dapat berakibat kurangnya kuat tarik pelor, sehingga pelor atau proyektil berpotensi untuk cenderung masuk atau tertarik ke dalam longsong atau kurang masuk dalam longsong, sehingga pada akhirnya menghasilkan panjang munisi yang tidak sesuai persyaratan. Vernis mulut longsong terbuat dari aspal atau bituminlak yang dilarutkan dengan pelarut tertentu sehingga menghasilkan vernis mulut longsong sesuai dengan spesifikasi yang dijelaskan dalam Tabel 4. 5

Tabel 4. 5 Spesifikasi Vernis Mulut Longsong

No	Jenis Tes	Spesifikasi
1.	Tes kecepatan kering	5 menit kering permukaan 15 menit kering sentuh 120 menit tahan gores
2.	Tes lengket	Ketika sejumlah kecil vernis dioleskan pada dua jari, dalam waktu 5 menit harus tidak lengket

Sumber : PT. Pindad

4. Material Perkakas atau *Tools*

Berdasarkan hasil *interview* dengan staff ahli dan manager lapangan terkait, material perkakas atau *tools* yang dipakai dalam proses penyusunan munisi, khususnya *tools* yang terdapat pada proses pemasangan proyektil dapat berpotensi terhadap terjadinya cacat gores atau *scratch* pada badan munisi. Hal ini dapat disebabkan karena sifat kekerasan atau tegangan tarik dari *tools* tersebut ketika bergesekan langsung dengan munisi. Jenis material perkakas atau *tools* yang digunakan pada proses penyusunan munisi juga berpengaruh terhadap indeks kebutuhan *tools* tersebut yang dinyatakan dalam kebutuhan *tools*

per satu juta butir munisi dimana setiap jenis material *tools* tersebut memiliki masa penggantian yang berbeda-beda

5. Metode Inspeksi

Metode inspeksi yang dimaksud dalam penelitian ini yaitu metode *autocontrol* oleh operator. Berdasarkan hasil *interview* dengan staff ahli dan manager lapangan terkait, prosedur *autocontrol* setiap 15 menit sekali oleh operator sesuai dengan peraturan yang berlaku di PT. Pindad (Skep/5/P/BD/VIII/2015) belum dijalankan secara optimal oleh operator. Sebelumnya adanya peraturan tersebut, metode inspeksi dilakukan secara patroli pada setiap lini proses oleh *Quality Control*. Namun, karena semakin terbatasnya jumlah personil QC bila dilakukan pemeriksaan pada setiap proses, sehingga dalam peraturan baru pemeriksaan lini proses dilakukan secara *autocontrol* oleh operator. Hal tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa kualitas merupakan tanggung jawab bersama dan pemeriksaan setiap 15 menit oleh operator seharusnya lebih memberikan hasil yang efektif mengingat operator selalu *stand by* pada mesin yang sama.

4.4 Tahap *Improve*

Pada tahap ini dilakukan perbaikan terhadap permasalahan kualitas. Dalam melakukan perbaikan terhadap permasalahan kualitas, sebelumnya telah dilakukan analisa terhadap faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap produk *defect* sebagaimana telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya.

Dari lima faktor tersebut, kemudian dilakukan pengujian terhadap *defect* pada proses terkait menggunakan metode statistika *chi-square*. Pengujian *chi-square* dilakuakn untuk meyakinkan apakah terdapat hubungan yang signifikan antara *critical factor* tersebut dengan *defect* pada proses terkait.

4.4.1 Pengujian Setting Mesin

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data *defect* yang dihasilkan pada proses timbang dan mal khususnya *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada saat setting *speed* untuk mesin pengisian *propellant* 120 rpm ; 95 pm ; dan 80 rpm selama 3 hari. Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis diantaranya :

H_0 : Tidak terdapat perbedaan antara setting mesin dengan *speed* 120 rpm ; 95 rpm ; dan 80 rpm terhadap terjadinya *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada proses timbang dan mal

H_1 : Terdapat perbedaan antara setting mesin dengan *speed* 120 rpm ; 95 rpm ; dan 80 rpm terhadap terjadinya *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada proses timbang dan mal

Hasil dari pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan hasil dari pengujian *chi-square* ditunjukkan pada Tabel 4. 7

Tabel 4. 6 Data *Defect* yang Dipengaruhi Faktor *Setting* Mesin

Setting Mesin	Output Product	Defect	Total
120 rpm	3648	78	3726
95 rpm	2845	54	2899
80 rpm	2385	48	2433

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian *Chi-Square Critical Factor* Setting Mesin

Setting Mesin	F_0		Total	F_h		<i>Chi-Square</i>		Total
	Output Product	Defect		Output Product	Defect	Output Product	Defect	
120 rpm	3648	78	3726	3651.96	74.04	0.00429	0.21	0.449
95 rpm	2845	54	2899	2841.39	57.61	0.00458	0.23	
80 rpm	2385	48	2433	2384.65	48.35	0.00005	0.00	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai Chi-square hitung $<$ nilai Chi-square tabel ($0,449 < 5,99$), sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak. Jadi, perbedaan *setting speed* mesin tidak berpengaruh terhadap *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada proses timbang dan mal. Pengujian *chi-square* dapat pula dilakukan dengan menggunakan *software minitab 17*, sehingga didapatkan nilai *p-value* tertentu dimana jika nilai *p-value* $<$ *confidence level* ($0,05$), maka H_0 ditolak yang berarti *critical factor* tersebut berpengaruh.

4.4.2 Pengujian Sensor Isian

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data *defect* yang dihasilkan pada proses timbang dan mal khususnya *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada saat sensor isian terpasang dan tidak terpasang selama 3 hari. Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis diantaranya :

H_0 : Tidak terdapat perbedaan antara sensor isian terpasang dan sensor isian tidak terpasang terhadap terjadinya *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada proses timbang dan mal

H_1 : Terdapat perbedaan antara sensor isian terpasang dan sensor isian tidak terpasang terhadap terjadinya *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada proses timbang dan mal

Hasil dari pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan hasil dari pengujian *chi-square* ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4. 8 Data *Defect* yang Dipengaruhi Faktor *Sensor Isian*

Sensor Isian	Output Product	Defect	Total
Terpasang	3645	74	3719
Tidak Terpasang	3550	48	3598

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian *Chi-Square Critical Factor* Sensor Isian

Sensor Isian	F ₀		Total	F _h		Chi-Square		Total
	Output Product	Defect		Output Product	Defect	Output Product	Defect	
Terpasang	3645	74	3719	3656.99	62.01	0.0393	2.32	4.796
Tidak Terpasang	3550	48	3598	3538.01	59.99	0.0406	2.40	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *Chi-square* hitung > nilai *Chi-square* tabel ($4,796 < 3,84$), sehingga dapat disimpulkan bahwa H₀ ditolak dan H₁ diterima. Jadi, keberadaan sensor isian berpengaruh terhadap *defect* munisi ringan (isian *propellant* kurang) pada proses timbang dan mal.

4.4.3 Pengujian Komposisi Vernis

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data *defect* yang dihasilkan pada proses timbang dan mal secara keseluruhan (*defect* munisi ringan atau isian *propellant* kurang, *defect* munisi panjang, dan *defect* munisi pendek) dengan menggunakan komposisi vernis mulut longsong sesuai dengan Tabel 4.10 selama 3 hari.

Tabel 4. 10 Komposisi Vernis Mulut Longsong

Komposisi	Asphalt (%)	Bitumen Oil (%)	Thinner A (%)	Thinner Lacquer (%)	SBP (%)	Ethyl Acetate (%)
1	79,5	-	-	-	18	2,5
2	-	80	20	-	-	-
3	-	90	-	10	-	-

Sumber : Hasil Penelitian

Komposisi 1 dalam Tabel 4.10 di atas merupakan komposisi *existing* dari vernis mulut longsong. Mengingat vernis tersebut menyumbat saluran pengisian *propellant*, maka dalam penelitian ini dilakukan perubahan komposisi vernis

dengan menggunakan *solvent* dan *raw material* vernis yang lebih sesuai yang ditunjukkan pada komposisi 2 dan komposisi 3.

Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis diantaranya :

H_0 : Tidak terdapat perbedaan antara komposisi vernis 1, komposisi vernis 2, dan komposisi vernis 3 terhadap terjadinya *defect* pada proses timbang dan mal

H_1 : Terdapat perbedaan antara komposisi vernis 1, komposisi vernis 2, dan komposisi vernis 3 terhadap terjadinya *defect* pada proses timbang dan mal

Hasil dari pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan hasil dari pengujian *chi-square* ditunjukkan pada Tabel 4.12

Tabel 4. 11 Data *Defect* yang Dipengaruhi Faktor Komposisi Vernis

Komposisi Vernis	<i>Output Product</i>	<i>Defect</i>	Total
Komposisi 1	1848	58	1906
Komposisi 2	1756	44	1800
Komposisi 3	1795	32	1827

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian *Chi-Square Critical Factor* Komposisi Vernis

Komposisi Vernis	F_0		Total	F_h		<i>Chi-Square</i>		Total
	<i>Output Product</i>	<i>Defect</i>		<i>Output Product</i>	<i>Defect</i>	<i>Output Product</i>	<i>Defect</i>	
Komposisi 1	1848	58	1906	1859.84	46.16	0.07537	3.04	6.590
Komposisi 2	1756	44	1800	1756.41	43.59	0.00009	0.0038	
Komposisi 3	1795	32	1827	1782.75	44.25	0.08413	3.39	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *Chi-square* hitung > nilai *Chi-square* tabel ($6,590 < 5,99$), sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi, komposisi vernis berpengaruh terhadap *defect* pada proses timbang dan mal secara keseluruhan (*defect* munisi ringan atau isian *propellant* kurang, *defect* munisi panjang, dan *defect* munisi pendek).

4.4.4 Pengujian Material Perkakas atau *Tools*

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data *defect* yang dihasilkan pada proses visual munisi (cacat gores, cacat retak, dan cacat bengkok) dengan menggunakan poci susun munisi yang terbuat dari tiga jenis *raw material* yaitu Hartmetall, JIS SKD 11, dan 90 MnCr selama 3 hari.

Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis diantaranya :

H_0 : Tidak terdapat perbedaan antara material perkakas Hartmetall, JIS SKD 11, dan 90 MnCr 3 terhadap terjadinya *defect* pada proses visual (cacat gores, cacat retak, dan cacat bengkok).

H_1 : Terdapat perbedaan antara material perkakas Hartmetall, JIS SKD 11, dan 90 MnCr terhadap terjadinya *defect* pada proses visual (cacat gores, cacat retak, dan cacat bengkok).

Hasil dari pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan hasil dari pengujian *chi-square* ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 13 Data *Defect* yang Dipengaruhi Faktor Material Perkakas

Material Perkakas	Output Product	Defect	Total
Hartmetall	558	15	573
JIS SKD 11	635	25	660
90 MnCr	549	32	581

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian *Chi-Square Critical Factor* Material Perkakas

Material Perkakas	F_0		Total	F_h		<i>Chi-Square</i>		Total
	Output Product	Defect		Output Product	Defect	Output Product	Defect	
Hartmetall	558	15	573	550.26	22.74	0.10896	2.64	6.411
JIS SKD 11	635	25	660	633.80	26.20	0.00226	0.05	
90 MnCr	549	32	581	557.94	23.06	0.14323	3.47	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *Chi-square* hitung > nilai *Chi-square* tabel ($6,411 < 5,99$), sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0

ditolak dan H_1 diterima. Jadi, *raw material* perkakas berpengaruh terhadap *defect* pada proses visual (cacat gores, cacat retak, dan cacat bengkok).

4.4.5 Pengujian Metode Inspeksi

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data *defect* yang dihasilkan pada proses timbang dan mal secara keseluruhan (*defect* munisi ringan atau isian *propellant* kurang, *defect* munisi panjang, dan *defect* munisi pendek) dengan menerapkan tiga jenis metode inspeksi atau pemeriksaan selama 3 hari. Tiga metode tersebut, diantaranya :

1. Tanpa *autocontrol* oleh operator dan patroli oleh inspektur mutu pada proses penyusunan munisi (hanya pemeriksaan produk akhir oleh inspektur mutu)
2. Patroli pemeriksaan pada proses penyusunan munisi oleh inspektur mutu setiap 2 jam
3. *Autocontrol* oleh operator setiap 15 menit sekali

Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis terkait metode pemeriksaan atau inspeksi tersebut, diantaranya :

H_0 : Tidak terdapat perbedaan antara metode inspeksi 1, metode inspeksi 2, dan metode inspeksi 3 terhadap terjadinya *defect* pada proses timbang dan mal

H_1 : Terdapat perbedaan antara metode inspeksi 1, metode inspeksi 2, dan metode inspeksi 3 terhadap terjadinya *defect* pada proses timbang dan mal

Hasil dari pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.15 dan hasil dari pengujian *chi-square* ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 15 Data *Defect* yang Dipengaruhi Faktor Metode Inspeksi

Metode Inspeksi	<i>Output Product</i>	<i>Defect</i>	Total
Metode 1	2755	83	2838
Metode 2	2845	64	2909
Metode 3	2695	53	2748

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian *Chi-Square Critical Factor* Material Perkakas

Metode Inspeksi	F ₀		Total	F _h		Chi-Square		Total
	Output Product	Defect		Output Product	Defect	Output Product	Defect	
Metode 1	2755	83	2838	2771.18	66.82	0.0945	3.92	6.482
Metode 2	2845	64	2909	2840.51	68.49	0.0071	0.29	
Metode 3	2695	53	2748	2683.30	64.70	0.0510	2.11	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *Chi-square* hitung > nilai *Chi-square* tabel ($6,482 < 5,99$), sehingga dapat disimpulkan bahwa H₀ ditolak dan H₁ diterima. Jadi, metode inspeksi berpengaruh terhadap *defect* pada proses timbang dan mal secara keseluruhan (*defect* munisi ringan atau isian *propellant* kurang, *defect* munisi panjang, dan *defect* munisi pendek).

4.4.6 Hasil Pengujian Faktor Penyebab *Defect*

Hasil pengujian untuk masing-masing *critical factor* penyebab *defect* pada proses timbang dan mal serta visual dengan pengujian *chi-square*, ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Critical Factor Penyebab Defect

Faktor Penyebab Defect	Chi-Square Hitung	Chi-Square Tabel	P-Value (Pearson)	Hasil	Keterangan
Setting Mesin	0,449	5,99	0,799	Terima H ₀	Tidak Signifikan
Keberadaan Sensor Isian	4,796	3,84	0,039	Tolak H ₀	Signifikan
Komposisi Vernis	6,590	5,99	0,037	Tolak H ₀	Signifikan
Material Perkakas	6,411	5,99	0,041	Tolak H ₀	Signifikan
Metode Inspeksi	6,482	5,99	0,029	Tolak H ₀	Signifikan

Sumber: Hasil Pengamatan

Berdasarkan Tabel 4.17 di atas, dapat dilihat bahwa terdapat empat faktor yang berpengaruh signifikan terhadap munculnya *defect* pada proses penyusunan munisi MU5-TJ, khususnya proses timbang dan mal serta visual diantaranya keberadaan sensor isian, komposisi vernis mulut langsung, material perkakas atau *tools*, dan metode inspeksi. Nilai p-value pada tabel tersebut didapatkan dengan menggunakan *software minitab 17*.

4.4.7 Implementasi *Improvement*

Implementasi perbaikan di penyusunan munisi kaliber 5,56 mm khususnya varian MU5-TJ dilakukan selama lima bulan dimulai pada Bulan September 2019 sampai dengan Bulan Januari 2020. Perbaikan tersebut diantaranya

1. Pemasangan sensor isian *propellant* pada mesin susun munisi

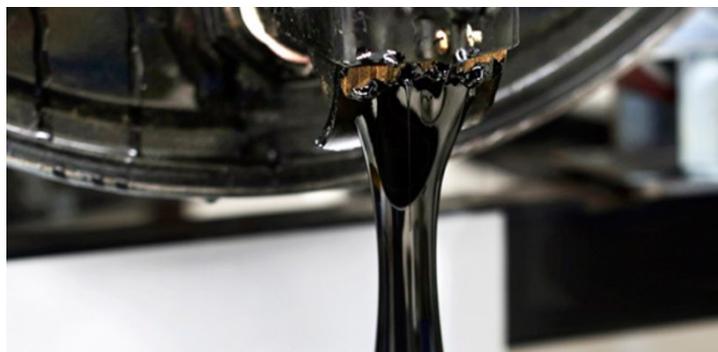
Pemasangan sensor pengisian *propellant* pada mesin susun munisi sangat diperlukan. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa sensor tersebut berfungsi untuk mencegah adanya munisi yang kurang isian atau tidak terisi *propellant* masuk dalam lini proses selanjutnya yaitu proses pemasangan proyektil, terlebih lagi jika sampai masuk ke lini proses timbang dan mal karena hal tersebut akan menambah besarnya *cost of defective* dimana apabila munisi telah tersusun seluruh komponennya secara lengkap, maka tidak mungkin dapat *diwork* kembali karena perbedaan kuat tarik proyektil. Gambar 4.11 di bawah ini merupakan mesin susun munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ yang telah dilengkapi dengan sensor pengisian *propellant*.



Gambar 4. 11 Mesin Susun Munisi

2. Perubahan komposisi vernis mulut longsong

Komposisi vernis mulut longsong menggunakan komposisi 3 dimana merupakan paduan raw material dan solvent yang lebih baik, sehingga menghasilkan vernis yang cepat kering pada permukaan, namun kelembaban di dalamnya tetap terjaga sesuai dengan spesifikasi yang terdapat pada Tabel 4.5. Hal tersebut meminimalisir terjadinya sumbatan pada saluran pengisian propellant serta memperbaiki kuat tarik proyektil pada badan munisi sehingga meminimalisir terjadinya panjang munisi yang tidak sesuai. Vernis bituminlak yang digunakan pada mulut longsong dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Vernis Bituminlak untuk Mulut Longsong

3. Penggunaan perkakas atau *tools* yang terbuat dari Hartmetall

Dengan menggunakan *tools* yang terbuat dari Hartmetall, akan lebih meminimalisir terjadinya cacat retak, cacat bengkok, dan cacat gores ketika *tools* bergesekan langsung dengan munisi karena memiliki sifat kekerasan dan tegangan tarik yang lebih sesuai. Selain itu, indeks kebutuhan untuk material perkakas yang terbuat dari Hartmetall memiliki masa penggantian material yang paling lama dibandingkan material *tools* susun munisi lainnya. *Tools* hartmetall untuk mesin susun munisi ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Perkakas Hartmetall untuk Proses Susun Munisi

4. Autocontrol oleh operator produksi setiap 15 menit

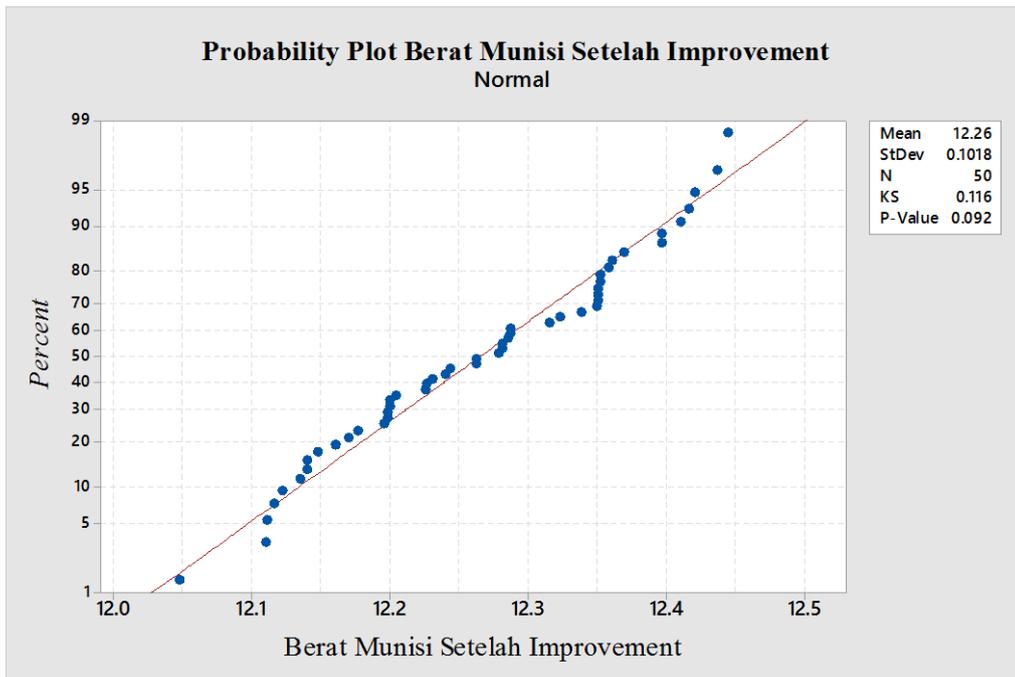
Berjalannya pemeriksaan *autocontrol* setiap 15 menit oleh operator akan meminimalisir terjadinya *defect* karena potensi *defect* pada setiap proses lebih terpantau, sehingga jika didapatkan *defect* pada berat ataupun panjang munisi yang cukup besar dalam waktu tersebut, maka proses dapat dihentikan sementara untuk mengatasi akar penyebabnya, sehingga lebih jauh lagi dapat mengurangi *cost of defecive product*. *Autocontrol* yang telah dilakukan oleh operator setiap 15 menit sekali dengan melakukan pengukuran berat dan panjang munisi ditunjukkan pada Gambar 4.14.



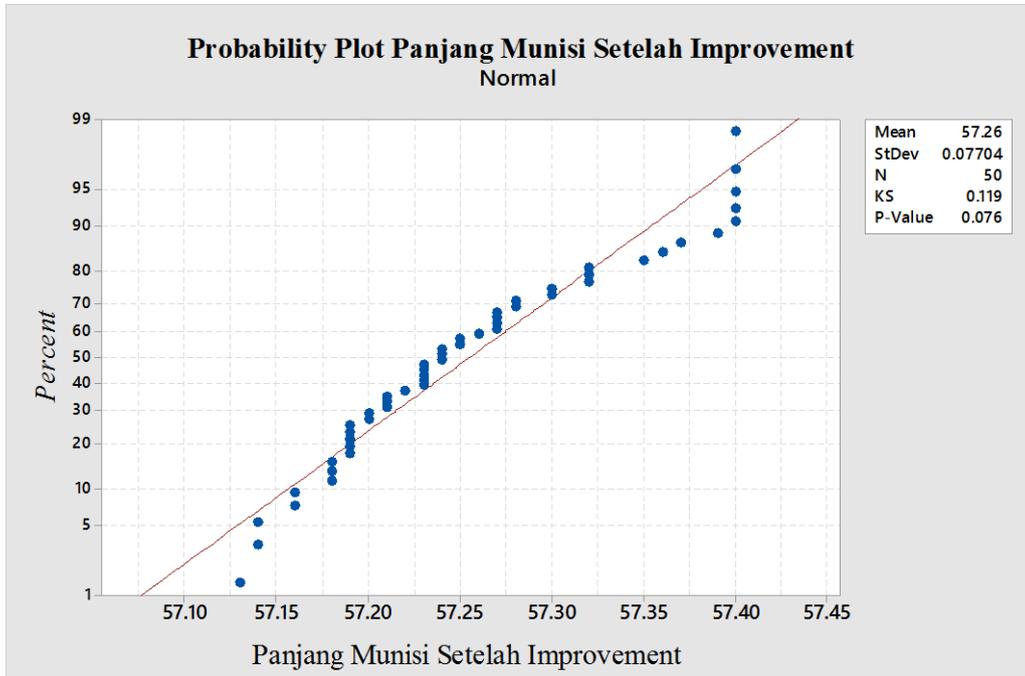
Gambar 4. 14 Pemeriksaan *Autocontrol* oleh Operator

4.4.8 Hasil *Improvement*

Pengukuran dengan menggunakan *process capability* dan *control chart* pada tahap *improvement* dilakukan untuk mengetahui apakah tingkat kemampuan proses dalam pencapaian target kualitas mengalami peningkatan serta apakah menghasilkan proses yang lebih stabil dan lebih kecil variasinya jika dibandingkan dengan keadaan sebelum *improvement* yang terdapat dalam tahap *measure*. Dalam hal ini, akan dibandingkan *process capability* dan *control chart* untuk berat munisi dan panjang munisi sebelum dan sesudah *improvement*. Uji normalitas data dilakukan untuk berat munisi dan panjang munisi dengan data sesuai dengan Lampiran 4. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



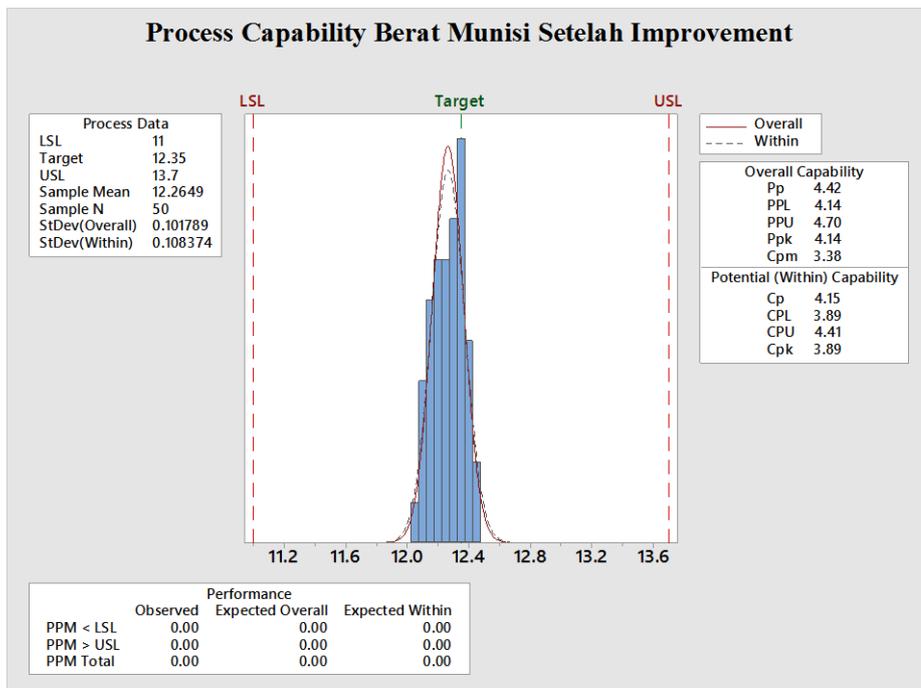
Gambar 4. 15 Uji Normalitas Data Berat Munisi Setelah Improvement (sumber : hasil perhitungan)



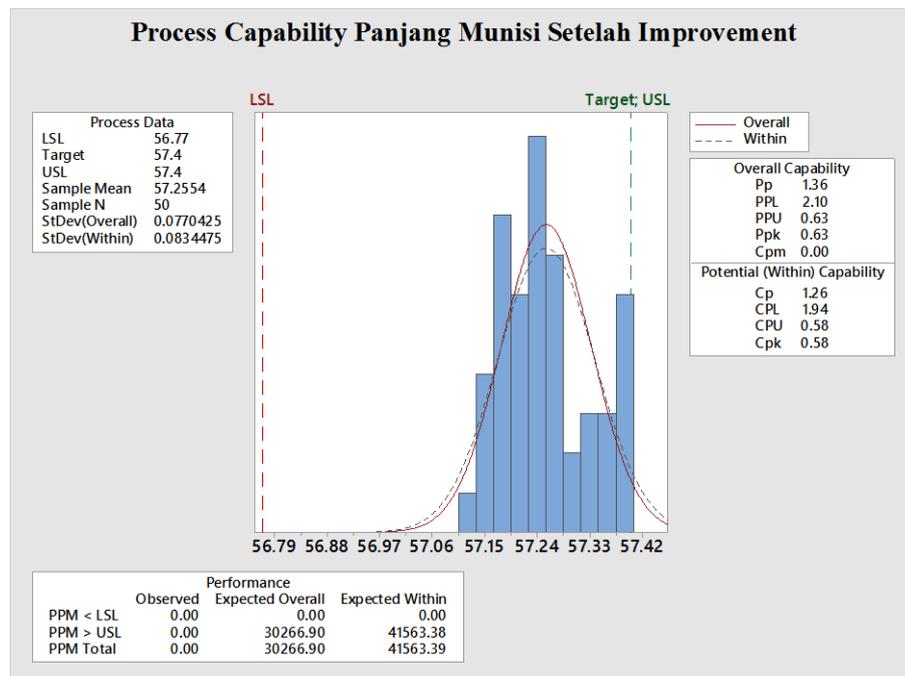
Gambar 4. 16 Uji Normalitas Data Panjang Munisi Setelah *Improvement* (sumber: hasil perhitungan)

Berdasarkan Gambar 4.15 dan 4.16 tersebut dapat dilihat bahwa data berdistribusi normal dimana memiliki $p\text{-value} > 0,05$. Jadi dapat disimpulkan bahwa kedua data tersebut berdistribusi normal. Artinya data tersebut memiliki sebaran data yang merata dan dapat mewakili populasi munisi pada lini penyusunan munisi MU5-TJ pada fase setelah *improvement*.

Selanjutnya dibuat *process capability* untuk berat munisi dan panjang munisi dengan menggunakan *software minitab 17*. *Process capability* untuk berat munisi dan panjang munisi masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.



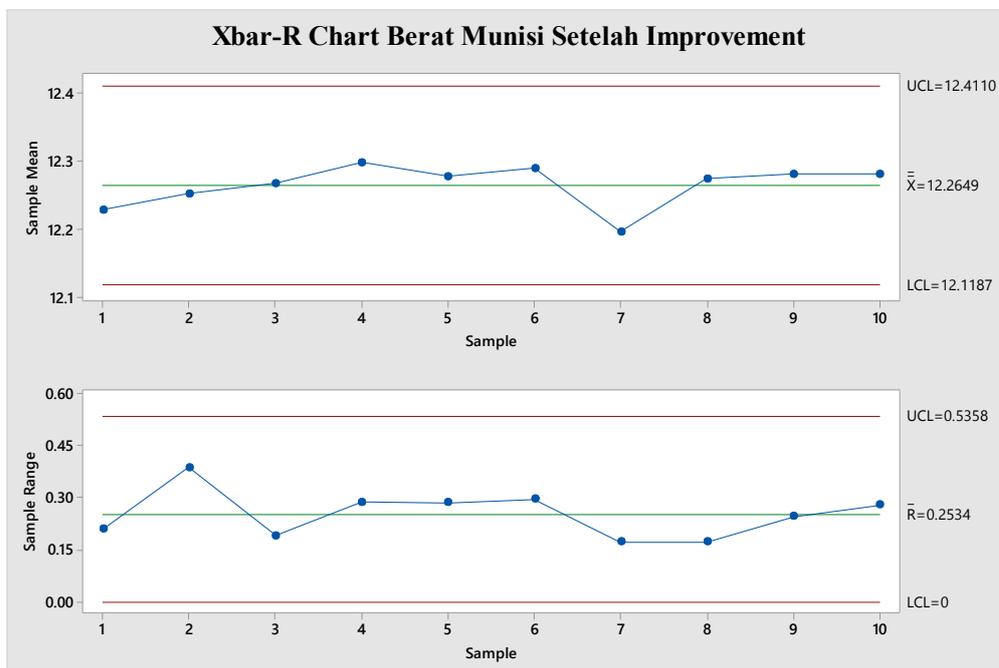
Gambar 4. 17 *Process Capability* Berat Munisi Setelah *Improvement*(sumber : hasil perhitungan)



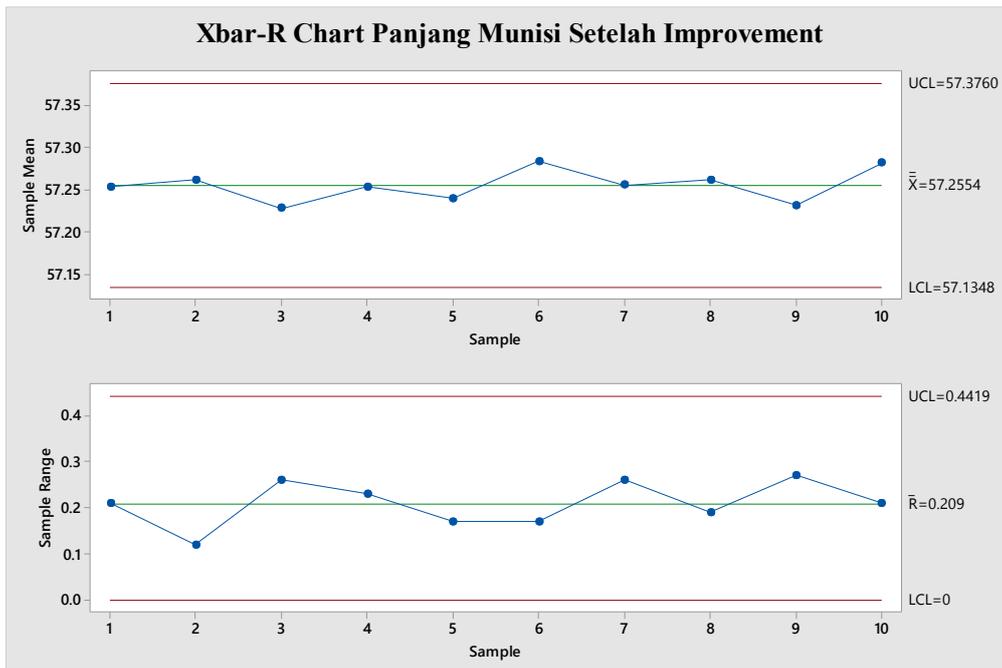
Gambar 4. 18 *Process Capability* Panjang Munisi Setelah *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 di atas, dapat dilihat bahwa bentuk histogram pada proses tersebut lebih sempit dibandingkan pada tahap sebelum dilakukan *improvement*. Pada *process capability* berat munisi didapatkan nilai $C_p = 4,15$ dan nilai $C_{pk} = 3,89$. Jika dibandingkan dengan tahap sebelum *improvement* dimana $C_p = 4,27$ dan nilai $C_{pk} = 2,99$, maka dapat dilihat bahwa kapabilitas proses pada fase setelah *improvement* lebih baik dimana menghasilkan sebaran dan keterpusatan data yang lebih baik yang mengindikasikan bahwa proses lebih akurat dan mendekati target yang ditandai dengan nilai C_{pk} yang lebih tinggi. Sementara itu berdasarkan Gambar 4.20, pada *process capability* panjang munisi didapatkan nilai $C_p = 1,26$ dan nilai $C_{pk} = 0,58$. Jika dibandingkan dengan tahap sebelum *improvement* dimana $C_p = 0,66$ dan nilai $C_{pk} = 0,57$, maka dapat dilihat bahwa kapabilitas proses pada fase setelah *improvement* jauh lebih baik ditandai dengan nilai C_p dan nilai C_{pk} yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa proses lebih presisi dan lebih akurat (mendekati target).

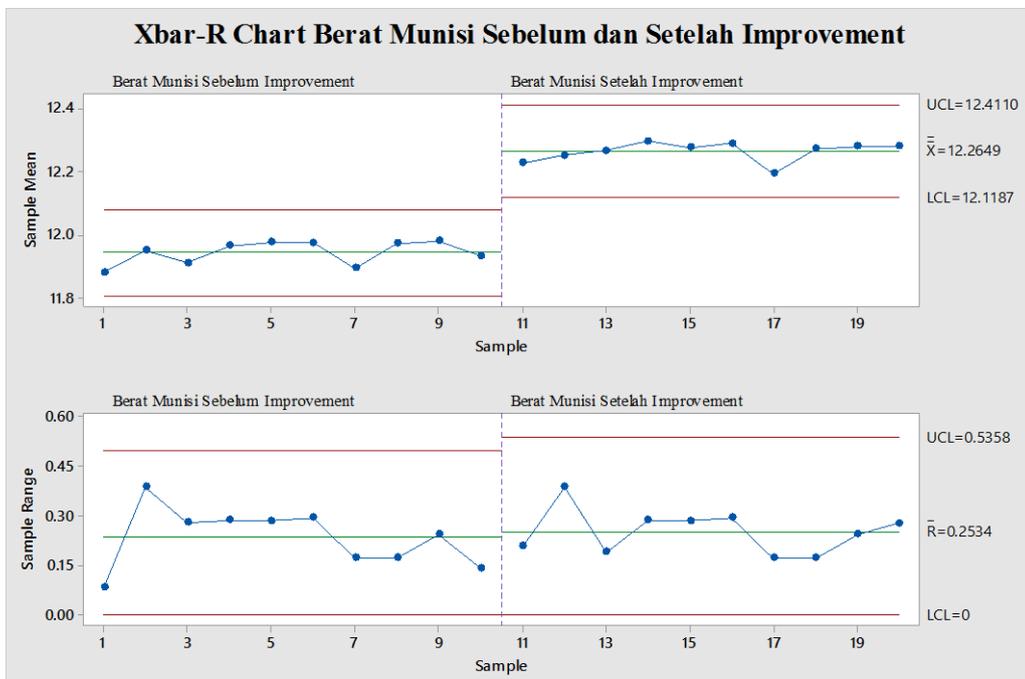
Selanjutnya, pada tahap ini juga dibuat *control chart* untuk berat munisi dan panjang munisi menggunakan Xbar-Rchart dengan menggunakan *software minitab 17*. Hasil *control chart* untuk berat munisi dan panjang munisi yang didapatkan, ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20. Selanjutnya, *control chart* untuk berat munisi dan panjang munisi pada fase sebelum *improvement* dan setelah *improvement* dibandingkan, dan didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22.



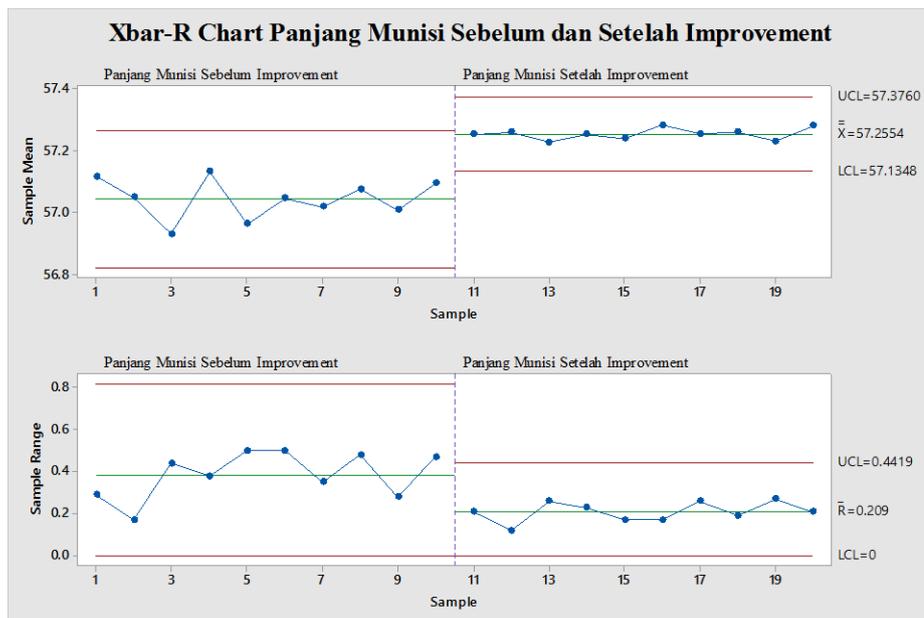
Gambar 4. 19 *Control Chart* Berat Munisi Setelah *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)



Gambar 4. 20 *Control Chart* Panjang Munisi Setelah *Improvement* (sumber: hasil perhitungan)



Gambar 4. 21 Perbandingan *Control Chart* Berat Munisi Sebelum dan Setelah *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)



Gambar 4. 22 Perbandingan *Control Chart* Panjang Munisi Sebelum dan Setelah *Improvement* (sumber : hasil perhitungan)

Berdasarkan *control chart* tersebut dapat dilihat bahwa keseluruhan proses terkendali secara statistik dimana pada fase setelah *improvement* menghasilkan proses yang lebih seragam. Hal ini dapat dilihat dari jarak UCL dan LCL pada fase setelah *improvement* lebih ketat, serta variasi yang berkurang yang menandakan bahwa proses setelah *improvement* lebih stabil. Perbandingan kondisi sebelum dan setelah *improvement* dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4. 18 Hasil *Improvement* Lini Proses Penyusunan MU5-TJ

Kondisi	Process Capability	Control Chart
Sebelum Improvement		
Berat Munisi	Cp = 4,27 Cpl = 2,99 Cpu = 5,55 Cpk = 2,99	UCL – LCL = 0,2726
Panjang Munisi	Cp = 0,66 Cpl = 0,57 Cpu = 0,74 Cpk = 0,57	UCL – LCL = 0,4452

Lanjutan Tabel 4. 19 Hasil *Improvement* Lini Proses Penyusunan MU5-TJ

Kondisi	Process Capability	Control Chart
Setelah Improvement		
Berat Munisi	Cp = 4,15 Cpl = 3,89 Cpu = 4,49 Cpk = 3,89	UCL – LCL = 0,2923
Panjang Munisi	Cp = 1,26 Cpl = 1,94 Cpu = 0,58 Cpk = 0,58	UCL – LCL = 0,2412

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil tersebut, untuk berat munisi nilai Cp sebelum dan setelah *improvement* tidak berbeda secara signifikan, namun perbedaan nilai Cpk dimana nilai Cpk setelah *improvement* lebih tinggi menandakan bahwa proses lebih mendekati nilai target atau memiliki tingkat akurasi yang lebih baik. Meski nilai Cp pada berat munisi sebelumnya sudah cukup baik, namun demikian berdasarkan data yang ada pada kenyataannya jenis *defect* terbesar pada lini penyusunan munisi adalah berat munisi yang tidak sesuai, sebagaimana digambarkan pada Diagram Pareto (Gambar 4.9). Hal ini memang bisa terjadi, karena dengan keterbatasan waktu yang ada, pemeriksaan berat munisi pada penelitian ini dilakukan dengan metode *sampling* dimana mengambil sampel secara *random* (tidak secara sensus dimana pemeriksaan dilakukan terhadap seluruh produk), sehingga pada saat pengambilan sampel sangat memungkinkan sampel yang diambil merupakan sampel yang memenuhi standar spesifikasi dan hal tersebut merupakan resiko dari metode *sampling* itu sendiri. Oleh sebab itu dalam penelitian ini, *process capability* hanya merupakan data pendukung untuk melihat gambaran secara singkat apakah *improvement* yang dilakukan memberikan hasil yang lebih baik. Sedangkan pada parameter panjang munisi sebelum dan setelah *improvement*, nilai Cp memiliki perbedaan yang signifikan dimana pada saat sebelum *improvement* nilai Cp pada panjang munisi yaitu sebesar 0,66 yang menunjukkan bahwa proses memiliki kapabilitas yang kurang baik, sedangkan setelah *improvement* nilai Cp menjadi 1,26 yang menunjukkan

bahwa kapabilitas proses menjadi lebih baik, meskipun nilai Cpk pada panjang munisi sebelum dan setelah *improvement* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Selanjutnya, jika ditinjau dari *control chart* baik pada panjang munisi maupun berat munisi, menunjukkan bahwa proses berlangsung dengan lebih stabil pada kondisi setelah dilakukan *improvement* yang ditandai dengan selisih nilai LCL dan UCL yang lebih ketat. Pada akhirnya, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa proses penyusunan munisi MU5-TJ setelah *improvement* menghasilkan produk dengan kualitas yang semakin baik jika dibandingkan dengan proses sebelum *improvement*.

4.5 Tahap Control

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *level sigma* setelah dilakukan *improvement (future sigma level)*, perhitungan asumsi biaya *improvement*, dan perhitungan *cost saving*.

4.5.1 Perhitungan Level Sigma Setelah Improvement

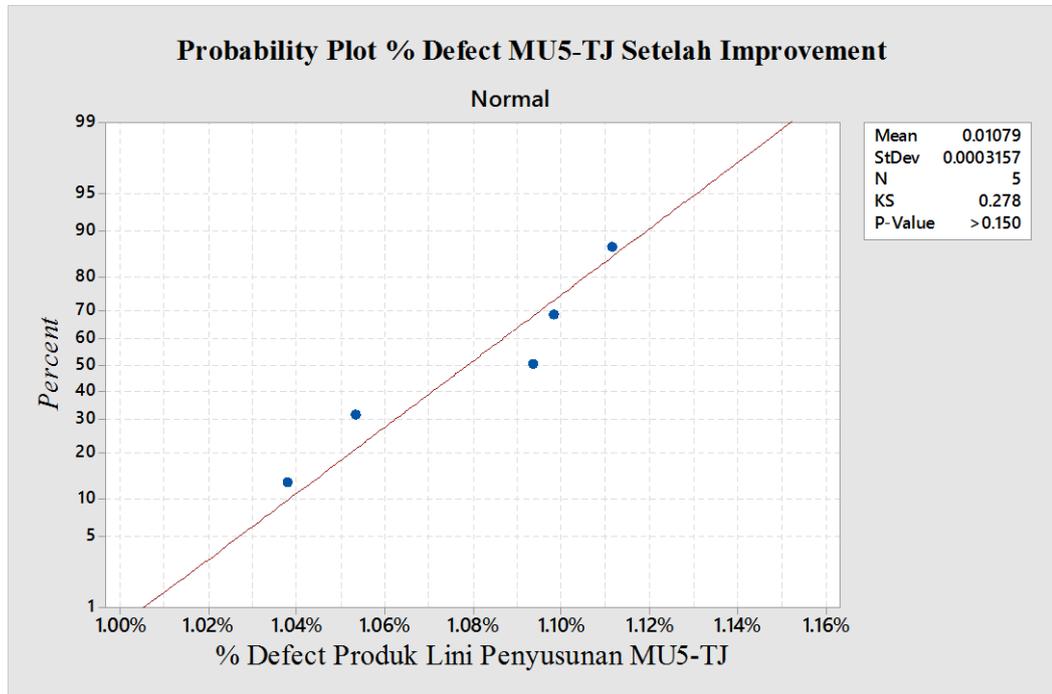
Berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran 2, data *defect* produk setelah dilakukan *improvement* yaitu terdapat pada Bulan September 2019 sampai dengan Januari 2020. Langkah awal, dilakukan uji normalitas data terlebih dahulu untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal. Jika data berdistribusi normal, maka dapat dikatakan bahwa data tersebut dapat mewakili keseluruhan data *defect* pada lini penyusunan MU5-TJ pada periode setelah *improvement*. Pengujian normalitas data dilakukan dengan *software minitab 17*. Dalam pengujian ini terdapat dua pernyataan hipotesis yaitu:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Dimana dalam pengujian ini daerah kritis untuk menolak H_0 yaitu melalui pendekatan $P\text{-value} < \alpha$, dengan nilai α (*confidence level*) sebesar 0,05 dengan

Hasil pengujian normalitas data ditunjukkan pada Gambar 4.23 di bawah ini.



Gambar 4. 23 Uji Normalitas Data *Defect* MU5-TJ Setelah *Improvement* (sumber: hasil perhitungan)

Berdasarkan hasil tersebut di atas didapatkan nilai $P\text{-value} > 0,150$ yang berarti $P\text{-Value}$ tersebut $> \alpha$ ($P\text{-Value} > 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data tersebut berdistribusi normal.

Langkah selanjutnya dilakukan pengukuran *level sigma*. Tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan distribusi probabilitas dari *defect* produk MU5-TJ sebelum *improvement*. Berdasarkan data pada Lampiran 2, rata-rata dari rasio untuk *defect* produk MU5-TJ selama Bulan September 2019 sampai dengan Januari 2020 yaitu sebesar 1,08%. Perhitungan level sigma akhir (future level sigma) dilakukan dengan menggunakan persamaan Distribusi Normal Standar yaitu sebagai berikut:

$$P(z \geq x) = NORM.S.INV (probability) + 1,5\sigma \quad (4.2)$$

$$z = NORM.S.INV (1 - 0,0108) + 1,5\sigma$$

$$z = 3,7977$$

Hasil dari perhitungan tersebut menghasilkan level sigma awal sebesar 3,7977. Nilai DPMO untuk nilai sigma tersebut dengan nilai probabilitas 0,0108 yaitu sebesar 10.800 unit produk. Hal tersebut berarti bahwa pada proses produksi penyusunan munisi MU5-TJ mempunyai peluang menghasilkan produk *defect* sebesar 10.800 unit dari 1.000.000 unit produk yang dihasilkan.

4.5.2 Perhitungan Asumsi Biaya *Improvement*

Terkait dengan *improvement* yang telah dilakukan, untuk jenis *improvement* pada metode inspeksi dan pemasangan sensor dapat dikatakan tidak menimbulkan biaya karena hal tersebut secara peraturan dan SOP memang seharusnya berlangsung, sedangkan pada jenis *improvement* perubahan komposisi vernis dan jenis *raw material* untuk *tools* atau perkakas, perhitungan biaya *improvement* untuk setiap satu juta butir munisi dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20

Tabel 4. 20 Biaya Material Vernis Mulut Longsong

Komposisi	Jumlah	Satuan	Harga Material per Satuan (Rupiah)	Total Biaya (Rupiah)
Komposisi 1 (Komposisi Existing)				
Asphalt	30	kg	5,800	174,000
SBP	10	liter	58,000	580,000
Ethyl Acetate	1	liter	65,000	65,000
Jumlah				819,000
Komposisi 2				
Bitumen Oil	25	kg	19,400	485,000
Thinner A	6	kg	35,000	210,000
Jumlah				695,000

Lanjutan Tabel 4. 21 Biaya Material Vernis Mulut Longsong

Komposisi	Jumlah	Satuan	Harga Material per Satuan (Rupiah)	Total Biaya (Rupiah)
Komposisi 3				
Bitumen Oil	28	kg	19,400	543,200
Thinner Lacquer	3	kg	65,000	195,000
Jumlah				738,200

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 22 Biaya Material Perkakas Susun Munisi

Material Perkakas	Harga Satuan (Rupiah)	Indeks Kebutuhan (per satu juta butir munisi)	Total Biaya (Rupiah)
Hartmetall	1,495,000	0.33	493,350
JIS SKD 11	750,000	0.67	502,500
90 Mn Cr	545,000	0.91	495,950

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.19, dapat dilihat bahwa meski jika ditinjau dari sisi ekonomi, harga *raw material* aspal per kilogram lebih ekonomis jika dibandingkan dengan *bitumen oil*, namun komposisi vernis yang berbeda dimana jika menggunakan *bitumen oil* maka indeks kebutuhannya lebih rendah dibandingkan menggunakan aspal serta kebutuhan pelarut lebih sedikit jika menggunakan *bitumen oil*, maka dapat dikatakan bahwa penggunaan *bitumen oil* sebagai *raw material* vernis mulut longsong secara keseluruhan lebih ekonomis dan menghasilkan vernis mulut longsong yang lebih berkualitas (memenuhi standar spesifikasi). Penggunaan pelarut *thinner lacquer*, secara spesifikasi memberikan hasil terbaik untuk vernis mulut longsong yang menghasilkan penurunan *defect* pada proses timbang dan mal secara signifikan. Jika ditinjau dari sisi ekonomi, untuk kebutuhan setiap satu juta butir munisi, secara keseluruhan

paduan komposisi 3 masih memiliki harga yang lebih rendah dibandingkan komposisi *existing* meski harga setiap *raw material* nya lebih tinggi.

Selanjutnya berdasarkan Tabel 4.20, pada material perkakas, meskipun jika ditinjau dari sisi ekonomi harga dari material Hartmetall lebih tinggi dibandingkan kedua material lainnya, namun secara indeks kebutuhan penggunaan Hartmetall lebih hemat sehingga menghasilkan harga yang tidak jauh berbeda (perbedaan sangat tidak signifikan) dengan material JIS SKD 11 dan 90MnCr dengan hasil pengurangan *defect* pada proses visual yang signifikan pada material *tools* dengan menggunakan Hartmetall dibandingkan kedua material lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa *improvement* tersebut secara reguler dapat diterapkan.

4.5.3 Perhitungan *Cost Saving*

Perhitungan *cost of defective product* setelah dilakukan *improvement* berdasarkan data *defect* yang terdapat pada Lampiran 2 dan data harga pokok proses produksi MU5-TJ yang terdapat pada Lampiran 5 dapat dilihat pada Tabel 4.21. Nilai tersebut diperoleh dengan mengalikan jumlah *defect* produk pada setiap proses penyusunan MU5-TJ dengan harga pokok untuk setiap lini proses produksi munisi MU5-TJ. Sedangkan dalam perhitungan *cost saving*, langkah pertama yaitu dilakukan dengan menghitung digunakan persentase rata-rata *cost of defect* terhadap nilai produk baik siap kirim pada periode sebelum *improvement* dan setelah *improvement*. Nilai rata-rata tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.22. Selanjutnya, *cost saving* dihitung dengan mengalikan persentase rata-rata tersebut (periode sebelum *improvement* dan setelah *improvement*) dengan nilai produk baik siap kirim pada periode setelah *improvement*. Jadi, dalam hal ini terkait perhitungan *cost saving*, *cost* yang terdapat pada periode sebelum *improvement* tersebut bersifat pendekatan dengan menggunakan rata-rata *cost of defective product* terhadap produk baik siap kirim pada periode setelah *improvement* apabila proses dijalankan tanpa adanya langkah perbaikan. *Cost saving* yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 4. 23.

Tabel 4. 23 *Cost of Defective* pada Lini Proses Penyusunan MU5-TJ Setelah *Improvement*

Bulan	Tahun	Nilai Produk Baik MU5-TJ (Rupiah)	<i>Cost of Defective</i> Penyusunan MU5-TJ (Rupiah)	% <i>Cost of Defective</i>
September	2019	15,515,866,187	161,124,762	1.04%
Oktober	2019	22,509,177,964	229,569,150	1.02%
November	2019	11,382,565,840	115,579,027	1.02%
Desember	2019	16,361,085,882	151,735,452	0.93%
Januari	2020	20,378,699,310	207,240,709	1.02%
Jumlah		86,147,395,183	865,249,099	1.00%

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 24 Rata-Rata Persentase *Cost of Defective* pada Lini Proses Penyusunan MU5-TJ

Bulan	Tahun	% <i>Cost of Defective</i>	Rata-Rata
Sebelum <i>Improvement</i>			
Januari	2019	1.59%	1.32%
Februari	2019	1.45%	
Maret	2019	1.16%	
April	2019	1.25%	
Mei	2019	1.21%	
Juni	2019	1.30%	
Juli	2019	1.26%	
Agustus	2019	1.37%	
Setelah <i>Improvement</i>			
September	2019	1.04%	1.00%
Oktober	2019	1.02%	
November	2019	1.02%	
Desember	2019	0.93%	
Januari	2020	1.02%	

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 25 *Cost Saving* Lini Proses Penyusunan MU5-TJ

Kondisi	Rata-Rata % <i>Cost of Defective</i>	Nilai Produk Baik (Rupiah)	<i>Cost of Defective</i> (Rupiah)
Tanpa <i>Improvement</i>	1.32%	86,147,395,183.35	1,140,671,093.12
Dengan <i>Improvement</i>	1.00%	86,147,395,183.35	865,249,099.16
<i>Cost Saving</i>			275,421,993.96

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil perbaikan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa *cost saving* yang dihasilkan pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ yaitu sebesar Rp. 275,421,993.96 selama periode 5 bulan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang pernah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Hasil identifikasi permasalahan kualitas pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ menunjukkan bahwa bagian proses yang berpengaruh signifikan terhadap munculnya permasalahan kualitas yaitu proses timbang dan mal serta proses visual. Proses timbang dan mal serta proses visual masing-masing menyumbang 46,9% dan 31,9% cacat pada produk penyusunan munisi MU5-TJ. Kedua proses tersebut yaitu proses timbang dan mal dan proses visual menyumbang proporsi cacat produk terbesar pada lini penyusunan munisi MU5-TJ yaitu sebesar 78,9%.
2. Jenis-jenis cacat yang terjadi dalam lini proses penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ terdiri dari munisi ringan (isian *propellant* kurang), panjang munisi tidak sesuai (munisi terlalu panjang atau terlalu pendek), cacat gores pada badan munisi (*scratch case*), cacat retak pada badan munisi (*split case*), cacat bengkok pada badan munisi (*dent case*), penggalak miring (*cocked primer*), pelor retak (*split bullet*), dan cacat ujung pelor (*crooked bullet*). Dari jenis-jenis cacat tersebut, cacat munisi ringan (isian *propellant* kurang) memegang proporsi jenis cacat terbesar yaitu 26,96%, selanjutnya panjang munisi tidak sesuai (munisi terlalu panjang atau terlalu pendek) yaitu sebesar 19,98%, dan cacat gores pada badan munisi yaitu sebesar 19,80%.
3. Dari hasil analisis terhadap faktor penyebab cacat terdapat lima *critical factor* diantaranya *setting* mesin, keberadaan sensor isian, komposisi vernis, material perkakas atau *tools*, dan metode inspeksi. Hasil pengujian *chi-*

square dari kelima *critical factor* tersebut menunjukkan faktor penyebab cacat yang berpengaruh signifikan terhadap cacat pada proses timbang dan mal serta visual yaitu keberadaan sensor isian, komposisi vernis, material perkakas atau tools, dan metode inspeksi. Berdasarkan hal tersebut, maka *improvement* yang dilakukan antara lain :

- a) Pemasangan sensor isian *propellant* pada mesin susun munisi MU5-TJ
 - b) Perubahan komposisi vernis mulut langsung menggunakan komposisi 3
 - c) Penggunaan perkakas atau tools yang terbuat dari Hartmetall
 - d) *Autocontrol* oleh operator produksi setiap 15 menit sekali
4. Dari hasil *improvement* yang telah dilakukan didapatkan peningkatan level sigma yang semula 3,69 menjadi 3,80 dan *cost saving* yang dihasilkan dengan melakukan *improvement* selama periode 5 bulan dari Bulan September 2019 sampai dengan Januari 2020 yaitu sebesar Rp. 275.421.993,96.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian pada lini penyusunan munisi kaliber 5,56 mm varian MU5-TJ, penulis memberikan saran kepada perusahaan sebagai usaha dalam mengurangi permasalahan kualitas dan efisiensi dengan cara terus melakukan *continuous improvement* secara berkesinambungan di seluruh lini proses produksi. Sementara itu, saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut untuk jenis cacat yang belum terselesaikan sehingga dapat meningkatkan *level sigma* lebih baik lagi.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut secara lebih menyeluruh dimulai dari lini produksi langsung, pelor, penggalak sampai dengan lini penyusunan munisi, sehingga dapat menekan timbulnya cacat pada setiap komponen dan dihasilkan *level sigma* produk yang lebih tinggi secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkuwaiti, Ahmed. (2016). Application of Six Sigma Methodology to Reduce Medication Errors in the Outpatient Pharmacy Unit: A Case Study from the King Fahd University Hospital, Saudi Arabia. *International Journal for Quality Research*. 10. 267-278. <https://doi.org/10.18421/IJQR10.02-03>
- Balubaid, M., & Alamoudi, R. (2015). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multi-Criteria Analysis for Contractor Selection. *American Journal of Industrial and Business Management*, 05(09), 581–589. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2015.59058>
- Costa, T., Silva, F. J. G., & Pinto Ferreira, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 13, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.171>
- Deeb, S., Haouzi, H. B. El, Aubry, A., & Dassisti, M. (2018). A generic framework to support the implementation of six sigma approach in SMEs. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 921–926. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.490>
- Enggita, Asadian P., (2018), *Efisiensi dan Peningkatan Kualitas Produksi Kertas Foodgrade Menggunakan Lean Six Sigma di PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia*, Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Erbiyik, H., & Saru, M. (2015). Six Sigma Implementations in Supply Chain: An Application for an Automotive Subsidiary Industry in Bursa in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2556–2565. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.447>

- Erdoğan, A., & Canatan, H. (2015). Literature Search Consisting of the Areas of Six Sigma's Usage. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195(0212), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.160>
- Ertürk, M., Tuerdi(Maimaitiaili. Tuerdi), M., & Wujiabudula, A. (2016). The Effects of Six Sigma Approach on Business Performance: A Study of White Goods (Home Appliances) Sector in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 229, 444–452. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.07.154>
- Gaspersz, Vincent, (2002), *Pedoman Implementasi Program Six Sigma*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Gejdos, Pavol. (2015), 'Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control', Elsevier B.V., *Procedia Economics and Finance* 34, pp.565-572 [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01669-X](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01669-X).
- Hess, J. D., & Benjamin, B. A. (2015). *Applying Lean Six Sigma within the university : opportunities for process improvement and cultural change*. 6(3), 249–262. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2014-0036>
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing*, 4(Iess), 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.072>
- Montgomery, Douglas C., (2005), *Introduction to Statistical Quality Control*, 5th edition, John Willey & Sons, Inc., New York.
- Nithyanandam, G. K., & Pezhinkattil, R. (2014). A Six Sigma approach for precision machining in milling. *Procedia Engineering*, 97, 1474–1488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.431>

- Pande, P.S., Neuman, R.P., & Cavanagh, R. R., (2000). *The Six Sigma Way : How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance*, Mc. Graw-Hill, New York.
- Pyzdek, T., (2003), *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Greenbelt, Blackbelts, and Managers at All Levels*, Mc. Graw Hill, New York.
- Roberta S. Russell, Bernard W. Taylor III, (2014), *Operations and Supply Chain Management, Eighth Edition*, Copyright © by John Wiley & Sons, Singapore Pte. Ltd.
- Sabry, A. (2014). Factors critical to the success of Six-Sigma quality program and their influence on performance indicators in some of Lebanese hospitals. *Arab Economic and Business Journal*, 9(2), 93–114. <https://doi.org/10.1016/j.aebj.2014.07.001>
- Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238, 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>
- Suef, M., Suparno, S. & Singgih, M. (2017). Categorizing Product Attributes Efficiently in QFD-Kano: A Case Analysis in Telecommunication. *The TQM Journal*, 29(3), pp 512-527. <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-03-2015-0036>
- Swain, A. K., Cao, Q. R., & Gardner, W. L. (2018). Six Sigma success: Looking through authentic leadership and behavioral integrity theoretical lenses. *Operations Research Perspectives*, 5, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.04.001>
- Thakore, R., Dave, R., Parsana, T., & Solanki, A. (2014). A Review: Six Sigma Implementation Practice in Manufacturing Industries. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(11), 63–69.

US MILITARY STANDARD, MIL-STD-636, (1958), “*Visual Inspection Standards For Small Arms Ammunition Through Caliber .50*”, Department of Defense, USA.

US MILITARY STANDARD, MIL-STD-105E, (1989), “*Sampling Procedures and Tables For Inspection By Attributes*”, Department of Defense, USA.

US MILITARY STANDARD, MIL-C-9963F, (1976), “*Military Specification Cartridge, 5,56 mm, Ball, M193*”, Department of Defense, USA.

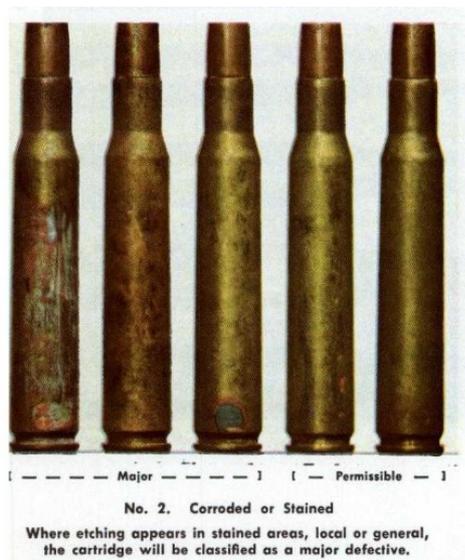
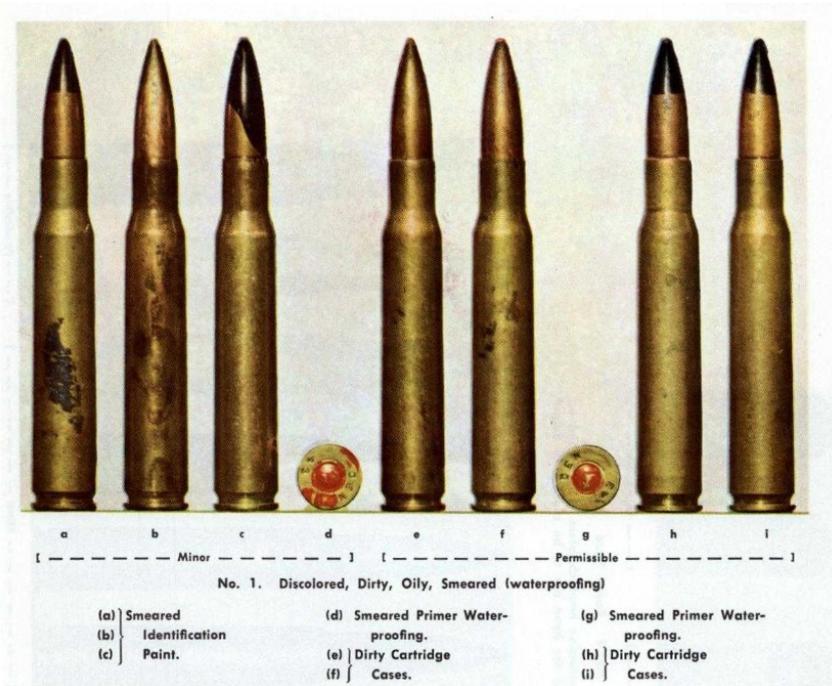
Vendrame Takao, M. R., Woldt, J., & da Silva, I. B. (2017). Six Sigma methodology advantages for small- and medium-sized enterprises: A case study in the plumbing industry in the United States. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(10), 1–10. <https://doi.org/10.1177/1687814017733248>

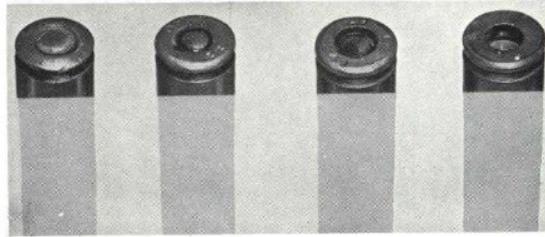
Wahyuningtyas, Ayudya Tri, Mustafid, Prahutama, Alan. (2016). Implementasi Metode Six Sigma Menggunakan Grafik Pengendali Ewma Sebagai Upaya Meminimalisasi Cacat Produk Kain Grei. *Jurnal Gaussian*, 5(1), 61–70.

ZHU, J., WANG, X., ZHANG, H., LI, Y., WANG, R., & QIU, Z. (2019). Six sigma robust design optimization for thermal protection system of hypersonic vehicles based on successive response surface method. *Chinese Journal of Aeronautics*, 32(9), 2095–2108. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.04.009>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar *Defect Visual* Munisi Sesuai dengan Military Standard (MIL-STD-636)





[--- Major ---] [--- Permissible ---]

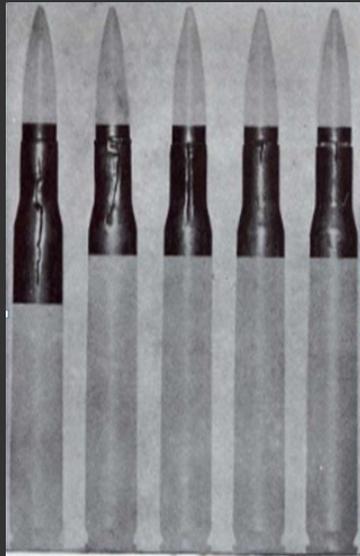
No. 4. Round Head

Cartridges having excessive head chamfers at any point on the circumference of the head are to be counted as Round Heads.



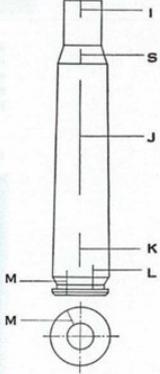
[--- Major ---] [--- Minor ---] [--- Permissible ---]

No. 5. Dent (case)

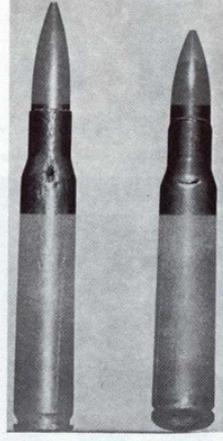


[- - - Major - - -]
No. 6. Split Case

A cartridge is to be counted as a defective because of a split case if the cartridge case shows a definite separation of the metal entirely through the case wall.



A cartridge is to be classified either as a "major" or "critical" defective depending on location of split. A split in the (I), (S) or (J) position shall be counted as a "major" defect when no loss of powder occurs; and as a "critical" defect when loss of powder occurs. A split in the (K), (L), or (M) position shall be counted as a "critical" defect.



[- - - Critical - - -]
No. 7. Perforated Case



[— Major —] [— Minor —] [— Permissible —]

No. 8. Draw Scratch

The seriousness of a draw scratch is to be determined by the depth, location and shape of the scratch. Draw scratches which cannot be detected by the finger nail are permissible. Draw scratches which CAN be detected by the finger nail but do not extend into the neck section are to be counted as minor draw scratches. Draw scratches which CAN be detected by the finger nail and extend into the neck section are to be counted as major draw scratches.

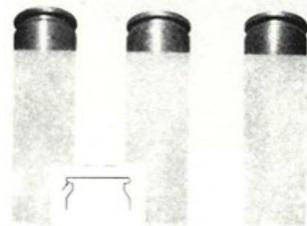


[— Major —] [— Permissible —]



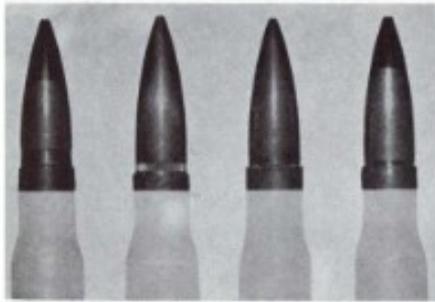
[— Minor —] [Permissible]

No. 9. Scratch (case)



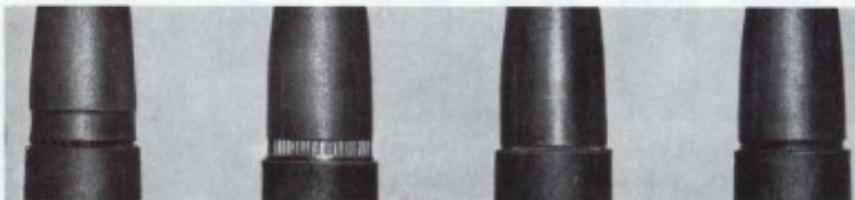
[Major] [— Permissible —]

No. 10a. Beveled Underside of Head (normal size).



[----- Major -----]

No. 11a. Case Mouth not Crimped in Cannelure



[----- Major -----]

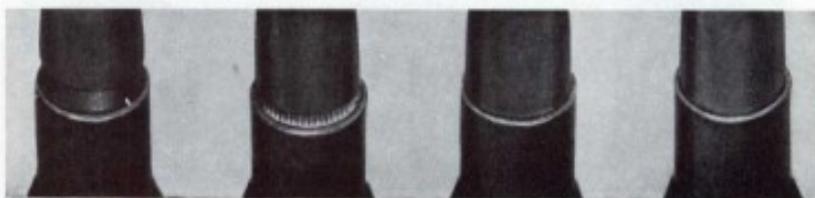
No. 11b. Case Mouth not Crimped in Cannelure (Twice normal size)

A cartridge is also to be counted as a defective because of case mouth not crimped in cannelure if the crimp does not extend around the entire circumference of the case mouth.



[----- Major -----]

No. 11c. Case Mouth not Crimped in Cannelure



[----- Major -----]

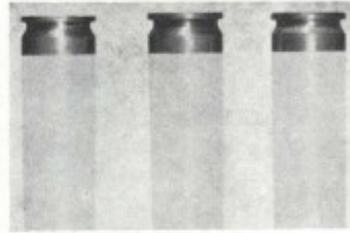
No. 11d. Case Mouth not Crimped in Cannelure
(Twice normal size inclined view)



[- - - - - Major - - - - -] [Minor] [Permissible]

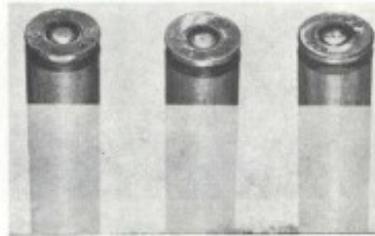
No. 12. Scaly Metal (case)

In classifying scaly metal cartridges, due consideration must be given to the depth as well as the area of the scale.



[- - - Major - - -] [Permissible]

No. 13a. No Chamfer on Head (rim)



[- - - Major - - -] [Permissible]

No. 13c. No chamfer on Head (rim)



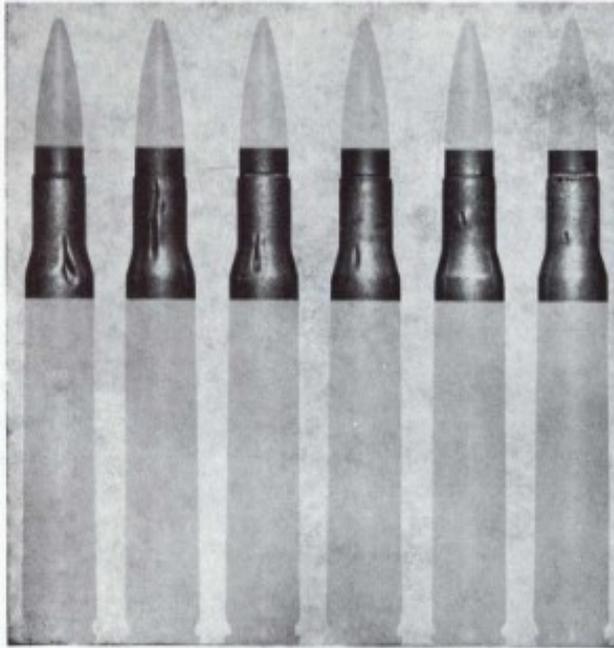
[- - - - - Major - - - - -] [- Permissible -]

No. 13b. No Chamfer on Head (rim)
(Twice normal size)



[- - - - - Major - - - - -] [- Permissible -]

No. 13d. No Chamfer on Head (rim) (Twice normal size, Inclined view)



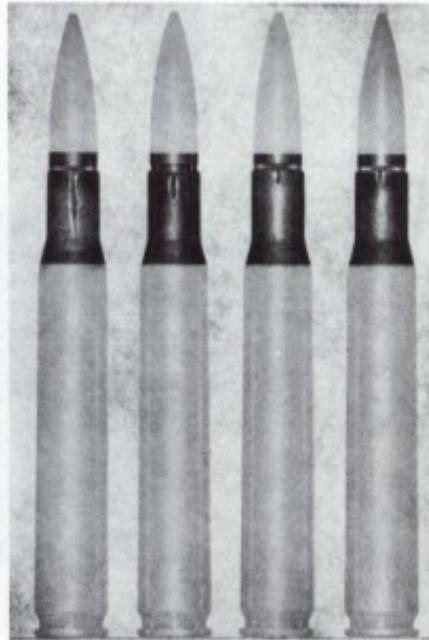
[--- Minor ---] [----- Permissible -----]

No. 14. Fold



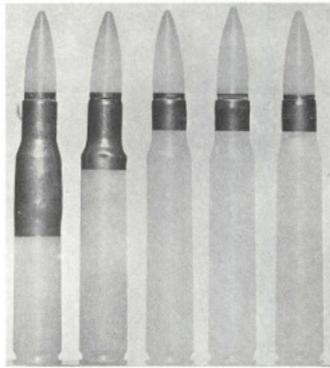
[--- Minor ---] [Permissible]

No. 15. Wrinkle



[--- Minor ---] [Permissible]

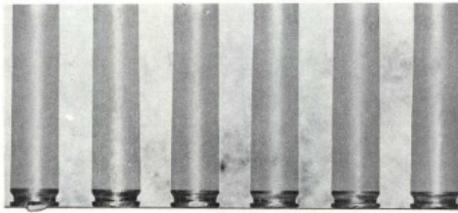
No. 16. Buckle



[- - - - - Permissible - - - - -]

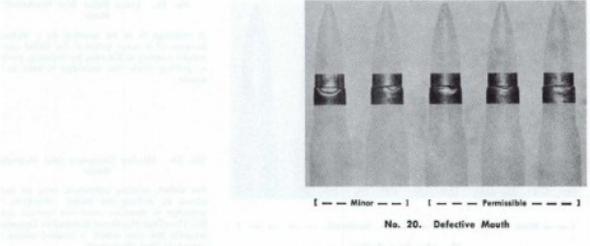
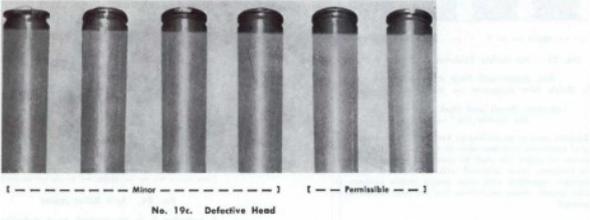
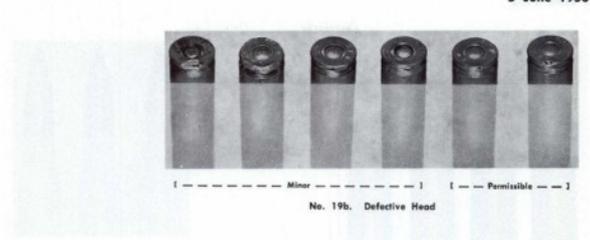
No. 17. Bulge

No. 18. Illegible or Missing Head Stamp
(Not illustrated)
Minor



[- - - - - Minor - - - - -] [- - - - - Permissible - - - - -]

No. 19a. Defective Head





[— — Major — —] [— Permissible —]

No. 21. No Visible Evidence of Mouth Anneal
 Gas Mouth and Neck Annealed Case
 No Oxide Film Apparent — Major (see illustration)
 Induction Mouth and Neck Annealed Case
 No Visible Iris¹ — Major

¹ Doubtful cases to be decided by Rockwell 30T hardness reading of assembled cartridges taken on the case $\frac{1}{8}$ " from mouth. Absence of visible iris shall be considered a major defect if this hardness, when compared with the hardness taken on cartridges assembled with cases having visible evidence of mouth anneal, shows conclusively that the case has not been annealed.



[Minor] [— Permissible —]

No. 23. Scratch (bullet)



[— — — — — Major — — — — —]

No. 24. Split Bullet Jacket

A cartridge is to be counted as a defective because of a split bullet jacket if the jacket shows a definite separation of the metal so as to expose the core or slug.



[— — Minor — —] [— — — — — Permissible — — — — —]

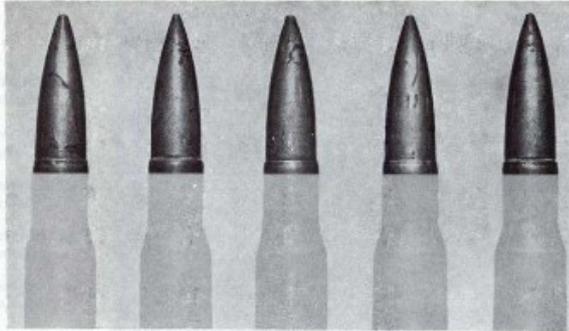
No. 22. Dent (bullet)

No. 25. Loose Bullet (Not illustrated)
 Major

A cartridge is to be counted as a defective because of a loose bullet if the bullet can be moved relative to the case by twisting, pushing or pulling while the cartridge is held in the hands.

No. 26. Missing Cannelure (Not illustrated)
 Major

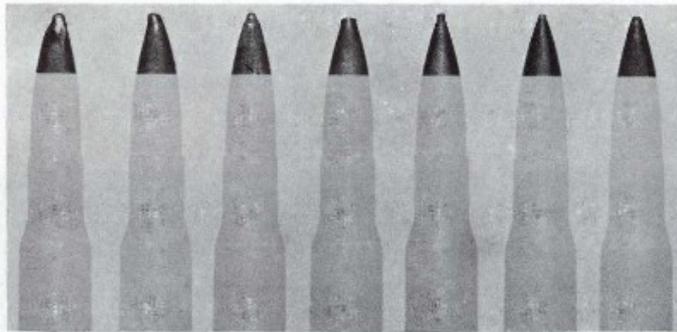
The defect, missing cannelure, may be determined by pulling the bullet. However, the cartridge in question must not contain defect No. 11—Case Mouth not Crimped in Cannelure, wherein the case mouth is located above the cannelure (not illustrated).



[Major] [— — Minor — —] [— — Permissible — —]

No. 27. Scaly Metal (bullet)

In classifying scaly metal cartridges, due consideration must be given to the depth as well as the area of the scale.



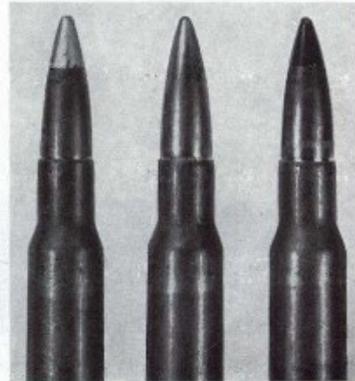
[— — — — Minor — — — —] [— — Permissible — —]

No. 28. Upset (crooked) Point



[— — — — Minor — — — —]

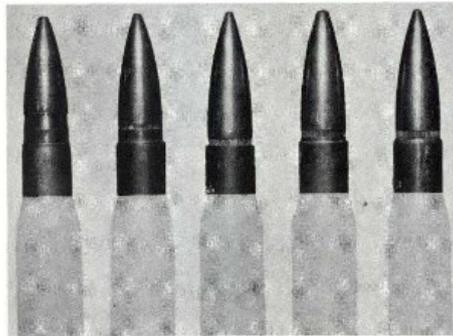
No. 29. Exposed Steel (clad jacket)



[— — — — Permissible — — — —]

No. 30. Blunt Point

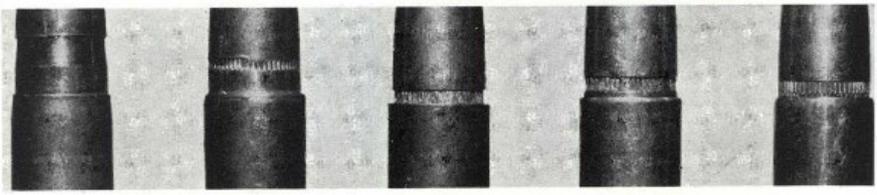
A cartridge is to be counted as a minor defective if point bluntness or flatness exceeds that shown.



- (a) Misplaced Cannelure.
- (b) Deformed Cannelure.
- (c) Double Cannelure.
- (d) Misplaced Cannelure.
- (e) Double Cannelure.

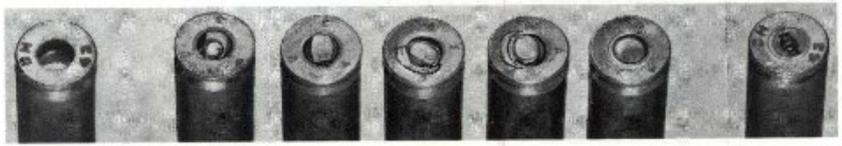
[----- Minor -----]

No. 31a. Defective Cannelure



[----- Minor -----]

No. 31b. Defective Cannelure (Twice normal size)



[Critical] [----- Critical -----] [Critical]

No. 32 No Primer No. 33. Cocked Primer No. 34 Inverted Primer

An obvious cocked primer, or a suspected cocked primer that fails to ignite the propellant is a critical defective. A suspected cocked primer that ignites the propellant is to be counted a major defective.

**No. 35. Loose Primer (Not illustrated)
Major**

A cartridge is to be counted as a defective because of a loose primer if the primer can be moved within the primer pocket or if the primer can be shaken or jarred from the pocket.



(a) Deformed Primer.
(b) Nick extending to edge of primer cup.
(c-d-e-f-g) Small Nicks and Dents.

[--- Minor ---] [--- Permissible ---]

No. 36a. Nicked or Dented Primer



[--- Minor ---] [--- Permissible ---]

No. 36b. Nicked or Dented Primer



[Minor] [--- Permissible ---]

**No. 37. No Waterproofing
(Primer pocket joint)**



[--- Minor ---] [--- Permissible ---]

No. 38. Defective Crimp

Lampiran 2. Data *Defect* Produk Munisi MU5-TJ

Bulan	Tahun	Output	Cacat Pada Proses					Cacat Total
			Pasang, Vernis, dan Kukuh Penggalak	Isi, Susun, dan Kukuh Leher	Timbang dan Mal	Visuil	Vernis Ujung dan Gelang	
Januari	2019	5,517,937	7,300	2,410	52,500	30,000	0	92,210
Februari	2019	6,607,016	3,300	1,580	59,000	34,320	0	98,200
Maret	2019	5,309,285	6,500	2,700	30,210	26,000	0	65,410
April	2019	3,473,942	2,300	4,750	22,000	16,000	0	45,050
Mei	2019	4,566,063	5,000	4,500	29,647	19,000	0	58,147
Juni	2019	3,787,236	5,500	2,570	25,000	19,000	0	52,070
Juli	2019	6,200,480	23,000	6,120	40,000	20,000	0	89,120
Agustus	2019	5,180,029	18,000	11,020	30,000	21,000	0	80,020
September	2019	5,505,067	7,500	4,200	30,240	19,250	0	61,190
Oktober	2019	7,986,311	12,000	5,700	38,000	32,000	0	87,700
November	2019	4,038,562	6,000	2,160	22,000	14,000	0	44,160
Desember	2019	5,804,953	13,000	6,450	23,000	17,800	0	60,250
Januari	2020	7,230,412	4,000	3,500	39,150	29,500	0	76,150

**Lampiran 3. Data Berat Munisi dan Panjang Munisi Sebelum
*Improvement***

No	Berat Munisi (gram)	Panjang Munisi (mm)
1	11.93	57.03
2	11.84	57.29
3	11.87	57.11
4	11.90	57.00
5	11.88	57.16
6	12.14	56.96
7	11.99	57.08
8	12.02	57.08
9	11.75	57.00
10	11.88	57.13
11	11.90	57.01
12	11.77	56.79
13	12.05	56.83
14	11.86	56.80
15	11.98	57.23
16	11.89	56.89
17	11.82	57.18
18	12.02	57.10
19	11.99	57.23
20	12.11	57.27
21	12.10	57.20
22	11.81	56.70
23	12.05	57.03
24	11.84	56.85
25	12.10	57.04
26	11.98	57.02
27	12.04	56.98
28	11.85	57.16
29	11.87	56.79
30	12.14	57.29
31	11.81	56.90
32	11.82	57.25
33	11.99	57.04
34	11.94	56.98
35	11.93	56.93
36	12.07	56.77

**Lanjutan Lampiran 4. Data Berat Munisi dan Panjang Munisi
Sebelum *Improvement***

No	Berat Munisi (gram)	Panjang Munisi (mm)
37	11.90	57.08
38	11.90	57.25
39	12.05	57.04
40	11.96	57.24
41	11.90	56.98
42	12.06	57.12
43	11.87	57.10
44	12.12	57.01
45	11.96	56.84
46	11.84	56.77
47	11.90	57.17
48	11.98	57.14
49	11.96	57.24
50	11.98	57.16

**Lampiran 5. Data Berat Munisi dan Panjang Munisi Setelah
*Improvement***

No	Berat Munisi (gram)	Panjang Munisi (mm)
1	12.23	57.19
2	12.14	57.23
3	12.35	57.40
4	12.20	57.23
5	12.23	57.22
6	12.44	57.27
7	12.29	57.20
8	12.32	57.32
9	12.05	57.28
10	12.18	57.24
11	12.20	57.20
12	12.35	57.24
13	12.35	57.40
14	12.16	57.14
15	12.28	57.16
16	12.35	57.27
17	12.12	57.16
18	12.32	57.24
19	12.29	57.21
20	12.41	57.39
21	12.40	57.18
22	12.11	57.25
23	12.35	57.35
24	12.14	57.23
25	12.40	57.19
26	12.28	57.19
27	12.34	57.32
28	12.15	57.27
29	12.24	57.36
30	12.44	57.28
31	12.11	57.18
32	12.12	57.30
33	12.29	57.26
34	12.24	57.14
35	12.23	57.40
36	12.37	57.23
37	12.20	57.21
38	12.20	57.37
39	12.35	57.18

**Lanjutan Lampiran 6. Data Berat Munisi dan Panjang Munisi Setelah
*Improvement***

No	Berat Munisi (gram)	Panjang Munisi (mm)
40	12.26	57.32
41	12.20	57.13
42	12.36	57.19
43	12.17	57.23
44	12.42	57.40
45	12.26	57.21
46	12.14	57.30
47	12.20	57.25
48	12.36	57.40
49	12.42	57.27
50	12.28	57.19

Lampiran 7. Data Harga Pokok Proses Produksi Munisi MU5-TJ

No	Proses	HPP Proses	HPP
1	Pasang, Vernis, dan Kukuh Penggalak	12.92	1,552.71
2	Isi, Susun, dan Kukuh Leher	1,208.14	2,760.86
3	Timbang dan Mal	11.13	2,771.99
4	Visual	36.27	2,808.26
5	Vernis Ujung dan Gelang	10.21	2,818.47

Lampiran 8. Tabel *Chi-Square*

Chi-Square Distribution Table

d.f.	.995	.99	.975	.95	.9	.1	.05	.025	.01
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2.71	3.84	5.02	6.63
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	4.61	5.99	7.38	9.21
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	6.25	7.81	9.35	11.34
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	7.78	9.49	11.14	13.28
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	10.64	12.59	14.45	16.81
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.53	20.09
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.28	19.68	21.92	24.72
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	23.68	26.12	29.14
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.58
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.89	41.92	45.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	37.92	41.34	44.46	48.28
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89
32	15.13	16.36	18.29	20.07	22.27	42.58	46.19	49.48	53.49
34	16.50	17.79	19.81	21.66	23.95	44.90	48.60	51.97	56.06
38	19.29	20.69	22.88	24.88	27.34	49.51	53.38	56.90	61.16
42	22.14	23.65	26.00	28.14	30.77	54.09	58.12	61.78	66.21
46	25.04	26.66	29.16	31.44	34.22	58.64	62.83	66.62	71.20
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.50	71.42	76.15
55	31.73	33.57	36.40	38.96	42.06	68.80	73.31	77.38	82.29
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38
65	39.38	41.44	44.60	47.45	50.88	79.97	84.82	89.18	94.42
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	85.53	90.53	95.02	100.43
75	47.21	49.48	52.94	56.05	59.79	91.06	96.22	100.84	106.39
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	96.58	101.88	106.63	112.33
85	55.17	57.63	61.39	64.75	68.78	102.08	107.52	112.39	118.24
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	107.57	113.15	118.14	124.12
95	63.25	65.90	69.92	73.52	77.82	113.04	118.75	123.86	129.97
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	118.50	124.34	129.56	135.81

Lampiran 9. Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola

Nilai Sigma	DPMO						
0,00	933.193	0,51	838.913	1,02	684.386	1,53	488.033
0,01	931.888	0,52	836.457	1,03	680.822	1,54	484.047
0,02	930.563	0,53	833.977	1,04	677.242	1,55	480.061
0,03	929.219	0,54	831.472	1,05	673.645	1,56	476.078
0,04	927.855	0,55	828.944	1,06	670.031	1,57	472.097
0,05	926.471	0,56	826.391	1,07	666.402	1,58	468.119
0,06	925.066	0,57	823.814	1,08	662.757	1,59	464.144
0,07	923.641	0,58	821.214	1,09	659.097	1,60	460.172
0,08	922.196	0,59	818.589	1,10	655.422	1,61	456.205
0,09	920.730	0,60	815.940	1,11	651.732	1,62	452.242
0,10	919.243	0,61	813.267	1,12	648.027	1,63	448.283
0,11	917.736	0,62	810.570	1,13	644.309	1,64	444.330
0,12	916.207	0,63	807.850	1,14	640.576	1,65	440.382
0,13	914.656	0,64	805.106	1,15	636.831	1,66	436.441
0,14	913.085	0,65	802.338	1,16	633.072	1,67	432.505
0,15	911.492	0,66	799.546	1,17	629.300	1,68	428.576
0,16	909.877	0,67	796.731	1,18	625.516	1,69	424.655
0,17	908.241	0,68	793.892	1,19	621.719	1,70	420.740
0,18	906.582	0,69	791.030	1,20	617.911	1,71	416.834
0,19	904.902	0,70	788.145	1,21	614.092	1,72	412.936
0,20	903.199	0,71	785.236	1,22	610.261	1,73	409.046
0,21	901.475	0,72	782.305	1,23	606.420	1,74	405.165
0,22	899.727	0,73	779.350	1,24	602.568	1,75	401.294
0,23	897.958	0,74	776.373	1,25	598.706	1,76	397.432
0,24	896.165	0,75	773.373	1,26	594.835	1,77	393.580
0,25	894.350	0,76	770.350	1,27	590.954	1,78	389.739
0,26	892.512	0,77	767.305	1,28	587.064	1,79	385.908
0,27	890.651	0,78	764.238	1,29	583.166	1,80	382.089
0,28	888.767	0,79	761.148	1,30	579.260	1,81	378.281
0,29	886.860	0,80	758.036	1,31	575.345	1,82	374.484
0,30	884.930	0,81	754.903	1,32	571.424	1,83	370.700
0,31	882.977	0,82	751.748	1,33	567.495	1,84	366.928
0,32	881.000	0,83	748.571	1,34	563.559	1,85	363.169
0,33	878.999	0,84	745.373	1,35	559.618	1,86	359.424
0,34	876.976	0,85	742.154	1,36	555.670	1,87	355.691
0,35	874.928	0,86	738.914	1,37	551.717	1,88	351.973
0,36	872.857	0,87	735.653	1,38	547.758	1,89	348.268
0,37	870.762	0,88	732.371	1,39	543.795	1,90	344.578
0,38	868.643	0,89	729.069	1,40	539.828	1,91	340.903
0,39	866.500	0,90	725.747	1,41	535.856	1,92	337.243
0,40	864.334	0,91	722.405	1,42	531.881	1,93	333.598
0,41	862.143	0,92	719.043	1,43	527.903	1,94	329.969
0,42	859.929	0,93	715.661	1,44	523.922	1,95	326.355
0,43	857.690	0,94	712.260	1,45	519.939	1,96	322.758
0,44	855.428	0,95	708.840	1,46	515.953	1,97	319.178
0,45	853.141	0,96	705.402	1,47	511.967	1,98	315.614
0,46	850.830	0,97	701.944	1,48	507.978	1,99	312.067
0,47	848.495	0,98	698.468	1,49	503.989	2,00	308.538
0,48	846.136	0,99	694.974	1,50	500.000	2,01	305.026
0,49	843.752	1,00	691.462	1,51	496.011	2,02	301.532
0,50	841.345	1,01	687.933	1,52	492.022	2,03	298.056

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Lanjutan Lampiran 7. Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
2,04	294.598	2,55	146.859	3,06	59.380	3,57	19.226
2,05	291.160	2,56	144.572	3,07	58.208	3,58	18.763
2,06	287.740	2,57	142.310	3,08	57.053	3,59	18.309
2,07	284.339	2,58	140.071	3,09	55.917	3,60	17.864
2,08	280.957	2,59	137.857	3,10	54.799	3,61	17.429
2,09	277.595	2,60	135.666	3,11	53.699	3,62	17.003
2,10	274.253	2,61	133.500	3,12	52.616	3,63	16.586
2,11	270.931	2,62	131.357	3,13	51.551	3,64	16.177
2,12	267.629	2,63	129.238	3,14	50.503	3,65	15.778
2,13	264.347	2,64	127.143	3,15	49.471	3,66	15.386
2,14	261.086	2,65	125.072	3,16	48.457	3,67	15.003
2,15	257.846	2,66	123.024	3,17	47.460	3,68	14.629
2,16	254.627	2,67	121.001	3,18	46.479	3,69	16.262
2,17	251.429	2,68	119.000	3,19	45.514	3,70	13.903
2,18	248.252	2,69	117.023	3,20	44.565	3,71	13.553
2,19	245.097	2,70	115.070	3,21	43.633	3,72	13.209
2,20	241.964	2,71	113.140	3,22	42.716	3,73	12.874
2,21	238.852	2,72	111.233	3,23	41.815	3,74	12.545
2,22	235.762	2,73	109.349	3,24	40.929	3,75	12.224
2,23	232.695	2,74	107.488	3,25	40.059	3,76	11.911
2,24	229.650	2,75	105.650	3,26	39.204	3,77	11.604
2,25	226.627	2,76	103.835	3,27	38.364	3,78	11.304
2,26	223.627	2,77	102.042	3,28	37.538	3,79	11.011
2,27	220.650	2,78	100.273	3,29	36.727	3,80	10.724
2,28	217.695	2,79	98.525	3,30	35.930	3,81	10.444
2,29	214.764	2,80	96.801	3,31	35.148	3,82	10.170
2,30	211.855	2,81	95.098	3,32	34.379	3,83	9.903
2,31	208.970	2,82	93.418	3,33	33.625	3,84	9.642
2,32	206.108	2,83	91.759	3,34	32.884	3,85	9.387
2,33	203.269	2,84	90.123	3,35	32.157	3,86	9.137
2,34	200.454	2,85	88.508	3,36	31.443	3,87	8.894
2,35	197.662	2,86	86.915	3,37	30.742	3,88	8.656
2,36	194.894	2,87	85.344	3,38	30.054	3,89	8.424
2,37	192.150	2,88	83.793	3,39	29.379	3,90	8.198
2,38	189.430	2,89	82.264	3,40	28.716	3,91	7.976
2,39	186.733	2,90	80.757	3,41	28.067	3,92	7.760
2,40	184.060	2,91	79.270	3,42	27.429	3,93	7.549
2,41	181.411	2,92	77.804	3,43	26.803	3,94	7.344
2,42	178.786	2,93	76.359	3,44	26.190	3,95	7.143
2,43	176.186	2,94	74.934	3,45	25.588	3,96	6.947
2,44	173.609	2,95	73.529	3,46	24.998	3,97	6.756
2,45	171.056	2,96	72.145	3,47	24.419	3,98	6.569
2,46	168.528	2,97	70.781	3,48	23.852	3,99	6.387
2,47	166.023	2,98	69.437	3,49	23.295	4,00	6.210
2,48	163.543	2,99	68.112	3,50	22.750	4,01	6.037
2,49	161.087	3,00	66.807	3,51	22.215	4,02	5.868
2,50	158.655	3,01	65.522	3,52	21.692	4,03	5.703
2,51	156.248	3,02	64.256	3,53	21.178	4,04	5.543
2,52	153.864	3,03	63.008	3,54	20.675	4,05	5.386
2,53	151.505	3,04	61.780	3,55	20.182	4,06	5.234
2,54	149.170	3,05	60.571	3,56	19.699	4,07	5.085

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

**Lanjutan Lampiran 7. Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma
Berdasarkan Konsep Motorola**

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
4,08	4.940	4,59	1.001	5,10	159	5,61	20
4,09	4.799	4,60	968	5,11	153	5,62	19
4,10	4.661	4,61	936	5,12	147	5,63	18
4,11	4.527	4,62	904	5,13	142	5,64	17
4,12	4.397	4,63	874	5,14	136	5,65	17
4,13	4.269	4,64	845	5,15	131	5,66	16
4,14	4.145	4,65	816	5,16	126	5,67	15
4,15	4.025	4,66	789	5,17	121	5,68	15
4,16	3.907	4,67	762	5,18	117	5,69	14
4,17	3.793	4,68	736	5,19	112	5,70	13
4,18	3.681	4,69	711	5,20	108	5,71	13
4,19	3.573	4,70	687	5,21	104	5,72	12
4,20	3.467	4,71	664	5,22	100	5,73	12
4,21	3.364	4,72	641	5,23	96	5,74	11
4,22	3.264	4,73	619	5,24	92	5,75	11
4,23	3.167	4,74	598	5,25	88	5,76	10
4,24	3.072	4,75	577	5,26	85	5,77	10
4,25	2.980	4,76	557	5,27	82	5,78	9
4,26	2.890	4,77	538	5,28	78	5,79	9
4,27	2.803	4,78	519	5,29	75	5,80	9
4,28	2.718	4,79	501	5,30	72	5,81	8
4,29	2.635	4,80	483	5,31	70	5,82	8
4,30	2.555	4,81	467	5,32	67	5,83	7
4,31	2.477	4,82	450	5,33	64	5,84	7
4,32	2.401	4,83	434	5,34	62	5,85	7
4,33	2.327	4,84	419	5,35	59	5,86	7
4,34	2.256	4,85	404	5,36	57	5,87	6
4,35	2.186	4,86	390	5,37	54	5,88	6
4,36	2.118	4,87	376	5,38	52	5,89	6
4,37	2.052	4,88	362	5,39	50	5,90	5
4,38	1.988	4,89	350	5,40	48	5,91	5
4,39	1.926	4,90	337	5,41	46	5,92	5
4,40	1.866	4,91	325	5,42	44	5,93	5
4,41	1.807	4,92	313	5,43	42	5,94	5
4,42	1.750	4,93	302	5,44	41	5,95	4
4,43	1.695	4,94	291	5,45	39	5,96	4
4,44	1.641	4,95	280	5,46	37	5,97	4
4,45	1.589	4,96	270	5,47	36	5,98	4
4,46	1.538	4,97	260	5,48	34	5,99	4
4,47	1.489	4,98	251	5,49	33	6,00	3
4,48	1.441	4,99	242	5,50	32		
4,49	1.395	5,00	233	5,51	30		
4,50	1.350	5,01	224	5,52	29		
4,51	1.306	5,02	216	5,53	28		
4,52	1.264	5,03	208	5,54	27		
4,53	1.223	5,04	200	5,55	26		
4,54	1.183	5,05	193	5,56	25		
4,55	1.144	5,06	185	5,57	24		
4,56	1.107	5,07	179	5,58	23		
4,57	1.070	5,08	172	5,59	22		
4,58	1.035	5,09	165	5,60	21		

Catatan: Tabel konversi ini mencakup pengeseran 1,5-sigma untuk semua nilai Z

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Malang pada tanggal 13 September 1988 yang merupakan putri bungsu dari pasangan Sutrisno dan Endang Anggit Catur. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Kauman 1 Malang pada tahun 2000, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Malang dan lulus pada tahun 2003. Selanjutnya pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 3 Malang dan lulus pada tahun 2006.

Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan kuliah di Program Studi Kimia Institut Teknologi Bandung dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 2011. Selama masa pendidikan hingga perkuliahan, penulis aktif dalam bidang kesenian yaitu Paduan Suara Mahasiswa dan Persatuan Seni Tari dan Karawitan Jawa dimana sering menampilkan pertunjukan kesenian dan mengikuti perlombaan hingga tingkat Nasional. Pada tahun 2012, penulis memulai karir di PT. Pindad (Persero) sebagai *Process Engineer* dalam Bidang Bahan Peledak dan Pyroteknik. Selama berkarir, penulis aktif mengikuti training di Bidang Bahan Peledak (*Explosives*) dan Bahan Pendorong (*Propellant*). Penulis juga merupakan *trainer* bagi mahasiswa TNI-AD dan *vuurwerker*. Penulis menikah pada tahun 2014 dan melahirkan putra pertamanya pada tahun 2015. Saat ini penulis tetap aktif bekerja di PT. Pindad (Persero) sebagai Inspektur Mutu Analisa dan Evaluasi serta Pemeriksaan Material Masuk khususnya Material Kimia Bahan Peledak.