



**TUGAS AKHIR - KS184822**

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK *BILLET*  
BAJA KS1008 DI PT KRAKATAU STEEL CILEGON  
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MAXIMUM  
MULTIVARIATE EXPONENTIAL WEIGHTED  
MOVING AVERAGE (MAX-MEWMA)***

**TB. ELGI FATURAHMAN SYAHPUTRA  
NRP 0621 154 000 0121**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, M.T  
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**



**TUGAS AKHIR - KS184822**

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK *BILLET*  
BAJA KS1008 DI PT KRAKATAU STEEL CILEGON  
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MAXIMUM  
MULTIVARIATE EXPONENTIAL WEIGHTED  
MOVING AVERAGE (MAX-MEWMA)***

**TB. ELGI FATURAHMAN SYAHPUTRA  
NRP 0621 154 000 0121**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, M.T  
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT - KS184822**

**QUALITY CONTROL OF BILLET STEEL KS1008 AT PT  
KRAKATAU STEEL CILEGON USING MAXIMUM  
MULTIVARIATE EXPONENTIAL WEIGHTED MOVING  
AVERAGE (MAX-MEWMA) CONTROL CHART**

**TB. ELGI FATURAHMAN SYAHPUTRA  
SN 0621 154 000 0121**

**Supervisors**

**Dr. Muhammad Mashuri, M.T**

**Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si., M.Sc.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK *BILLET* BAJA  
KS1008 DI PT KRAKATAU STEEL CILEGON  
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MAXIMUM  
MULTIVARIATE EXPONENTIAL WEIGHTED MOVING  
AVERAGE (MAX-MEWMA)***

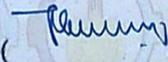
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika  
pada  
Program Studi Sarjana Departemen Statistika  
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Tb. Elgi Faturahman Syahputra**  
NRP. 0621 154 000 0121

Disetujui Oleh Pembimbing:  
**Dr. Muhammad Mashuri, M.T**  
NIP. 19620408 198701 1 001  
**Ni Luh Putu S. P. P, S.Si, M.Sc**  
NIP. 1991201712036

()  
()

Mengetahui,  
Kepala Departemen

  
**Dr. Suhartono**  
NIP. 19710929 199512 1 001



**SURABAYA, JULI 2019**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK *BILLET* BAJA  
KS1008 DI PT KRAKATAU STEEL CILEGON  
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MAXIMUM  
MULTIVARIATE EXPONENTIAL WEIGHTED MOVING  
AVERAGE (MAX-MEWMA)***

**Nama Mahasiswa** : Tb. Elgi Faturahman Syahputra  
**NRP** : 0621 154 000 0121  
**Departemen** : Statistika  
**Dosen Pembimbing I** : Dr. Muhmmad Mashuri, M.T  
**Dosen Pembimbing II** : Ni Luh Putu S. P. P, S.Si., M.Sc.  
**Abstrak**

*Industri baja sebagai industri strategis yang digunakan sebagai bahan baku penting bagi industri-industri secara keseluruhan. PT Krakatau Steel merupakan produsen baja terpadu yang pertama di Indonesia dan menjadi pemimpin pasar di industri baja dalam negeri. Unit produksi yang menjadi fokus penelitian ini adalah pabrik billet baja. Pada penelitian ini digunakan grafik kendali Max-MEWMA. Hasil grafik kendali Max-MEWMA pada fase satu telah terkendali secara statistik pada iterasi 3 setelah menghilangkan 11 pengamatan sehingga dilanjutkan pada pengendalian fase dua. Pada penerapan fase dua grafik kendali belum terkendali secara statistik. Mangan (Mn) merupakan variabel yang berkontribusi besar dalam menyebabkan pengamatan out of control pada penelitian ini. Dengan diperkuat dengan 6 faktor penyebab utama proses produksi billet baja KS1008 tidak terkendali secara statistik. Kapabilitas dengan indeks  $MP_p$  kinerja proses produksi billet baja KS1008 potensi sudah baik dan mencapai ragam atau sebaran yang diinginkan Perusahaan, sedangkan dengan menggunakan indeks  $MP_{pk}$  secara multivariat proses memiliki aktual yang rendah sehingga kinerja proses produksi billet baja di PT Krakatau Steel tidak kapabel.*

***Kata Kunci: Analisis kapabilitas, Billet Baja, Grafik kendali Max-MEWMA, Pengendalian Kualitas***

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# QUALITY CONTROL OF BILLET STEEL KS1008 AT PT KRAKATAU STEEL CILEGON USING MAXIMUM MULTIVARIATE EXPONENTIAL WEIGHTED MOVING AVERAGE (MAX-MEWMA) CONTROL CHART

**Name** : Tb. Elgi Faturahma Syahputra  
**Student Number** : 0621 154 000 0121  
**Department** : Statistics  
**Supervisor I** : Dr. Muhammad Mashuri, M.T  
**Supervisor II** : Ni Luh Putu S. P. P, S.Si., M.Sc.

## Abstract

*The steel industry as a strategic industry is used as an important raw material for the industries as a whole. PT Krakatau Steel is the first integrated steel producer in Indonesia and becomes the market leader in the domestic steel industry. The production unit that is the focus of this research is the steel billet factory. In this study Max-MEWMA control charts were used. The results of the Max-MEWMA control chart in phase one have been statistically controlled in iteration 3 after removing 10 observations so that they are continued in phase two control. In the application of phase two graph control is not statistically controlled. Mangan (Mn) is a variable that contributes greatly to causing out of control observations in this study. With strengthened by 6 main factors, the KS1008 steel billet production process is not statistically controlled. The capability with the  $MP_p$  index of billet steel KS1008 production process performance is good and reaches the desired range or distribution of the Company, while using the  $MP_{pk}$  index in a multivariate process has the potential and actual low so that the production process of billets steel at PT Krakatau Steel is not capable.*

**Keywords:** *Capability Analysis, Billet Steel, Max-MEWMA Control Chart, Statistical Quality Control*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengendalian Kualitas Produk *Billet* Baja KS1008 di PT Krakatau Steel Cilegon Menggunakan Grafik Kendali *Maximum Multivariate Exponential Weighted Moving Average (MAX-MEWMA)*”** dengan baik. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, ibu, adek, dan seluruh keluarga penulis atas segala doa, kasih sayang, nasihat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika dan sekaligus dosen wali yang telah memberikan banyak fasilitas serta nasihat dan saran yang telah diberikan untuk kelancaran penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T dan ibu Ni Luh Putu Satyaning P.Paramitha, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan nasihat, kritik, saran dan waktu yang kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Wibawati S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, MS. selaku dosen penguji atas saran dan kritiknya yang sangat membangun.
5. Teman-teman yang membantu mengedukasi penulis Iman Rais Afandy, Hendri Prabowo, Bina Asri, dan Hera Aulia.
6. Teman-teman Departemen Hubungan Luar (HUBLU) HIMASTA-ITS 2016/2017 dan kabinet HIMASTA-ITS 2017/2018 yang telah membantu pengembangan *softskills* penulis, serta teman-teman seperjuangan Vivacious 2015  $\Sigma$ 26.
7. Semua pihak yang mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir

Besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juli 2019

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
2.1 Uji Dependensi Antar Variabel.....	9
2.2 Uji Normal Multivariat .....	9
2.3 Pengendalian Kualitas.....	10
2.4 Grafik Kendali <i>Maximum Multivariate</i> <i>Exponential Weighted</i> <i>Moving Average (Max-MEWMA)</i> .....	11
2.5 Diagram Ishikawa .....	15
2.6 Kapabilitas Proses.....	15
2.7 Baja.....	17
2.8 Profil PT Krakatau Steel .....	19
2.9 Proses Produksi <i>Billet</i> Baja.....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	25
3.1 Sumber Data .....	25
3.2 Variabel Penilitan.....	25
3.3 Struktur Data.....	26
3.4 Langkah Analisis .....	27
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1 Karakteristik Kualitas <i>Billet</i> Baja Karbon KS100 .....	31
4.2 Pemeriksaan Dependensi Antar Variabel .....	33

4.3	Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat .....	34
4.4	Grafik Kendali <i>Maximum Multivariate Exponential Weighted Moving Average</i> (Max-MEWMA).....	35
4.4.1	Penentuan Interval Keputusan .....	35
4.4.2	Pengendalian Kualitas <i>Billet</i> Baja KS1008 Fase I.....	37
4.4.3	Pengendalian Kualitas <i>Billet</i> Baja KS1008 Fase II .....	43
4.5	Identifikasi <i>Out of Control</i> .....	44
4.5.1	Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i> .....	44
4.5.2	Identifikasi <i>Out of Control</i> menggunakan Diagram Ishikawa.....	48
4.6	Analisis Kapabilitas Proses Kualitas <i>Billet</i> Baja.....	50
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		53
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran .....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		55
<b>LAMPIRAN</b> .....		57

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Ishikawa .....	15
<b>Gambar 2.2</b>	Logo PT Krakatau Steel.....	20
<b>Gambar 2.3</b>	Skema Proses Pembuatan <i>Billet</i> Baja.....	23
<b>Gambar 2.4</b>	Alur Proses Pembuatan <i>Billet</i> Baja .....	24
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Kendali Max-MEWMA Fase I.....	40
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Kendali Max-MEWMA Fase I (1) .....	41
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Kendali Max-MEWMA Fase I ( <i>Final</i> ).....	42
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Kendali Max-MEWMA Fase II.....	43
<b>Gambar 4.5</b>	Identifikasi <i>Out of Control</i> Karbon-Silicon .....	45
<b>Gambar 4.6</b>	Identifikasi <i>Out of Control</i> Karbon-Mangan .....	46
<b>Gambar 4.7</b>	Identifikasi <i>Out of Control</i> Silicon-Mangan .....	47
<b>Gambar 4.8</b>	Diagram Ishikawa Proses Produksi <i>Billet</i> Baja.....	49

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Variabel Penelitian .....	26
<b>Tabel 3.2</b>	Struktur Data.....	27
<b>Tabel 4.1</b>	Deskripsi Karakteristik Kualitas Billet Baja KS1008 Fase I.....	32
<b>Tabel 4.2</b>	Deskripsi Karakteristik Kualitas Billet Baja KS1008 Fase II.....	33
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Uji KMO dan Barlett.....	34
<b>Tabel 4.4</b>	<i>Shapiro-Wilk Normality Test</i> .....	34
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil ARL menggunakan simulasi .....	36
<b>Tabel 4.6</b>	Perhitungan Analisis Kapabilitas Univariat.....	51

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b>	Data Karakteristik Kualitas <i>Billet</i> Baja .....	57
<b>Lampiran 2.</b>	Hasil $M_i$ Pembuatan Grafik Kendali Max-MEWMA Pertama .....	58
<b>Lampiran 3.</b>	Hasil $M_i$ Pembuatan Grafik Kendali Max-MEWMA Setelah Iterasi Pertama .....	59
<b>Lampiran 4.</b>	Hasil $M_i$ Pembuatan Grafik Kendali Max-MEWMA Setelah Iterasi Kedua .....	60
<b>Lampiran 5.</b>	Hasil $M_i$ Pembuatan Grafik Kendali Max-MEWMA Terkendali .....	61
<b>Lampiran 6.</b>	Hasil $M_i$ Pembuatan Grafik Kendali Max-MEWMA Fase II .....	62
<b>Lampiran 7.</b>	Pengujian Asumsi Grafik Kendali Multivariat .	63
<b>Lampiran 8.</b>	<i>Syntax</i> Pembuatan plot Grafik Kendali .....	64
<b>Lampiran 9.</b>	Simulasi Nilai Batas kendali atas .....	64
<b>Lampiran 10.</b>	Kapabilitas Proses .....	65
<b>Lampiran 11.</b>	Surat Keterangan Penelitian di PT Krakatau Steel Cilegon .....	67
<b>Lampiran 12.</b>	Surat Keterangan Validasi dan Publikasi .....	68

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dunia industri memegang peran penting dalam era pembangunan di Indonesia. Munculnya industri kecil dan besar baik perusahaan swasta maupun perusahaan negara akan menjadi tonggak dalam memajukan bangsa. Hanya perusahaan yang mempunyai daya saing yang tinggi yang dapat bertahan di dalam usaha meningkatkan keuntungan. Dalam dunia perindustrian kualitas atau mutu produk dan produktivitas adalah kunci keberhasilan bagi berbagai sistem produksi. Keduanya merupakan kriteria kinerja perusahaan yang sangat penting baik bagi perusahaan yang berorientasi keuntungan dalam memajukan perusahaan. Kemampuan perusahaan menghasilkan produk barang atau jasa yang bermutu tinggi merupakan kunci bagi posisi persaingan dan prospek keberhasilan jangka panjangnya. Kualitas dapat diartikan sebagai tingkat atau ukuran kesesuaian suatu produk dengan pemakainya, dalam arti sempit kualitas diartikan sebagai tingkat kesesuaian produk dengan standar yang telah ditetapkan (Alisjahbana, 2005) .

Suatu produk dikatakan berkualitas baik apabila dapat memenuhi kebutuhan dan keinginan pelanggan atau dapat diterima oleh pelanggan sebagai batas spesifikasi, dan proses yang baik yang akan diberikan oleh produsen sebagai batas kontrol. Selain pembentukan standar sebagai batas kontrol dapat dilakukan pula berupa pelaksanaan proses produksi yang baik yakni sesuai dengan prosedur yang ada sehingga kualitas produk yang dihasilkan tetap terjaga. Industri baja sebagai industri strategis yang digunakan sebagai bahan baku penting bagi industri-industri secara keseluruhan, baik untuk infrastruktur (pembangunan gedung, jalan, jembatan, dan telekomunikasi), produksi barang modal (mesin pabrik dan material pendukung serta suku cadangnya), alat transportasi (kapal laut, kereta api dan relnya), otomotif, hingga persenjataan. Indonesia termasuk salah satu konsumen sekaligus

produsen baja yang besar. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian, industri logam dasar besi dan baja Indonesia tumbuh sebesar 12,74% pada semester I tahun 2012 dan saat ini konsumsi baja di Indonesia mencapai 12,54 juta ton.

PT Krakatau Steel merupakan produsen baja terpadu yang pertama di Indonesia dan menjadi pemimpin pasar di industri baja dalam Negeri. Perusahaan ini mengolah bijih besi dalam bentuk setengah jadi maupun bahan jadi untuk dipasarkan kepada konsumen. Perusahaan ini memiliki enam unit produksi. Unit produksi yang menjadi fokus penelitian ini adalah unit produksi pada pabrik *billet* baja, karena jenis *billet* baja karbon rendah tersebut adalah yang paling sering diproduksi dan sering digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Pabrik *billet* baja memproduksi berbagai macam baja dengan grade yang berbeda-beda, salah satunya adalah baja karbon rendah dengan *grade* KS1008. Karena yang paling banyak diproduksi. *Billet* baja karbon rendah yang diproduksi harus memenuhi unsur-unsur kimia, yaitu Karbon (C), Silicon (Si), Mangan (Mn) dan unsur-unsur kimia lainnya. Unsur-unsur kimia tersebut dilakukan *monitoring* secara rutin di lab kimia oleh Departemen Quality Control dan Quality Assurance (BSP, 2016).

Pengendalian kualitas produksi baja karbon rendah juga masih sulit dilakukan karena terdapat beberapa baja yang tidak sesuai dengan standar spesifikasi *grade* yang akan dibuat. Berdasarkan data dari Departemen Quality Control dan Quality Assurance bahwa produk *billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008 pada produksi bulan Oktober 2017 hingga April 2018 mengalami rata-rata kecacatan sebesar 5% dengan jenis kecacatan yang mendominasi pada produk *billet* baja karbon rendah *grade* KS1008 yaitu jenis kecacatan pin hole dengan rata-rata sebesar 0,75%. Persentase cacat ini masih tergolong tinggi dan perlu diturunkan. Hal tersebut menyebabkan beberapa hal, diantaranya adalah apabila baja yang diproduksi masih dapat diubah menjadi baja dengan *grade* yang lain maka baja tersebut akan diubah menjadi *grade* yang sesuai dengan komposisi kimia pada baja yang

diproduksi, namun jika tidak dapat dilakukan hal tersebut maka baja tersebut ditolak (*reject*) sehingga perubahan *grade billet* baja tersebut mengakibatkan menurunnya jumlah target pada pesanan (*order*) (BSP, 2016). Pengendalian terhadap produk yang keluar dari batas spesifikasi sangat diperlukan mengingat hal tersebut merupakan salah satu cara untuk menjaga dan meningkatkan kualitas dari *billet* baja KS1008. Ketika pengukuran menunjukkan hasil variabel yang terlalu tinggi dari batas spesifikasi tetapi tidak dilakukan pengendalian, maka akan terjadi kerugian berupa bahan baku yang habis sebelum waktunya, sehingga akan terjadi pemborosan bahan baku dan biaya. Pada penggunaannya, unsur-unsur kimia seperti C, Si atau Mn tidak boleh terlalu rendah ataupun terlalu tinggi. Maka dari itu kualitas *billet* baja KS1008 yang diproduksi sangat diutamakan. Hal ini juga dilakukan agar produk perusahaan, khususnya *billet* baja KS1008 PT Krakatau Steel dapat bersaing dengan produk baja lainnya. Maka dari itu, perlu dilakukan pengendalian kualitas secara statistika agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan sehingga jumlah target pesanan dapat dicapai dan mutu terjamin. Pengendalian kualitas ditunjukkan untuk menjamin suatu produk/jasa yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi tertentu.

Pengendalian kualitas statistik merupakan alat statistika yang mampu mengontrol dan memonitor suatu produk atau proses produksi. Untuk mencapai tujuan tersebut, salah satunya dengan menggunakan grafik kendali. Grafik kendali adalah suatu alat yang secara grafis digunakan untuk memonitor dan mengevaluasi apakah suatu aktivitas/proses berada dalam pengendalian kualitas secara statistika atau tidak sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas (Heizer & Render, 2008). Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, selama ini produk *Billet* Baja karbon rendah di PT Krakatau Steel belum dilakukan pengendalian kualitas secara statistik. Sebagai bentuk informasi dan rekomendasi pada PT Krakatau Steel yang sedang berkonsentrasi pada kuantitas dan kualitas produk, maka dari itu

akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada *billet* baja agar kedepannya terdapat peningkatan dari kualitas *billet* baja.

Penelitian mengenai pengendalian kualitas statistik terkait kekuatan baja di PT Krakatau Steel telah dilakukan sebelumnya, antara penelitian (Pertiwi, Erfiani, & Kusumaningrum, 2013) pada *billet* baja karbon tinggi menggunakan grafik kendali *generalized variance* dan grafik kendali  $T^2$  *Hotelling* yang menunjukkan bahwa dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 99,73% sudah terkendali setelah pengamatan yang berada di luar batas dihilangkan, artinya ragam dan rata-rata proses sudah terkendali. Pengamatan yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa terdapat beberapa baja yang belum sesuai dengan spesifikasi *grade* yang diinginkan, yaitu pada unsur kimianya. Hal tersebut mengakibatkan jumlah baja yang diproduksi tidak sesuai. Kemudian, penelitian (Fachrur, 2013) pada *wire rod steel* di PT Krakatau Steel menggunakan grafik kendali *generalized variance* dan *improved generalized variance*, maupun proses *mean*-nya dengan grafik kendali  $T^2$  *Hotelling* yang menunjukkan bahwa pada periode produksi bulan Januari 2013, proses terkendali dalam variabilitasnya, namun belum terkendali dalam proses *mean*-nya, pada periode produksi bulan Februari 2013 belum terkendali baik dalam variabilitas maupun proses *mean*-nya. Karakteristik kualitas yang menjadi penyebab utama tidak terkendalinya proses adalah *tensile strenght*. periode produksi bulan Januari dan Februari 2013 keduanya sudah kapabel karena nilai  $C_p$  yang didapatkan lebih besar dari 1 namun perlu diwaspadai karena secara univariat masih ada karakteristik kualitas yang prosesnya belum kapabel.

Selain itu ada grafik kendali yang lebih efektif dalam memonitor rata-rata dan varians proses yakni grafik kendali Max-MEWMA. Grafik kendali Max-MEWMA merupakan grafik kendali perkembangan dari grafik kendali MEWMA, dimana dalam penggunaannya lebih efektif dikarenakan secara simultan memonitor rata-rata dan varians proses secara simultan dalam 1 diagram (Xie, 1999). Selain itu, pada grafik kendali MEWMA, pergeseran variansi bisa mempengaruhi batas kontrol diagram rata-

rata. Pada kondisi ini diagram simultan lebih cocok digunakan dengan struktur data subgroup. Maka dari itu dipilih grafik kendali Max-MEWMA. Penggunaan grafik kendali multivariat ini dapat mendeteksi pergeseran proses yang disebabkan oleh penyebab-penyebab khusus sedini mungkin, sehingga dapat segera dilakukan tindakan perbaikan. Penelitian mengenai grafik kendali Max-MEWMA telah dilakukan oleh (Ghashghaei & Amiri, 2017) terkait perbandingan grafik kendali Max-MEWMA dan Max-CUSUM yang menunjukkan bahwa dalam mendeteksi pergeseran elemen varians kovarians matriks, grafik kendali Max-MEWMA adalah lebih baik daripada grafik kendali Max-MCUSUM. Dimana menunjukkan bahwa grafik kendali Max-MEWMA di bawah pergeseran kecil dan besar dalam intersep, kemiringan, dan standar deviasi dilakukan dengan memuaskan.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada *billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008 di PT Krakatau Steel melalui grafik kendali. Dari 10 variabel pengukuran yang diuji secara rutin, akan digunakan tiga variabel dalam komposisi *billet* baja karbon rendah antara lain Karbon (C), Silicon (Si), Mangan (Mn). Ketiga variabel ini merupakan variabel utama dan terpenting dalam komposisi *billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008 dengan standar spesifikasi pada masing-masing variabel. Komposisi kimia tersebut sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis dari produk yang dihasilkan dan memiliki hubungan satu sama lain secara kimiawi (Budinski, 2000). Sehingga ketika *setting formula* pada pabrik dilakukan, jika kandungan Karbon (C) dinaikkan maka akan mengurangi kandungan pada Mangan (Mn) dan Silicon (Si) kemudian jika kandungan Mangan (Mn) dan Silicon (Si) dinaikkan maka akan meningkatkan kandungan pada Karbon (C) sehingga antar variabel teridentifikasi saling berhubungann, maka dari itu digunakan grafik kendali multivariat yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses secara multivariat. Berdasarkan data dari perusahaan yakni Karbon (C), Silicon (Si), dan Mangan (Mn) mengalami pergeseran proses yang relatif kecil yaitu  $0,3\sigma$ ,  $0,002\sigma$ ,

dan  $0,62\sigma$  maka digunakan grafik kendali Max-MEWMA yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses kecil secara multivariat. Sehingga nantinya diharapkan dapat membuat proses produksi *billet* baja KS1008 stabil dan menghasilkan produk yang berkualitas serta sesuai spesifikasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi sinyal *out of control* pada setiap variabel penelitian. Maka dari itu dilakukan identifikasi variabel penyebab *out of control* menggunakan grafik kendali Max-MEWMA untuk setiap pasangan dua variabel dan juga menggunakan diagram ishikawa untuk mengetahui sumber penyebab pengamatan yang *out of control*.

Penelitian akan dilanjutkan dengan analisis kapabilitas proses yang bertujuan untuk mengukur kemampuan proses *billet* baja karbon rendah KS1008 dalam menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan (Montgomery, 2013). Hasil dari analisis kapabilitas ini juga bertujuan untuk mencegah dihasilkan produk cacat atau produk yang keluar spesifikasi yang lebih banyak kedepannya. Hal ini dilakukan dengan mengurangi variabilitas dalam proses manufaktur dan dari analisis tersebut dinyatakan dengan indeks kapabilitas proses. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dapat menjadi *early warning system* untuk Pabrik *Billet* Baja karbon rendah PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon dalam memonitor dan meningkatkan kualitas *Billet* Baja kedepannya

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengendalian kualitas statistik produk *billet* baja KS1008 di PT Krakatau Steel Cilegon menggunakan grafik kendali *Maximum Multivariate Exponential Weighted Moving Average* (Max-MEWMA)?
2. Bagaimana analisis penyebab masalah kecacatan dari proses produksi produk *billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008 di PT Krakatau Steel Cilegon?

3. Bagaimana analisis kapabilitas proses produksi produk *billet* baja KS1008 di PT Krakatau Steel Cilegon?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendeteksi kestabilan proses produksi *Billet* baja dengan *grade* KS1008 melalui monitoring rata-rata dan variansi pada karakteristik kualitas *billet* baja secara multivariat.
2. Menganalisa penyebab masalah kecacatan dari proses produksi produk *billet* baja dengan *grade* KS1008 di PT Krakatau Steel Cilegon.
3. Memperoleh hasil analisis kapabilitas dalam proses produksi *billet* baja KS1008 di PT Krakatau Steel Cilegon.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi PT Krakatau Steel sebagai saran dan rekomendasi kepada perusahaan berupa *early warning system* dalam melakukan peningkatan kualitas produk *Billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008. Pengendalian kualitas proses secara statistik dapat mendeteksi pergeseran proses, yang selanjutnya diharapkan dapat digunakan pula sebagai *continous improvement* pada PT Krakatau Steel.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan didalam penelitian ini yaitu produk yang digunakan dalam penelitian adalah produk *billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008 di PT Krakatau Steel yang diproduksi dari bulan Oktober 2017 hingga bulan April 2018. Dari 10 variabel kualitas yang diukur pada *billet* baja, yaitu Karbon (C), Silicon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Sulfur (S), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Krom (Cr), Vanadium (V), dan senyawa Karbon Equivalen (CE) variabel yang akan digunakan dari pengukuran pada penelitian ini adalah Karbon (C), Silicon (Si), dan Mangan (Mn) sebagai 3 variabel utama dari pengukuran kualitas *billet* baja karbon rendah.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini akan membahas beberapa kajian pustaka yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mengenai pengendalian kualitas produk *Billet* Baja di PT Krakatau Steel.

#### 2.1 Uji Dependensi Antar Variabel

Metode *bartlett test* akan digunakan untuk menguji korelasi antar karakteristik kualitas ini. Uji *Bartlett Sphericity* merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui apakah matrik korelasi sama dengan matrik identitas, serta untuk mengetahui apakah terdapat hubungan (korelasi) antar variabel. Hipotesis dan statistik uji dari pengujian korelasi yang digunakan adalah sebagai berikut (Morrison, 1990).

$H_0 : \rho = I$  (tidak ada korelasi antar karakteristik kualitas)

$H_1 : \rho \neq I$  (terdapat korelasi antar karakteristik kualitas)

Statistik uji:

$$\chi^2 = -\left(m - 1 - \frac{2p+5}{6}\right) \ln |\mathbf{R}|, \quad (2.1)$$

di mana:

$m$  : jumlah observasi ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$p$  : jumlah karakteristik kualitas ( $j = 1, 2, \dots, p$ )

$\mathbf{R}$  : matrik korelasi dari masing-masing karakteristik kualitas

$|\mathbf{R}|$  : determinan matrik korelasi

Dari hipotesis dan statistik uji diatas, dapat diketahui bahwa daerah penolakan  $H_0$  yaitu apabila nilai  $\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$  pada taraf signifikansi  $\alpha$  atau  $p\text{-value} < \alpha$  sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antar variabel.

#### 2.2 Uji Distribusi Normal Multivariat

Pengujian normal multivariat dilakukan untuk mengetahui data hasil pengamatan mengikuti distribusi normal atau tidak. Suatu pengamatan  $X_1, X_2, \dots, X_p$  berdistribusi normal multivariat dengan parameter  $\mu$  dan  $\Sigma$  jika memiliki fungsi densitas sebagai berikut (Razali & Wah, 2011).

$$f(X) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(X-\mu)^T \Sigma^{-1} (X-\mu)} \quad (2.2)$$

Pengujian distribusi normal multivariat dilakukan dengan pengujian Saphiro Wilks menggunakan hipotesis sebagai berikut (Alva & Estrada, 2009).

$H_0: F(x) = F_{w^*}(x)$  (Data berdistribusi normal multivariat)

$H_1: F(x) \neq F_{w^*}(x)$  (Data tidak berdistribusi normal multivariat)

Statistik uji:

$$W^* = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p W_{Z_i} \quad (2.3)$$

dengan  $W_{Z_i}$  adalah statistik *Shapiro-Wilk* berdasarkan observasi ke- $i$  dari pengamatan tranformasi  $Z_{i1}, \dots, Z_{in}$ ,  $i = 1, \dots, p$ . Variabel dikatakan mengikuti distribusi normal multivariat jika nilai statistik uji mendekati 1, sebaliknya jika nilai statistik uji kecil atau jauh dari 1 maka dikatakan tidak mengikuti distribusi normal multivariat. Selain itu data dapat dikatakan berdistribusi normal multivariat jika  $p\text{-value} > \alpha$  pada tingkat signifikansi  $\alpha$ .

### 2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas proses merupakan alat penyelesaian sebuah masalah untuk mencapai proses yang stabil serta mampu mengurangi variabilitas (Montgomery, 2013). Menurut (Iriawan, 2006), tujuan dari *Statistical Process Control* (SPC) yaitu untuk menggambarkan variabilitas yang dapat dikendalikan atau tidak dapat dikendalikan. Salah satu alat SPC adalah Grafik kendali (*control chart*). Grafik kendali merupakan metode statistik yang membedakan adanya variasi atau penyimpangan karena sebab umum dan sebab khusus.

Menurut (Montgomery, 2013), grafik kendali terdiri dari tiga bagian yaitu batas kendali atas (*upper center line*), garis tengah (*center line*), dan batas kendali bawah (*lower center line*). Proses dikatakan dalam keadaan terkendali jika titik-titik pengamatan terletak didalam batas kendali, sebaliknya jika titik-titik pengamatan berada diluar batas kendali maka proses dikatakan tidak terkendali. Berdasarkan karakteristik kualitas, Grafik kendali

dibedakan menjadi Grafik kendali atribut dan Grafik kendali variabel.

Grafik kendali variabel adalah grafik kendali yang digunakan untuk mengukur *mean* dan variabilitas proses dari suatu karakteristik kualitas, seperti dimensi, berat, atau volume. Grafik kendali variabel dibagi menjadi grafik kendali univariat dan grafik kendali multivariat. Grafik kendali univariat digunakan untuk satu karakteristik kualitas, sedangkan grafik kendali multivariat digunakan untuk dua atau lebih karakteristik kualitas (Heizer & Render, 2008). Untuk mengendalikan rata-rata dan varians proses, grafik kendali multivariat salah satunya adalah grafik kendali MEWMA (Montgomery, 2013).

Melakukan pengendalian kualitas dengan grafik kendali biasanya menggunakan dua fase. Fase I digunakan untuk mengumpulkan informasi dari pengamatan ketika proses berlangsung dalam keadaan normal. Pada fase I nilai batas limit baik untuk batas kendali atas maupun batas kendali bawah dihasilkan dari data pengamatan. Ketika terdapat pengamatan yang *out of control* maka perlu dicari penyebabnya, kemudian dihapus dan dihitung kembali. Pada fase II dilakukan pengawasan menggunakan hasil perhitungan pada batas kendali fase satu yang sudah berada dalam keadaan *in control* (Montgomery, 2013).

#### **2.4 Grafik Kendali *Maximum Multivariate Exponential Weighted Moving Average* (Max-MEWMA)**

Dalam metode ini, asumsi bahwa sebuah proses terdiri dari karakteristik kualitas  $k$  dilambangkan dengan  $X$ , dengan  $X \sim N_k(\mu, \Sigma)$  dan  $X_{i2}, \dots, X_{in}$ ,  $i = 1, 2, \dots, i$  adalah ukuran sampel  $n$  yang dibuat dari proses. Misalkan  $\mu_0$  dan  $\Sigma_0$  menjadi vektor rata-rata dan matriks kovarian yang diinginkan masing-masing. Asumsikan bahwa vector acak  $X_{ij}$  tidak saling tergantung satu sama lain, baik di dalam sampel dan di antara sampel.

Pertama, untuk memantau vektor rata-rata proses. Diketahui  $\bar{X}_i = n^{-1} \sum_{j=1}^n X_{ij}$  menjadi vektor rata-rata sampel per subgroup.

Sehingga, Nilai statistik  $Z_i$  pada grafik kendali Max-MEWMA didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{Z}_i = (1 - \lambda)\mathbf{Z}_{i-1} + \lambda(\bar{\mathbf{X}}_i - \boldsymbol{\mu}_0) \quad (2.4)$$

dengan  $Z_0$  adalah titik awal dan  $\boldsymbol{\mu}_0$  adalah vektor rata-rata sampel total.  $\lambda$  adalah smoothing parameter yang bernilai  $0 \leq \lambda \leq 1$ . Ketika  $Z_0 = \boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_0$ . Kemudian sebagai berikut.

$$E(\mathbf{Z}_i) = \boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_0 \quad (2.5)$$

dan

$$Cov(\mathbf{Z}_i) = \frac{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]}{n(2-\lambda)} \boldsymbol{\Sigma} \quad (2.6)$$

karena itu,

$$\mathbf{Z}_i \sim N_k(\boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_0, Cov(\mathbf{Z}_i)) \quad (2.7)$$

dan

$$T_i = \frac{n(2-\lambda)}{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]} \mathbf{Z}_i' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} \mathbf{Z}_i \sim X_{k, \delta^2}^2 \quad (2.8)$$

dengan  $Cov(\cdot)$  adalah fungsi covarians dari sebuah distribusi multivariat,  $\boldsymbol{\Sigma}^{-1}$  adalah invers dari  $\boldsymbol{\Sigma}$ , dan  $k$  dan  $\delta^2$  masing-masing merupakan derajat kebebasan dan parameter non centrality dari non central distribusi *chi-square* dengan  $\delta^2 = \left\{ \frac{n}{2-\lambda} \left[ \lambda[1 - (1-\lambda)^{2i}] \right] \right\} (\boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_0)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_0)$ .

Statistik grafik kendali Max-MEWMA untuk memantau proses vektor rata-rata didefinisikan sebagai berikut.

$$U_i = \Phi^{-1} \left[ H_k \left\{ \frac{n(2-\lambda)}{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]} \mathbf{Z}_i' \boldsymbol{\Sigma}_0^{-1} \mathbf{Z}_i \right\} \right] \quad (2.9)$$

dengan  $H_k(\cdot)$  adalah fungsi distribusi *chi-square* dengan  $k$  adalah derajat kebebasan.  $\Phi(\cdot)$  adalah fungsi distribusi normal standar dan  $\Phi^{-1}$  adalah invers dari  $\Phi(\cdot)$ . Untuk memantau grafik kendali Max-MEWMA pada proses variabilitas, didefinisikan sebagai berikut.

$$W_i = \sum_{j=1}^n (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_i)' \boldsymbol{\Sigma}_0^{-1} (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_i) \quad (2.10)$$

sehingga  $W_i \sim X_{k, (n-1)}^2$  ketika  $\boldsymbol{\Sigma} = \boldsymbol{\Sigma}_0$ , dan nilai statistik  $Y_i$  pada grafik kendali Max-MEWMA didefinisikan sebagai berikut.

$$Y_i = (1 - \lambda)Y_{i-1} + \lambda\Phi^{-1}\{H_{k, (n-1)}(W_i)\} \quad (2.11)$$

dengan  $Y_0$  adalah titik awal dan sama dengan nol.  $\lambda$  adalah smoothing parameter yang bernilai  $0 \leq \lambda \leq 1$ . Ketika variabilitas proses terkendali ( $\Sigma = \Sigma_0$ ) dan  $Y_0 = 0$ , Maka sebagai berikut.

$$E(Y_i) = 0 \quad (2.12)$$

dan

$$Var(Y_i) = \frac{\lambda[1-(1-\lambda)^{2k}]}{2-\lambda} \quad (2.13)$$

Sebuah statistik grafik kendali Max-MEWMA untuk memantau proses variabilitas didefinisikan sebagai berikut.

$$V_i = \sqrt{\frac{2-\lambda}{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]}} Y_i \quad (2.14)$$

Diketahui bahwa statistik  $U_i$  dan  $V_i$  masing-masing bersifat independen. Ketika  $\mu = \mu_0$ ,  $\Sigma = \Sigma_0$ ,  $Z_0 = 0$ , dan  $Y_0 = 0$ , maka kedua  $U_i$  dan  $V_i$  mengikuti distribusi normal standar. Sehingga, berdasarkan pada  $U_i$  dan  $V_i$ , statistik baru untuk multivariat *single chart* akan didefinisikan sebagai berikut.

$$M_i = \max\{|U_i|, |V_i|\} \quad (2.15)$$

Karena  $M_i$  adalah maksimum  $U_i$  dan  $V_i$ , yaitu berdasarkan nilai absolut dari dua Statistik *Multivariate Weighted Eksponential Statistik Moving Average* (MEWMA). Maka hal itu wajar untuk menyebutkan grafik baru yaitu grafik Max-MEWMA (Chen, Cheng, & Xie, 2005). Berdasarkan statistik  $U_i$  dan  $V_i$  akan mengikuti distribusi normal standar maka sesuai dengan referensi (Montgomery, 2013) bahwa MEWMA *robust* terhadap asumsi distribusi normal. Nilai besar  $M_i$  untuk grafik Max-MEWMA menunjukkan bahwa proses vektor rata-rata dan/atau matrix kovarians telah bergeser dari  $\mu_0$ . Di sisi lain, nilai kecil  $M_i$  menyiratkan bahwa proses vektor rata-rata dan variabilitas tetap dekat ke nilai nominalnya. Karena  $M_i$  adalah *non-negative*, keadaan awal dari grafik kendali Max-MEWMA hanya didasarkan pada bagian atas batas kendali ( $h$ ). Jika  $M_i > h$ , grafik kendali terpicu alarm di luar kendali. Dimana  $h > 0$  adalah dipilih untuk mencapai ARL in-control tertentu.

i. Batas Kendali dari Max-MEWMA

Karena  $U_i$  dan  $V_i$  independen mengikuti distribusi normal standar. Diberikan bahwa  $\mu = \mu_0$  dan  $\Sigma = \Sigma_0$ . *In control* CDF dari  $M_i$  ditemukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F(y; \mu_0, \Sigma_0) &= P(M_i \leq y | \mu = \mu_0, \Sigma = \Sigma_0) \\ &= P(|U_i| \leq y, |V_i| \leq y) \\ &= P(|U_i| \leq y)P(|V_i| \leq y) \\ &= [2\phi(y) - 1]^2 \quad y \geq 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

*Probability density function* (PDF) terkendali dari  $M_i$  adalah sebagai berikut.

$$f(y; \mu_0, \Sigma_0) = 4\phi(y)[2\phi(y) - 1]^2 \quad (2.17)$$

dengan  $\phi(\cdot)$  adalah fungsi distribusi kumulatif normal standar Karena  $M_i$  adalah *non-negative*. Grafik kendali Max-MEWMA hanya memerlukan batas kendali atas (UCL). Maka dari itu, UCL adalah sebagai berikut.

$$UCL = E(M_i) + L\sqrt{\text{Var}(M_i)} \quad (2.18)$$

dengan L adalah sebuah perkalian dan mengontrol perfroman dari grafik dengan  $\lambda$  untuk nilai spesifikasi dari *in control* ARL dan  $E(M_i)$  dan  $\text{Var}(M_i)$  diperoleh secara numerik (Ridgon & Champ, 1987).

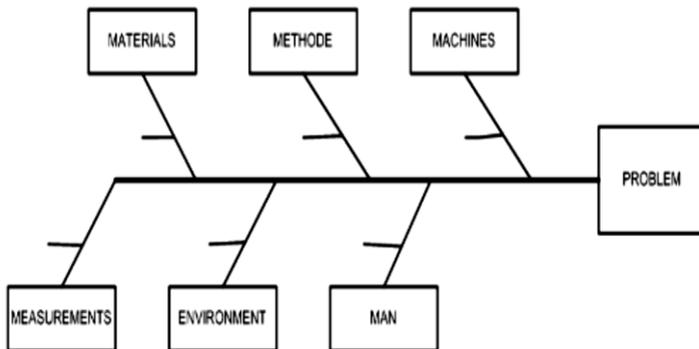
ii. Penentuan Batas Atas

Penentual Batas Atas atau biasanya dikenal dengan batas kendali atas didapatkan melalui pendekatan dengan kriteria nilai *Average Run Length* atau ARL. *Average Run Length* (ARL) merupakan rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga didapatkan titik *out of control* pertama (Montgomery, 2013). ARL untuk grafik kendali multivariat bisa sangat rumit jika perubahan matriks kovarians proses diperhatikan. Bahkan untuk grafik |S| yang banyak digunakan, tampak tidak ada yang mengevaluasi kinerja ARLnya. dihasilkan dari struktur kompleks dari matriks kovarians proses. Performa ARL untuk grafik Max-MEWMA diberikan sehubungan dengan nilai  $\lambda$ , k, n yang berbeda. Pergeseran dalam proses rata-rata vektor dan perubahan dalam proses matriks kovarians. Untuk grafik Max-MEWMA tidak ada cara langsung untuk menghitung ARL. sehingga setiap nilai ARL

diperoleh dengan menggunakan 10.000 simulasi (Lowry, 1989). Dalam penelitian tersebut, ARL terkendali yang digunakan sebesar 370.

## 2.5 Diagram Ishikawa

Diagram tulang ikan atau *fishbone* diagram adalah salah satu metode atau *tools* di dalam meningkatkan kualitas. Sering juga diagram ini disebut dengan diagram sebab-akibat atau *cause-effect* diagram. Diagram sebab akibat merupakan alat yang digunakan untuk mencari dan atau menganalisa penyebab timbulnya masalah sehingga memudahkan cara mengatasinya. Untuk memudahkan mencari faktor-faktor penyebab, pada umumnya faktor-faktor tersebut dikelompokkan kedalam enam faktor utama, yaitu 5M+1E yang terdiri dari *material*, *man*, *methods*, *machine*, *measurement*, dan *environment* (Montgomery, 2013).



Sumber: (Montgomery, 2013)

**Gambar 2.1** Diagram Ishikawa

Selain itu diagram ishikawa juga dapat digunakan sebagai pedoman untuk berdiskusi dan mengambil kebijakan sebagai penanganan kompleks (Gustami, 2011). Contoh diagram ishikawa dapat dilihat pada Gambar 2.1.

## 2.6 Kapabilitas Proses

Pengendalian kualitas statistik hanya dapat memonitoring proses yang sedang berjalan, tetapi tidak dapat menganalisa secara

kuantitatif, sehingga digunakan indeks kapabilitas proses untuk mengetahui suatu proses berjalan secara kapabel (nilai  $C_p \geq 1,33$ ) atau tidak. Indeks kapabilitas adalah ukuran kuantitatif proses untuk melihat kapabilitas dari suatu proses. Analisis kapabilitas proses merupakan analisis yang dilakukan untuk mengukur kemampuan proses pada suatu produk dalam memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Proses dikatakan kapabel apabila dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi, serta tingkat presisi dan akurasi tinggi. Berdasarkan standar 3-sigma, suatu produk dikatakan mampu apabila memiliki indeks kapabilitas lebih dari 1,33. Jika proses dalam keadaan terkendali maka indeks yang digunakan adalah  $C_p$  dan  $C_{pk}$ , sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan terkendali maka indeks kemampuan proses yang digunakan adalah  $P_p$  dan  $P_{pk}$  (Montgomery, 2013). Hal ini dikarenakan ketika proses dalam kondisi tidak terkendali, nilai varians tidak dapat ditaksir dari nilai sampel.  $C_p$  dan  $C_{pk}$  mempertimbangkan deviasi rata-rata dalam sub kelompok rasional. Perhitungan standar deviasi dengan menggunakan konstanta ( $\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}$ ), yang hanya memperhatikan faktor penyebab umum (Montgomery, 2013). Sedangkan  $P_p$  dan  $P_{pk}$  mengatur penyimpangan berdasarkan data yang diteliti, dengan menghitung perhitungan standard deviasi total, yang mempertimbangkan faktor *penyebab khusus* dan *penyebab umum*. Perhitungan indeks  $C_p$  dan  $C_{pk}$  serta  $P_p$  dan  $P_{pk}$  adalah sebagai berikut.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.19)$$

Dalam pengaplikasiannya, proses standar deviasi  $\sigma$  hampir selalu tidak diketahui dan harus diestimasi. Untuk mengestimasi  $\sigma$  digunakan standar deviasi sampel  $s$  dengan rumus sebagai berikut.

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (2.20)$$

Untuk spesifikasi satu arah digunakan  $C_{pu}$  dan  $C_{pl}$  dengan rumus sebagai berikut.

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \quad C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}. \quad (2.21)$$

Indeks  $C_p$  tidak memperhitungkan perbedaan rata-rata proses terhadap rata-rata spesifikasi.  $C_{pk}$  merupakan perbaikan dari  $C_p$ , maka rumusnya adalah sebagai berikut.

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (2.22)$$

Jika  $C_p = C_{pk}$ , proses terpusat di rata-rata spesifikasi, dan tidak terpusat bila  $C_p < C_{pk}$ . Serupa dengan perhitungan  $C_p$ , kinerja tingkat  $P_p$  mempunyai rumus sebagai berikut.

$$\hat{P}_p = \frac{USL - LSL}{6s}, \quad (2.23)$$

di mana  $s$  adalah standar deviasi dari semua data yaitu

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}. \quad (2.24)$$

Untuk  $P_{pk}$  dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\hat{\sigma}}, \frac{\mu - LSL}{3\hat{\sigma}}\right). \quad (2.25)$$

Perhitungan indeks  $P_p$  dan  $P_{pk}$  untuk data multivariat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k P_{pk}(X_k) \quad (2.26)$$

$$MP_p = \sum_{k=1}^p W_k P_p(X_k) \quad (2.27)$$

$MP_p$  dan  $MP_{pk}$  berturut-turut merupakan bentuk  $P_p$  dan  $P_{pk}$  dalam keadaan multivariat dengan  $W_i$  merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan  $\sum_{k=1}^p W_k = 1$ . Nilai pembobot  $W_i$  disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditentukan oleh perusahaan, jika tidak ada maka pembobot dianggap sama (Raissi, 2009).

## 2.7 Baja

Logam dan paduannya dikelompokkan menjadi dua berdasarkan komposisi kimia, yaitu logam-logam besi (ferrous) dan logam bukan besi (non-ferrous). Besi adalah logam dan paduan yang unsur utamanya adalah besi (Fe) sedangkan logam bukan besi merupakan bahan yang mengandung sedikit atau sama sekali tidak mengandung unsur besi (Fe). Klasifikasi logam dan paduan besi adalah besi tuang (cast iron), baja karbon (karbon steel), baja paduan (alloy steel), dan baja spesial (speciality steel). (Rusmardi,

2006) menyatakan baja karbon adalah suatu baja yang mengandung karbon sampai maksimum 2%. Baja karbon dapat dibagi atas tiga bagian, yaitu:

- 1) Baja karbon rendah (mild steel) mengandung karbon antara 0,008% - 0,3%. Setiap satu ton baja karbon rendah mengandung 10 - 30 kg karbon. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis cold roll steel yang biasa digunakan untuk body kendaraan (Wirjosumarto, 2004).
- 2) Baja karbon sedang (medium) Baja karbon ini mengandung karbon antara 0,30% - 0,60%. Setiap ton baja karbon ini mengandung karbon antara 30 - 60 kg. Baja karbon sedang bisa dilas dengan las busur listrik elektroda terlindung dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang terbaik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan normalizing setelah pengelasan (Sack, 1997).
- 3) Baja karbon tinggi Baja karbon tinggi mengandung karbon antara 0,70% - 1,30% dan setiap satu ton mengandung karbon antara 70 - 130 kg. Baja karbon ini digunakan untuk keperluan yang memerlukan ketahanan terhadap defleksi, beban gesek dan temperatur tinggi seperti bearing, mata bor, palu, mata pahat, gergaji, blok silinder, cincin torak dan sebagainya (Amanto & Daryanto, 1999).

Komposisi kimia dalam baja memiliki fungsi masing-masing, yaitu:

- Unsur C berfungsi untuk meningkatkan kekuatan/kekerasan dari baja tetapi keuletannya akan menurun.
- Unsur Si berfungsi untuk meningkatkan kekuatan baja tanpa menurunkan keuletannya.
- Unsur Mn berfungsi untuk mencegah terjadinya hot shortness (kegetasan pada suhu tinggi) terutama pada proses pengolahan panas.
- Unsur Si, Al berfungsi untuk menghilangkan oksigen terlarut dari lelehan.

- Unsur Ni, Cu berfungsi untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam jumlah kecil sedangkan dalam jumlah besar terdapat pada unsur Ti.
- Unsur Cr, V, Mo berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dengan membentuk fase kedua karbida.
- Unsur Ca berfungsi untuk meningkatkan ketangguhan baja.
- Unsur P berfungsi untuk membuat baja mudah dirol pada saat panas.
- Unsur Nb merupakan unsur pembentuk karbida kuat.
- Unsur N mempunyai efek pengerasan dan penggetasan terhadap baja sehingga dalam beberapa hal menguntungkan dan dalam beberapa hal merugikan.

## 2.8 Profil PT Krakatau Steel

PT Krakatau Steel merupakan perusahaan yang berbentuk persero dan merupakan pabrik baja terbesar di Indonesia. PT Krakatau Steel resmi berdiri sejak tanggal 31 Agustus 1970 dengan adanya surat keputusan dari pemerintah Indonesia, pada waktu itu oleh Indonesia Government Regulation (IGR) dengan P.P. No. 35 Agustus 1970 yang berisi tentang penyertaan modal Negara RI untuk pendirian perusahaan perseroan (persero) PT Krakatau Steel dengan maksud dan tujuan untuk menyelenggarakan penyelesaian proyek baja Trikora serta pembangunan industry baja dalam arti luas. Tahun 1971 pendirian PT Krakatau Steel disahkan oleh akte notaris Tan Hong Kie No. 25 tanggal 23 Oktober 1971 di Jakarta dan diperbaiki dengan naskah No. 25 tanggal 29 Desember 1971. PT Krakatau Steel dengan bantuan keuangan dari PERTAMINA telah memutuskan memperluas kapasitas produksi agar membuat *Billet* sendiri, bahkan bisa membuat slab dan lembaran panas.

Perusahaan PT Krakatau Steel mengolah bijih besi dalam bentuk setengah jadi maupun bahan jadi untuk dipasarkan kepada konsumen. Perusahaan ini memiliki enam unit produksi, yaitu pabrik besi spons, pabrik baja slab, pabrik baja lembaran panas, pabrik pengerolan baja lembaran dingin, pabrik *billet* baja, dan pabrik batang kawat. Perusahaan ini merupakan perusahaan

bersifat *make to order*, dimana produksi dilakukan sesuai dengan permintaan dari konsumen.



**Gambar 2.2** Logo PT Krakatau Steel  
(sumber: [www.krakatausteel.com](http://www.krakatausteel.com))

## 2.9 Proses Produksi *Billet* Baja

*Billet* Baja merupakan salah satu jenis baja yang kandungan unsur utamanya terdiri dari tiga unsur kimia sekaligus. Proses pabrik *Billet* Baja di PT Krakatau Steel terbagi dalam beberapa bagian sesuai dengan proses pembuatan yang ada dan proses-proses tersebut meliputi proses peleburan, proses *ladle furnance*, dan proses pengecoran. Bahan baku yang digunakan dalam proses berupa Besi Spons (*Sponge Iron*), Besi Tua (*Scrap*), Kapur Bakar (*Lime Stone*), dan Unsur-unsur paduan (BSP, 2016).

Proses produksi di pabrik *billet* baja di PT Krakatau Steel terbagi menjadi 4 tahapan, yaitu:

1. Proses Pemasukan Bahan Baku (*charging*)
  - a. *Charge Conventional Feeding System*

*Charge* yang dilakukan pertama kali secara bergantian sesuai jumlah bucket bahan baku yang akan *discharge* kedalam dapur. Misalkan dalam proses pemasukan bahan baku dengan kapasitas dapur 72 ton, dengan pemakaian kapur bakar 2-5 ton, total *charge* pertama adalah 52 ton, sehingga kekurangannya adalah 20 ton. 20

ton ini yang nantinya akan ditambahkan ke dalam dapur melalui *Continous Feeding Charge* setelah muatan di dalam dapur lebur 75 %.

b. *Charge Continuous Feeding Charge*

Merupakan penambahan bahan baku secara terus-menerus dengan menggunakan *belt conveyor* yang dimasukkan adalah berupa besi spons dan kapur bakar. Besi spons yang ditambahkan ke dapur melalui conveyor mempunyai kecepatan antara 10-50 ton perjam sedangkan kecepatan penambahan batu kapur ke dalam dapur adalah 2 ton per jam.

2. Proses Peleburan (*melting*)

a. *Preparing*

*Preparing* merupakan proses persiapan untuk mengatur komposisi bahan baku utama *scrap* (besi bekas) dan campuran biji besi (*sponge*) dengan CaO.

b. *Penetration*

Merupakan proses masuknya elektroda pada muatan *scrap* dan *sponge* di dalam *furnace*. Penetrasi dilakukan dengan menggunakan tiga buah elektroda dan arus listrik sebesar 19 MW.

c. *Melting*

Merupakan proses peleburan kelanjutan dari proses penetrasi untuk mendapatkan sistem peleburan dari bawah ke atas dalam dapur oleh busur listrik (*arc*) yang akan digunakan sebagai pelebr bahan baku baja hingga menjadi cair dengan suhu sekitar 1530°C - 1550 °C.

d. *Refining*

Merupakan pemurnian logam cair dalam dapur dengan mengendalikan kandungan unsur Karbon dan unsur yang tidak diharapkan seperti phosphor (P) dan Sulfur (S). kandungan phosphor dan sulfur yang diperbolehkan dalam baja cair sekitar 0,04% - 0,05%. *Refining* mulai dilakukan pada temperature 1600°C dengan daya listrik

yang digunakan 38-40 MW. *Refining* dilakukan yaitu dengan proses injeksi grafit atau injeksi oksigen.

e. *Pouring*

Merupakan proses penuangan baja cair ke dalam *ladle*. Pada saat itu pengambilan sampel komposisi baja cair agar diketahui sebelum dituang ke dalam *ladle*.

f. *Skimming*

Merupakan proses pembersihan kotoran baja cair (*slag*) di dalam *ladle* dengan cara memiringkan *ladle* pada kemiringan sekitar 20°C kemudian mengeruk *slag* yang ada di permukaan baja cair dengan menggunakan alat berat (*charging machine*).

3. Proses *Ladle Furnace* (LF)

a. *Reheating*

Proses pemanasan kembali untuk menjaga agar suhu tetap stabil pada suhu 1620 °C, proses ini dilakukan dengan menggunakan tiga buah elektroda dengan kapasitas trafo 15 MVA.

b. Homogenisasi Komposisi dan Temperatur

Proses ini dilakukan dengan cara menambahkan material *ferro alloys* sesuai dengan komposisi yang diinginkan. Penambahan *ferro alloys* itu dilakukan dengan cara membuka kotak penampung (*bunker*) yang berisi masing-masing material *ferro alloys* yang dibutuhkan, adapun jumlahnya ada 8 bucket.

c. *Syntesis Slag*

Dalam proses ini dilakukan penambahan CaO, CaC<sub>2</sub>, dan Al dicampur agar baja bersifat basa. Hal ini dilakukan agar baja cair tidak merusak *refractory*.

d. *Bubling*

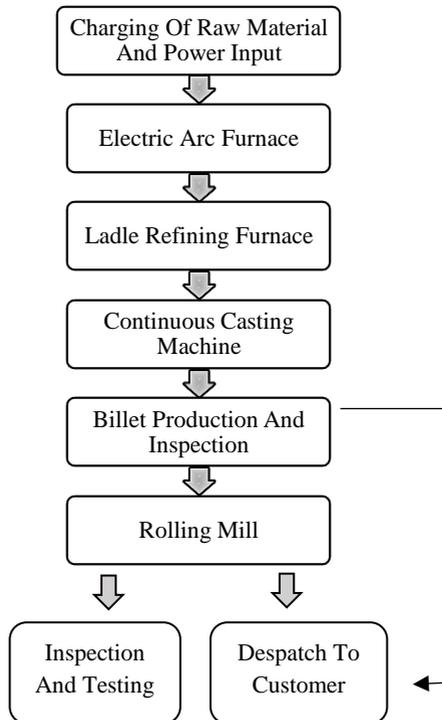
Pengadukan pada baja cair dilakukan dengan cara menyemprotkan gas *Argon* (Ar) atau Nitrogen (N) yang berasal dari *purging cone* di bawah *ladle*. Penggunaan gas mulia ini dilakukan karena gas tersebut bersifat sukar bereaksi dengan senyawa kimia lainnya. Selain itu

proses ini dilakukan untuk mempercepat homogenisasi komposisi serta temperature baja cair.

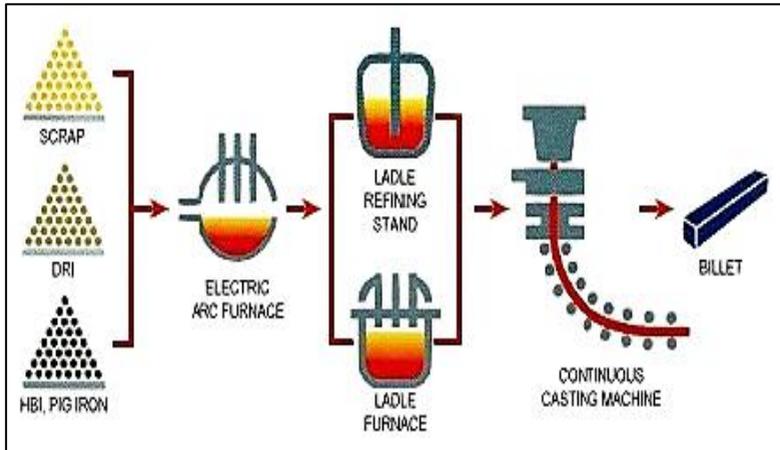
#### 4. Proses Pengecoran

Proses pengecoran merupakan proses terakhir yang menentukan produksi *billet*, pada proses ini logam cair akan dibentuk *billet* dengan proses yang disebut *Continuous Casting*. Proses ini dilakukan setelah proses di dalam *ladle furnace* selesai dimana kondisi baja cair sudah homogen, *ladle* tersebut dipindahkan dengan *ladle crane* menuju *turret* dan ditutup agar suhu baja cair tidak berubah, kemudian *ladle turret* diputar menuju mesin pengecoran kontinu (*continuous casting machine*).

Skema proses pembuatan *Billet* baja adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.3** Skema Proses Pembuatan *Billet* Baja



**Gambar 2.4** Alur Proses Pembuatan *Billet* Baja

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Departemen Quality Control dan Quality Assurance, tepatnya pada Laboratorium Kimia *billet* baja PT Krakatau Steel yang diambil pada bulan Oktober 2017 hingga April 2018. Data berukuran 4 subgroup, yaitu 4 kali pengambilan sampel setiap harinya pada pengukuran kualitas *billet* baja karbon rendah dengan *grade* KS1008. Prosedur sampling dilakukan pada saat proses penuangan baja cair ke dalam *ladle*. Variabel yang diukur adalah Karbon (C), Silicon (Si), dan Mangan (Mn) sebagai 3 variabel utama dari pengukuran kualitas *billet* baja karbon rendah *grade* KS1008. Semua variabel diukur dalam bentuk komposisi cairan dengan satuan persen berat (%)

Data yang digunakan adalah data pada Laporan Bulanan hasil *monitoring* Uji Lab Kimia Kualitas *Billet* Baja Karbon rendah dengan *grade* KS1008. Dalam penelitian ini periode data yang digunakan adalah produksi *billet* baja KS1008 pada bulan Oktober 2017 hingga April 2018. Namun, penggunaan data dibagi menjadi dua fase. Untuk kebutuhan penelitian digunakan data fase 1 lebih banyak dibandingkan data fase 2. Maka dari itu, pada bulan Oktober 2017 hingga Januari 2018 digunakan sebagai data untuk fase 1. Sedangkan data bulan Februari 2018 hingga April 2018 digunakan sebagai data untuk fase 2.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan ketiga variabel utama dalam memenuhi syarat mutu dari *Billet* Baja di PT Krakatau Steel, yaitu Karbon (C), Silicon (Si), dan Mangan (Mn). Dengan definisi operasional yaitu sebagai berikut.

1. Karbon (C) adalah unsur terpenting yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1%-1,7%, sedangkan unsur

lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja adalah untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus. Karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan tetapi jika berlebihan akan menurunkan ketangguhan (Rusmardi, 2006).

2. Silicon (Si) adalah unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat (Wirjosumarto, 2004).
3. Mangan (Mn) adalah unsur kimia dalam baja yang dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet (Dieter, 2000).

Ketiga variabel tersebut merupakan variabel utama dan terpenting dalam komposisi *billet* baja karbon rendah *grade* KS1008 dengan batas spesifikasi pada masing-masing variabel. Setiap variabel memiliki satuan dan batas spesifikasi yang telah ditetapkan dengan rincian yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan	Batas Spesifikasi (%)
$X_1$	Karbon (C)	%	0,000-0,100
$X_2$	Silicon (Si)	%	0,000-0,100
$X_3$	Mangan (Mn)	%	0,000-0,600

### 3.3 Struktur Data

Struktur data yang digunakan pada penelitian kualitas *Billet* Baja karbon rendah di PT Krakatau Steel yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Struktur Data

Fase	Observasi ke- (Hari)	Subgrup (Unit)	Karakteristik Kualitas		
			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	1	1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
		4	$x_{4,1}$	$x_{4,2}$	$x_{4,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
	120	1	$x_{356,1}$	$x_{356,2}$	$x_{356,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
		4	$x_{480,1}$	$x_{480,2}$	$x_{480,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
	121	1	$x_{481,1}$	$x_{481,2}$	$x_{481,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
		4	$x_{484,1}$	$x_{484,2}$	$x_{584,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
2	210	1	$x_{836,1}$	$x_{836,2}$	$x_{836,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮
		4	$x_{840,1}$	$x_{840,2}$	$x_{840,3}$
		⋮	⋮	⋮	⋮

Keterangan:

$x_{i,k}$  = nilai untuk karakteristik kualitas ke-k pada observasi ke-i,  $i = 1, 2, \dots, t$  dan  $k = 1, 2, 3$  dengan X<sub>1</sub> merupakan karbon (C), X<sub>2</sub> merupakan silikon (Si) dan X<sub>3</sub> merupakan mangan (Mn). Satuan dari ketiga variabel tersebut adalah persen berat (%).

### 3.4 Langkah Analisis

Langkah analisis yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

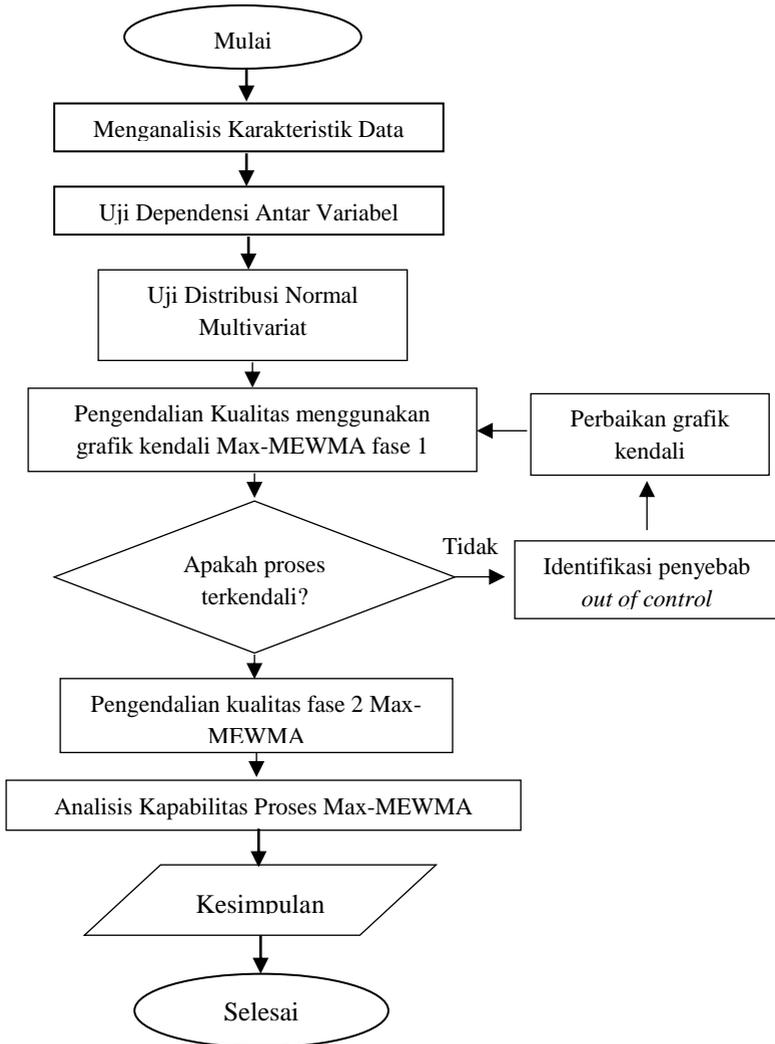
1. Mendeskriptifkan data pada masing-masing variabel dengan statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik setiap variabel kualitas *billet* baja KS1008.
2. Melakukan pengujian dependensi variabel dengan menggunakan uji *Bartlett* pada variabel karbon (C), silikon

(Si) dan mangan (Mn) untuk mengetahui adanya hubungan antar variabel.

3. Melakukan uji asumsi normal multivariat pada variabel karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn) untuk mengetahui ketiga variabel penelitian mengikuti distribusi normal multivariat atau tidak.
4. Melakukan pengontrolan rata-rata dan variabilitas proses pada variabel dengan menggunakan grafik kendali Max-MEWMA. Nilai MEWMA berturut-turut yaitu  $M_i$ , diplotkan terhadap titik sampel. Titik pengamatan diplotkan menggunakan simbol berupa titik.
  - a. Menetapkan parameter  $\mu_0$  nilai dari *mean* vektor dan nilai matriks kovarians  $\Sigma_0$ .
  - b. Jika  $\mu_0$  tidak diketahui, substitusi  $\bar{X}$  untuk  $\mu_0$  dan jika  $\Sigma_0$  tidak diketahui, substitusi  $\bar{S}$  untuk  $\Sigma_0$ . Dimana  $\bar{X}$  dan  $\bar{S}$  adalah sampel besar vektor rata-rata dan rata-rata sampel matriks kovarians masing-masing.
  - c. Untuk masing-masing sampel, hitung  $Z_i$  dengan  $Z_0 = 0$  sebagai nilai awal dan hitung  $Y_i$  dengan  $Y_0 = 0$  sebagai nilai awal.
  - d. Hitung nilai  $M_i$  dan bandingkan dengan nilai  $h$  yang merupakan interval keputusan atau batas atas.
  - e. Menghitung nilai  $h$  dengan simulasi.
  - f. Nyatakan titik sampel dengan dot dan plot dot tersebut jika  $M_i \leq h$ . Untuk  $|U_i| \geq h$ , plotkan  $m+$  jika  $U_i > 0$  dan plotkan  $m-$  jika  $U_i < 0$ . Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada *mean* vektor. Sedangkan apabila Untuk  $|V_i| \geq h$ , plotkan  $v+$  jika  $V_i > 0$  dan plotkan  $v-$  jika  $V_i < 0$  yang mana berarti adanya pergeseran proses pada matriks kovarians
  - g. Apabila kedua  $|U_i| \geq h$  dan  $|V_i| \geq h$  maka plotkan  $m+v+$ . Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi pergeseran proses pada kedua *mean* vektor dan matriks kovarians.
  - h. Investigasi penyebab dari pergeseran pada setiap titik *out of control* pada grafik kendali.

5. Jika proses tidak terkendali maka dilakukan identifikasi dengan mendeteksi variabel utama penyebab pengamatan *out of control* dengan kombinasi 2 variabel, kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasi sumber penyebab *out of control* pada proses produksi dengan diagram Ishikawa.
6. Melakukan analisis kapabilitas Max-MEWMA pada proses produksi untuk mengukur kinerja proses produksi *billet* baja KS1008.
7. Membuat interpretasi dan mengambil kesimpulan.

Langkah analisis diatas, dapat digambarkan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

*Billet* baja KS1008 merupakan produk *billet* baja jenis karbon rendah dari PT Krakatau Steel yang sedang berkonsentrasi dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas *billet* baja KS1008. Dalam melakukan pengendalian kualitas *billet* baja KS1008, PT Krakatau Steel hanya melakukan pengendalian kualitas melalui uji lab dengan batas spesifikasi yang telah ada. Pengendalian kualitas pada produk *billet* baja KS1008 di PT Krakatau Steel dilakukan pada 10 variabel setiap harinya. Namun, dalam penelitian kali ini hanya 3 variabel utama dalam menggambarkan kualitas *billet* baja KS1008, antara lain karbon (C), silikon (Si) dan mangan (Mn). Maka dari itu akan dilakukan pengendalian kualitas lebih lanjut, yaitu pengendalian kualitas secara statistik menggunakan grafik kendali multivariat. Karena ketiga variabel yang diukur memiliki hubungan antar variabel dan terdeteksi mengalami pergeseran proses yang kecil, maka pengendalian kualitas akan dilakukan dengan menggunakan grafik kendali multivariat yang lebih sensitif untuk mendeteksi pergeseran proses, yaitu peta kendali Max-MEWMA. Monitoring pada ketiga karakteristik kualitas tersebut dilakukan agar terdapat suatu *early warning sytem* pada proses pembuatan *billet* baja KS1008 untuk meminimalisir adanya kerugian.

#### **4.1 Karakteristik Kualitas *Billet* Baja Karbon KS1008**

*Billet* baja KS1008 dikatakan baik jika variabel karakteristik kualitasnya berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan. Untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas periode bulan Oktober 2017 hingga bulan April 2018 pada *billet* baja KS1008.

Deskripsi karakteristik kualitas yang dapat digambarkan melalui Tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Deskripsi Karakteristik Kualitas *Billet* Baja KS1008 Fase I

<b>Variabel</b>	<b>Rata-Rata</b>	<b>Varians</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Karbon (C)	0,0774	0,000184	0,048	0,176
Silicon (Si)	0,0734	0,000251	0,02	0,174
Mangan (Mn)	0,5043	0,00143	0,396	0,682

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas dapat diketahui deskripsi karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 pada masing-masing variabel untuk data fase I. Secara umum rata-rata kandungan karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn) pada fase I berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Namun, beberapa titik pengamatan pada ketiga variabel masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dapat dilihat melalui nilai minimum dan maksimum masing-masing variabel. Nilai minimum pada variabel karbon (C) data fase I adalah sebesar 0,048%, variabel silicon (Si) sebesar 0,02% sedangkan variabel mangan (Mn) adalah sebesar 0,396%. Ketiga nilai variabel masih berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Jika ditinjau dari nilai maksimum masing-masing variabel, dapat diketahui bahwa nilai maksimum variabel karbon (C) data fase I adalah sebesar 0,176%, variabel silicon (Si) sebesar 0,174% sedangkan variabel mangan (Mn) adalah sebesar 0,682%. Ketiga nilai maksimum tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas spesifikasi atas yang dimiliki perusahaan, yaitu sebesar 0,1% untuk variabel karbon (C) dan silicon (Si) sedangkan 0,6% untuk variabel mangan (Mn). Berdasarkan Tabel 4.1 diatas, juga dapat diketahui bahwa nilai varians terbesar adalah pada variabel mangan, yaitu sebesar 0,00143%. Nilai ini dapat dikatakan cukup besar jika dibandingkan dengan varians pada variabel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa nilai persentase pada mangan periode bulan Oktober hingga bulan Januari 2018 cenderung heterogen, karena jarak antar data relatif besar.

Selanjutnya, untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas fase II, yaitu periode bulan Februari hingga bulan April 2018 pada *billet* baja KS1008 maka diberikan deskripsi kualitas pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

**Tabel 4.2** Deskripsi Karakteristik Kualitas *Billet* Baja KS1008 Fase II

Variabel	Rata-Rata	Varians	Minimum	Maksimum
Karbon (C)	0,0737	0,000184	0,047	0,212
Silicon (Si)	0,0735	0,000264	0,010	0,173
Mangan (Mn)	0,5285	0,00118	0,432	0,60

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas dapat diketahui deskripsi karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 pada masing-masing variabel. Secara umum rata-rata kandungan karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn) pada fase II tetap berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Namun, beberapa titik pengamatan pada ketiga variabel masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dapat dilihat melalui nilai minimum dan maksimum masing-masing variabel. Nilai minimum pada variabel karbon (C) data fase II adalah sebesar 0,047%, variabel silicon (Si) sebesar 0,01% sedangkan variabel mangan (Mn) adalah sebesar 0,432%. Ketiga nilai variabel masih berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Jika ditinjau dari nilai maksimum masing-masing variabel, dapat diketahui bahwa nilai maksimum variabel karbon (C) data fase II adalah sebesar 0,212%, variabel silicon (Si) sebesar 0,173% sedangkan variabel mangan (Mn) adalah sebesar 0,60%. Nilai maksimum variabel karbon dan silicon lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas spesifikasi atas yang dimiliki perusahaan, yaitu sebesar 0,1% untuk variabel karbon (C) dan silicon (Si). Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, juga dapat diketahui bahwa nilai varians terbesar masih pada variabel mangan, yaitu sebesar 0,00118%. Nilai ini dapat dikatakan cukup besar jika dibandingkan dengan varians pada variabel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa nilai persentase pada mangan (Mn) periode bulan Februari hingga bulan April 2018 masih paling cenderung heterogen, karena jarak antar data relatif besar.

#### 4.2 Pemeriksaan Dependensi Antar Variabel

Sebelum dilakukan pengendalian kualitas pada *billet* baja KS1008 menggunakan grafik kendali Max-MEWMA, variabel karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 harus memenuhi asumsi dependensi. Variabel karakteristik kualitas *billet* baja KS1008

yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn). Untuk memeriksa dependensi antar variabel, maka digunakan uji KMO dan Bartlett, dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Hasil Uji KMO dan Bartlett

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,508
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	61,438
	Df	3
	Sig.	0,000

Berdasarkan Tabel 4.3, didapatkan bahwa nilai *Chi-square* sesuai persamaan (2.1) yaitu sebesar 61,438. Nilai ini lebih besar dari nilai *Chi-Square* tabel atau sebesar 7,815. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 saling dependen. Selain itu, jika ditinjau dari *P-value*. Dapat diketahui bahwa *P-value* yang didapatkan adalah sebesar 0,000. Karena *P-value* kurang dari taraf signifikansi sebesar 5%, maka dapat disimpulkan pula bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 saling dependen. Hal ini memperkuat teori bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas dalam penelitian ini saling berhubungan antar satu sama lain.

### 4.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan pada ketiga variabel karakteristik kualitas utama *billet* baja KS1008, yaitu variabel karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn). Uji distribusi normal multivariat pada karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 ditunjukkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

**Tabel 4.4** *Shapiro-Wilk Normality Test*

Statistik W	<i>p-value</i>
0,83767	0,000

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa *p-value* dari uji *Shapiro-Wilk* pada data kualitas *billet* baja KS1008 bernilai kurang dari nilai *alpha* 5% sehingga menghasilkan keputusan tolak  $H_0$ , yang artinya data kualitas *billet* baja KS1008 tersebut tidak berdistribusi normal *multivariate*. Berdasarkan hasil tersebut,

maka pada penelitian ini digunakan grafik kendali Max-MEWMA karena grafik kendali Max-MEWMA *robust* terhadap asumsi distribusi non normal multivariat.

#### 4.4 Grafik Kendali Maximum Exponential Weighted Moving Average (Max-MEWMA)

Pengendalian kualitas pada rata-rata dan variasi *billet* baja KS1008 dilakukan dengan menggunakan grafik kendali *maximum multivariate weight moving average* atau Max-MEWMA. Pada pengendalian kualitas menggunakan grafik kendali Max-MEWMA, hanya digunakan batas kendali atas atau interval keputusan ( $h$ ) dalam memonitoring proses secara multivariat. Karena dalam multivariat, pemantauan signifikansi dilihat melalui besarnya pergeseran vektor rata-rata dan matriks kovarians dari target yang ditentukan, dengan demikian arah pergeseran tidak memiliki peran yang penting. Grafik kendali ini disebut sebagai Max-MEWMA karena dikembangkan dengan menggunakan nilai maksimal dari jumlah nilai rata-rata dan varians yang dihitung.

Selama titik pengamatan terletak di bawah interval keputusan ( $h$ ), proses dianggap dalam keadaan terkendali. Sebaliknya jika berada di atas interval keputusan ( $h$ ), maka proses dikatakan tidak terkendali. Statistik  $M_i$  akan besar ketika vektor *mean* proses jauh dari nilai  $\mu_0$  atau ketika variabilitas proses jauh dari nilai  $\Sigma$ . Nilai  $M_i$  yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Karena  $M_i \geq 0$ , maka hanya digunakan batas kontrol atas atau  $h$ . Batas kontrol atas atau nilai interval keputusan ( $h$ ) didapatkan dengan melakukan simulasi pada 10000 bangkitan data random yang memiliki nilai rata-rata dan matriks kovarians dari data karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 pada fase 1. Simulasi dilakukan karena belum terdapat referensi untuk pengendalian kualitas dengan menggunakan 3 variabel karakteristik kualitas dengan 4 subgroup. Penentuan dilakukan dengan cara yaitu sebagai berikut.

##### 4.4.1 Penentuan Interval Keputusan ( $h$ )

Penentuan Batas Atas atau biasanya dikenal dengan batas kendali atas didapatkan melalui pendekatan dengan kriteria nilai

*Average Run Length* atau ARL. *Average Run Length* (ARL) merupakan rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga didapatkan titik *out of control* pertama (Montgomery, 2013). Sebagai awalnya, dilakukan pembangkitan data sebanyak 10.000 data dengan menggunakan parameter *mean* dan matrik varian-kovarian yang sesuai dengan data pengamatan dan dilakukan pengambilan sampel *random* sebanyak 4000 data dari total 10.000 data. Selanjutnya, ditetapkan batas kontrol untuk grafik kendali Max-MEWMA. Setelah ditetapkan suatu batas kontrol, program ARL dijalankan (*running*).

Jika pada suatu *run* terdapat pengamatan yang keluar. Dari batas kontrol, maka dilakukan pencatatan terhadap jumlah titik yang harus diplotkan hingga muncul titik *out of control* pertama untuk sejumlah *run* dan selanjutnya dirata-rata. Hasil rata-rata tersebut dinamakan ARL. Apabila nilai ARL belum mencapai 370, maka dilakukan simulasi ulang. Simulasi ulang dilakukan dengan cara yang sama seperti simulasi yang pertama yaitu dengan mengambil sampel *random* sebanyak 4000 dari 10.000 data. Akan tetapi, untuk simulasi kedua, nilai batas kontrol yang digunakan berbeda dari simulasi yang pertama. Setelah nilai batas kontrol yang baru ditetapkan, dilakukan *run* kembali sebanyak 100 kali *running* dan dilakukan pencatatan jumlah titik yang harus diplotkan hingga muncul titik *out of control* pertama pada suatu *running*. Selanjutnya hasil pengamatan *out of control* dirata-rata. Jika ARL masih belum mencapai 370 dilakukan simulasi kembali sebanyak 100 kali *running* dengan menetapkan batas kontrol yang baru. Nilai batas kontrol yang baru berbeda dengan simulasi pertama dan kedua. Begitu seterusnya sedemikian hingga ditetapkan batas kontrol sehingga diperoleh nilai ARL sebesar 370.

Dari beberapa simulasi yang telah dilakukan, dengan menggunakan batas kendali atas didapatkan melalui simulasi dengan nilai ARL atau (*average run length*) sebesar 370 dengan menggunakan  $\alpha$  sebesar 0,0027. Maka didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

**Tabel 4.5** Hasil ARL menggunakan simulasi

<b>Interval Keputusan (<math>h</math>)</b>	<b>Average Run Length (ARL)</b>
3,00	369,43
3,0099	370,84
3,01	371,04
3,019	371,64
3,02	372,09

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai interval keputusan ( $h$ ) maka nilai ARL cenderung semakin tinggi, begitu juga sebaliknya. Dengan menggunakan interval keputusan ( $h$ ) sebesar 3,0099, didapatkan nilai *average run length* atau ARL sebesar 370,84. Sehingga interval keputusan ( $h$ ) yang akan digunakan pada pengendalian kualitas *billet* baja KS1008 menggunakan grafik kendali Max-MEWMA adalah sebesar 3,0099.

#### 4.4.2 Pengendalian Kualitas *Billet* Baja KS1008 Fase I

Pengendalian kualitas *billet* baja KS1008 fase I dilakukan untuk memonitoring kestabilan proses produksi *billet* baja KS1008. Setelah dilakukan simulasi dan didapatkan nilai interval keputusan ( $h$ ) sebesar 3,0099 dengan nilai ARL yang didapatkan yaitu sebesar 370,84, selanjutnya dilakukan pengendalian pada data karakteristik kualitas *billet* baja KS1008 fase I. Data yang digunakan untuk pengendalian kualitas menggunakan grafik kendali Max-MEWMA pada fase I merupakan data kualitas *billet* baja KS1008 pada bulan Oktober 2017 hingga Januari 2018 yaitu sebanyak 120 data dengan 4 subgroup. Agar nilai *mean* dan varians dapat di plotkan terhadap interval keputusan ( $h$ ), sebelumnya dilakukan penentuan parameter. Dalam penelitian ini, diketahui bahwa  $k$  yaitu karakteristik kualitas yang digunakan adalah sebanyak 3 variabel, yaitu karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn). Kemudian menentukan  $\mu_0$ , yaitu *mean* atau rata-rata dari data fase I. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa nilai *mean* pada data fase I adalah sebesar 0,07745 untuk variabel karbon (C), 0,07335 untuk variabel silicon (Si) dan 0,5043 untuk variabel mangan (Mn). Parameter lainnya yang harus ditentukan

terlebih dahulu adalah  $\sum_0$  yaitu matriks *variance covariance* dari data fase I. Selain itu, lamda ( $\lambda$ ) yang digunakan yakni 0,2 dan Nilai awal grafik kendali MEWMA yang ditentukan adalah  $Z_0 = 0$  dan  $Y_0 = 0$ . Setelah parameter ditentukan, selanjutnya untuk membuat grafik kendali Max-MEWMA, harus dilakukan perhitungan nilai vektor rata-rata ( $U_i$ ) dan variabilitas proses ( $V_i$ ).

Langkah pertama adalah mencari nilai vector rata-rata proses dengan melakukan perhitungan nilai  $Z_i$  dan  $T_i$ . Nilai  $Z_i$  didapatkan sesuai dengan persamaan (2.4). maka didapatkan nilai  $Z_i$  sebagai berikut, untuk observasi ke-  $i = 1$ .

$$\begin{aligned} Z_i &= (1 - \lambda)Z_{i-1} + \lambda(\bar{X}_i - \mu_0) \\ &= \left(1 - 0,2\right)Z_0 + 0,2 \left[ \begin{pmatrix} 0,00046 \\ 0,0003 \\ 0,0044 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,07745 \\ 0,07335 \\ 0,5043 \end{pmatrix} \right] = \begin{bmatrix} 0,00046 \\ 0,0003 \\ 0,0044 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Setelah mendapat nilai  $Z_i$ , selanjutnya dilakukan perhitungan pada nilai  $T_i$  sesuai dengan persamaan (2.8) dengan  $n = 4$ . Maka didapatkan nilai  $T_i$  sebagai berikut untuk  $i = 1$ .

$$\begin{aligned} T_i &= \frac{n(2-\lambda)}{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]} Z_i' \Sigma^{-1} Z_i \\ &= \frac{4(2-0,2)}{0,2(1-(1-0,2)^{2 \times 1}} \begin{bmatrix} 0,00046 \\ 0,0003 \\ 0,0044 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 6002,5 & -1510,9 & -133,15 \\ -1510,9 & 4401,47 & -140,43 \\ -133,15 & -140,43 & 711,51 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,00046 \\ 0,0003 \\ 0,0044 \end{bmatrix} \\ &= 1,4340 \end{aligned}$$

Selanjutnya mendapatkan nilai vektor rata-rata ( $U_i$ ) sesuai dengan persamaan (2.9), maka didapatkan nilai vektor rata-rata ( $U_i$ ) sebagai berikut untuk  $i = 1$ .

$$\begin{aligned} U_i &= \Phi^{-1} \left[ H_k \left\{ \frac{n(2-\lambda)}{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]} Z_i' \Sigma_0^{-1} Z_i \right\} \right] \\ &= \Phi^{-1} [H_k \{1,4340\}] \\ &= -0,5174 \\ |U_i| &= 0,5174 \end{aligned}$$

Langkah kedua adalah mencari nilai variabilitas proses ( $V_i$ ) dengan melakukan perhitungan nilai  $W_i$  dan  $Y_i$ . Nilai  $W_i$  didapatkan sesuai dengan persamaan (2.10). maka didapatkan nilai  $W_i$  sebagai berikut, untuk observasi ke- $i = 1$ .

$$\begin{aligned}
W_i &= \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)' \Sigma_0^{-1} (X_{ij} - \bar{X}_i) \\
&= \Sigma \left[ \begin{pmatrix} 0,061 \\ 0,061 \\ 0,56 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,07745 \\ 0,07335 \\ 0,5043 \end{pmatrix} \right]' \begin{bmatrix} 6002,5 & -1510,9 & -133,15 \\ -1510,9 & 4401,47 & -140,43 \\ -133,15 & -140,43 & 711,51 \end{bmatrix} \left[ \begin{pmatrix} 0,061 \\ 0,061 \\ 0,56 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,07745 \\ 0,07335 \\ 0,5043 \end{pmatrix} \right] \\
&= 8,6016
\end{aligned}$$

Setelah mendapat nilai  $W_i$ , selanjutnya dilakukan perhitungan pada nilai  $Y_i$  sesuai dengan persamaan (2.11) dengan  $n = 4$ . Maka didapatkan nilai  $Y_i$  sebagai berikut untuk  $i = 1$ .

$$\begin{aligned}
Y_i &= (1 - \lambda)Y_{i-1} + \lambda\phi^{-1}\{H_{k(n-1)}(W_i)\} \\
&= (1 - 0,2)Y_0 + 0,2\phi^{-1}\{H_{k(n-1)}(8,6016)\} \\
&= 0,0126
\end{aligned}$$

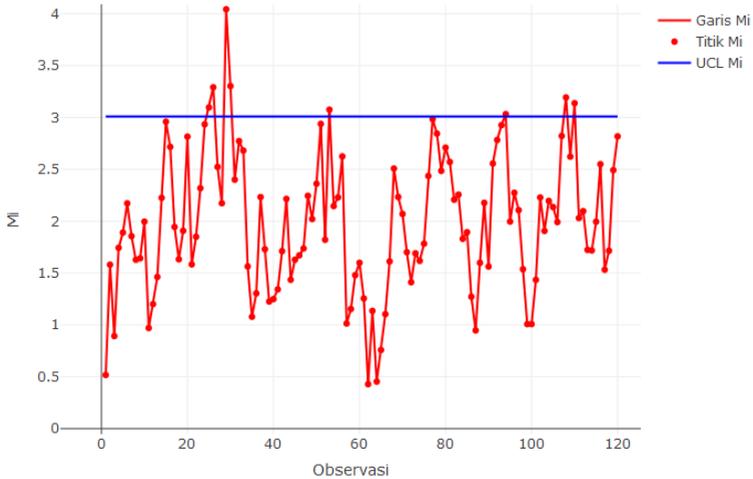
Selanjutnya mendapatkan nilai variabilitas proses ( $V_i$ ) sesuai dengan persamaan (2.14) maka didapatkan nilai variabilitas proses ( $V_i$ ) sebagai berikut untuk  $i = 1$ .

$$\begin{aligned}
V_i &= \sqrt{\frac{2-\lambda}{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]} Y_i} \\
&= \sqrt{\frac{2-0,2}{0,2[1-(1-0,2)^{2 \times 1}]} 0,0126} \\
&= 0,06314 \\
|V_i| &= 0,06314
\end{aligned}$$

Setelah dilakukan langkah pertama dan kedua, maka yang selanjutnya dilakukan yakni data diplotingkan dengan mengambil nilai maksimum dari  $U_i$  dan  $V_i$  sesuai dengan persamaan (2.15). Sehingga, dapat diketahui  $M_1$  untuk data observasi  $i=1$  adalah  $\max\{|U_1|, |V_1|\} = 0,5174$ . Nilai  $M_i$  seterusnya dapat dilihat melalui lampiran.

Nilai  $M_i$  yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Pada setiap periode, statistik MEWMA dibandingkan dengan interval keputusan ( $h$ ) dan jika nilai  $M_i$  lebih dari interval keputusan ( $h$ ) berarti terjadi pergeseran proses. Setelah pendeteksian pergeseran dan tindakan perbaikan dilakukan, statistik MEWMA direset ke nilai awal.

Sehingga didapatkan grafik kendali Max-MEWMA pada data fase I yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.

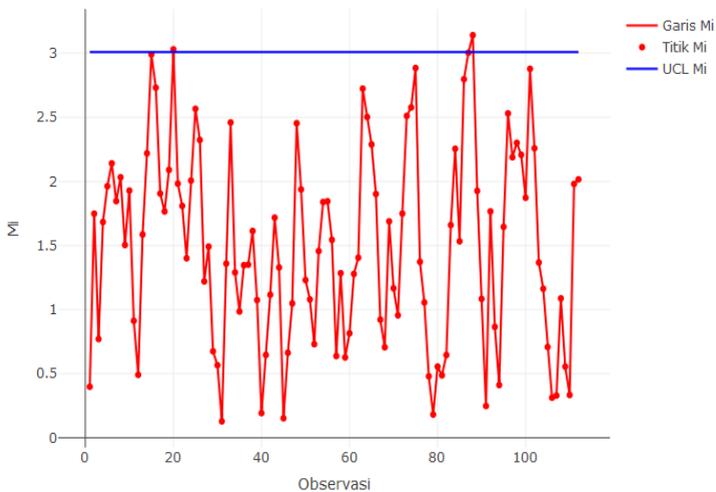


**Gambar 4.1** Grafik Kendali Max-MEWMA Fase I

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat dilihat pada grafik kendali Max-MEWMA kualitas *billet* baja KS1008 fase I. Dimana sumbu horizontal menunjukkan banyaknya pengamatan pada fase I dan sumbu vertikal menunjukkan nilai  $M_i$  yang di plot setiap titik. Kemudian, garis biru merupakan UCL atau interval keputusan dengan interval keputusan ( $h$ ) sebesar 3,0099 sehingga menandakan bahwa belum terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan terdapat titik observasi ( $M_i$ ) tersebut grafik kendali Max-MEWMA disimbolkan  $M_i$  yang berarti nilai  $M_{25}$ ,  $M_{26}$ ,  $M_{29}$ ,  $M_{30}$ ,  $M_{53}$ ,  $M_{94}$ ,  $M_{108}$  dan  $M_{110} \geq h$ , yaitu 3,0099. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran *mean* proses pada titik  $M_{29}$ ,  $M_{30}$ ,  $M_{94}$ ,  $M_{108}$  dan  $M_{110}$  dan pergeseran varians proses pada titik  $M_{25}$ ,  $M_{26}$  dan  $M_{53}$ . Setelah mengetahui titik pengamatan yang keluar batas kendali, selanjutnya adalah mengidentifikasi penyebab *out of control* yang menyebabkan *mean* dan varians proses tidak terkendali secara statistik. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase I pada 8 titik *out of control* disebabkan oleh

adalah adanya indikasi terjadi kebocoran pada panel pendingin, terjadi reaksi kimia pada variabel penelitian, elektrode pada saat penyambungan kurang kencang dan komponen mesin EAF dimana bata tahan api mengalami penyusutan volume.

Setelah diketahui penyebab pengamatan yang *out of control* maka pengamatan yang *out of control* dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkontrol. Hasil setelah pengamatan *out of control* dihilangkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.

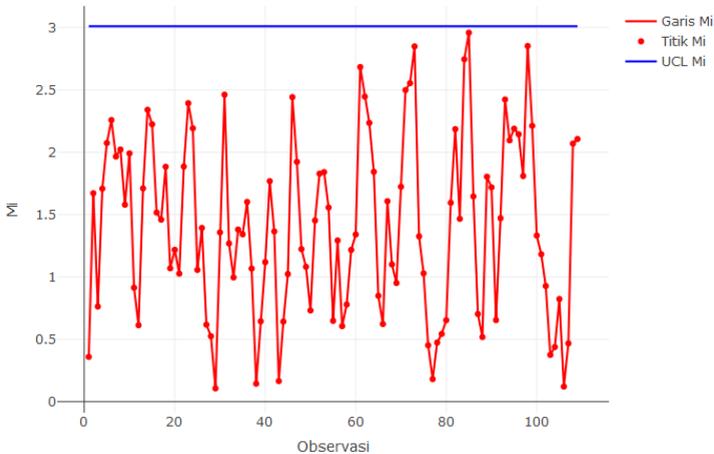


**Gambar 4.2** Grafik Kendali Max-MEWMA Fase I (1)

Setelah dilakukan perbaikan grafik kendali Max-MEWMA dengan menghapus 8 titik pengamatan yang *out of control*. Berdasarkan grafik kendali Max-MEWMA pada gambar 4.2, diketahui bahwa *billet* baja KS1008 pada fase I masih belum terkontrol secara statistik. Hal ini dikarenakan masih terdapat dua titik observasi ( $M_i$ ) yang berada di atas interval keputusan ( $h$ ), yaitu pada titik observasi ( $M_i$ ) ke-20 dan 88. Sama seperti grafik kendali Max-MEWMA sebelumnya, titik observasi ( $M_i$ ) ke-20, dan 88 grafik kendali Max-MEWMA disimbolkan dengan  $M_{20}$ , dan  $M_{88}$

$\geq h$ , yaitu 3,03 dan 3,14  $>$  3,0099, yang menunjukkan adanya pergeseran proses *mean* proses pada titik pada titik  $M_{20}$ , dan  $M_{88}$ . Setelah mengetahui titik pengamatan yang keluar batas kendali, selanjutnya adalah mengidentifikasi penyebab *out of control* yang menyebabkan *mean* proses tidak terkendali secara statistik. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase I pada dua titik *out of control* disebabkan oleh adanya indikasi mesin EAF terjadi *shutdown* secara tiba-tiba dan terjadi reaksi kimia pada proses produksi.

Setelah diketahui penyebab pengamatan yang *out of control* maka pengamatan yang *out of control* dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkendali. Hasil setelah pengamatan *out of control* dihilangkan dari perhitungan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dan Iterasi pada grafik kendali Max-MEWMA ini dilampirkan dalam lampiran.



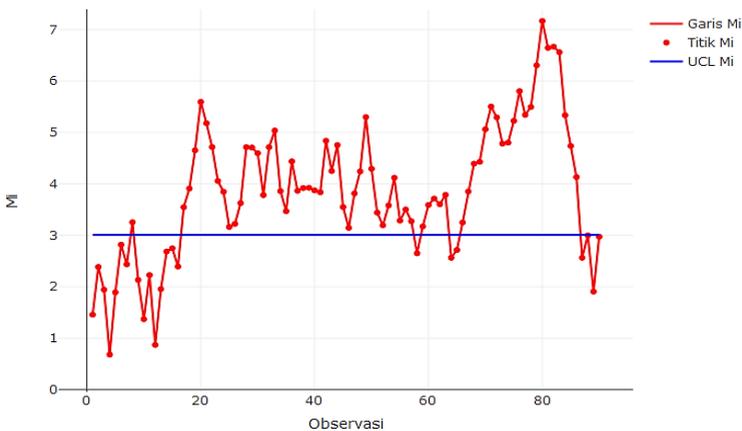
**Gambar 4.3** Grafik Kendali Max-MEWMA Fase I (*Final*)

Setelah dilakukan perbaikan grafik kendali Max-MEWMA sebanyak tiga kali dengan mengidentifikasi penyebab dari 11 pengamatan yang keluar dari batas kendali kemudian dilakukan penghapusan pada 11 titik pengamatan yang keluar dari batas kendali sehingga didapatkan grafik kendali Max-MEWMA yang

terkendali secara statistik. Berdasarkan grafik kendali Max-MEWMA pada Gambar 4.3, diketahui bahwa dengan menggunakan batas kendali atas 3,0099, semua titik observasi berada di bawah batas kendali atas. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi pergeseran baik pada rata-rata maupun varians proses. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas *billet* baja KS1008 fase I menggunakan grafik kendali Max-MEWMA telah terkendali secara statistik. Untuk lebih lanjut, penelitian dilanjutkan dengan melakukan pengendalian kualitas *billet* baja KS1008 fase II.

#### 4.4.3 Pengendalian Kualitas *Billet* Baja KS1008 Fase II

Pengendalian kualitas *billet* baja KS1008 fase II dilakukan untuk memonitoring kestabilan proses produksi *billet* baja KS1008. Data yang digunakan untuk pengendalian kualitas menggunakan grafik kendali Max-MEWMA pada fase II merupakan data kualitas *billet* baja KS1008 pada bulan Februari hingga April 2018 yaitu sebanyak 90 data dengan 4 subgroup. Pengendalian dilakukan menggunakan batas kendali atau batas interval ( $h$ ) yang didapatkan dari grafik kendali Max-MEWMA fase I dengan parameter *mean* dan varians dari data fase I. Sehingga didapatkan grafik kendali Max-MEWMA fase II sebagai berikut.



**Gambar 4.4** Grafik Kendali Max-MEWMA Fase II

Berdasarkan pada Gambar 4.4, terlihat bahwa Grafik kendali Max-MEWMA pada fase II menunjukkan proses produksi *billet* baja KS1008 tidak terkendali secara statistik dengan banyaknya titik observasi ( $M_i$ ) yang berada di atas interval keputusan ( $h$ ). Proses tidak terkendali pada Fase II lebih banyak disebabkan adanya pergeseran pada *mean* proses dibandingkan pada pergeseran varians proses. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase II pada titik pengamatan yang *out of control* disebabkan oleh adalah adanya indikasi pada tanggal 20 bulan Februari terjadi *problem* pada mesin produksi yang mengakibatkan masalah yang serius pada proses produksi dan terjadi masalah pada laboratorium pada bulan maret serta kebocoran pada mesin EAF yang disebabkan terjadinya penyusutan volume pada bata tahan api pada akhir-akhir proses produksi pada bulan April.

#### **4.5 Identifikasi *Out of Control***

Berdasarkan pengendalian kualitas yang dilakukan di fase dua, terdapat titik-titik pengamatan yang diplot diluar batas kendali atas sehingga menyebabkan proses produksi *billet* baja KS1008 tidak terkendali secara statistik. Sedangkan apabila dilihat dari statistika deskriptif, semua variabel memiliki nilai maksimum diatas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan. Oleh karena itu, untuk mengetahui penyebab titik pengamatan berada diluar batas kendali atas, perlu dilakukan identifikasi pengamatan *out of control* variabel secara multivariat dan menggunakan diagram ishikawa dan menggunakan diagram ishikawa. Berikut merupakan identifikasi yang dilakukan.

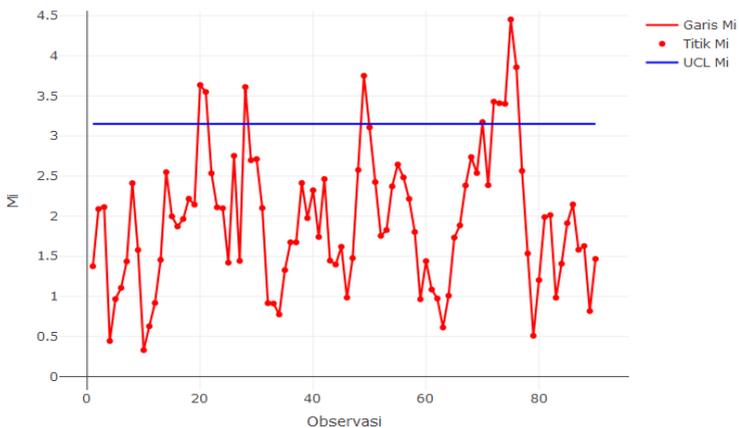
##### **4.5.1 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control***

Evaluasi variabel yang diduga sebagai penyebab *out of control* pada pengendalian kualitas statistik secara multivariat diperlukan agar perusahaan dapat melakukan perbaikan secara lebih sistematis dengan memperhatikan variabel apa yang memiliki kontribusi terbesar dalam menyebabkan *out of control* pada proses. Evaluasi dilakukan dengan melakukan monitoring stabilitas proses secara multivariat dengan membentuk grafik kendali Max-

MEWMA untuk setiap pasangan dua variabel secara bergantian. Pasangan dua variabel yakni antara lain karbon dan silicon, karbon dan mangan, serta pasangan variabel silicon dan mangan. Batas kendali atas yang digunakan merupakan nilai simulasi yang dilakukan dengan menggunakan tiap pasangan variabel. Berikut merupakan pasangan dua variabel yang dilakukan.

#### A. Grafik Kendali Max-MEWMA Karbon dan Silicon

Identifikasi pertama dilakukan dengan monitoring grafik kendali Max-MEWMA antara karbon dan silicon tanpa melibatkan variabel mangan. Dengan menggunakan batas kendali yang telah ditetapkan menggunakan simulasi, yakni sebesar 3,1505, didapatkan hasil proses produksi dari dua variabel yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



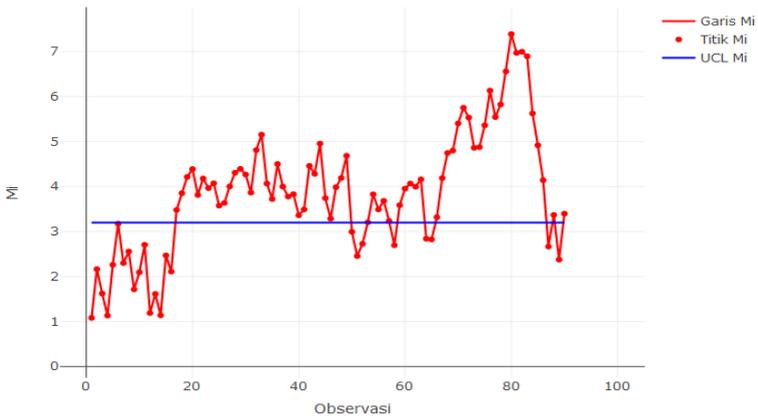
**Gambar 4.5** Identifikasi *Out of Control* Karbon-Silicon

Gambar 4.5 merupakan grafik kendali Max-MEWMA antara variabel karbon dan silicon. Dimana sumbu horizontal menunjukkan banyaknya pengamatan pada fase II dan sumbu vertikal menunjukkan nilai  $M_i$  yang di plot setiap titik. Kemudian, garis biru menunjukkan UCL atau batas kendali atas sebesar 3,1505. Diketahui bahwa terdapat 10 titik pengamatan yang berada diluar batas kendali atas. Titik tersebut juga keluar pada pengamatan grafik kendali Max-MEWMA pada fase II dengan

menggunakan tiga variabel. Titik pengamatan yang berada diluar batas kendali atas dengan keterangan menyebabkan pergeseran vektor *mean* proses antara lain  $M_{20}$ ,  $M_{21}$ ,  $M_{49}$ ,  $M_{70}$ ,  $M_{72}$ ,  $M_{73}$ ,  $M_{74}$ ,  $M_{75}$ , dan  $M_{76}$ . Sedangkan titik pengamatan yang berada diluar batas kendali atas yang menyebabkan pergeseran variabilitas proses yakni  $M_{28}$ .

### B. Grafik Kendali Max-MEWMA Karbon dan Mangan

Identifikasi kedua dilakukan dengan monitoring grafik kendali Max-MEWMA antara karbon dan mangan tanpa melibatkan variabel silicon. Dengan menggunakan batas kendali yang telah ditetapkan menggunakan simulasi, yakni sebesar 3,2. Hasil proses produksi ditunjukkan pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



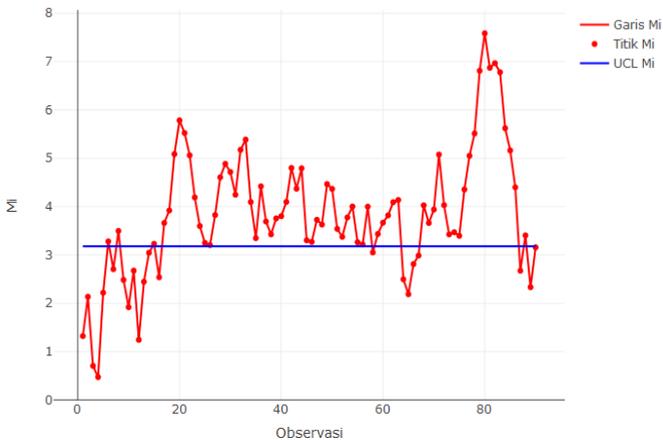
**Gambar 4.6** Identifikasi *Out of Control* Karbon-Mangan

Gambar 4.6 merupakan grafik kendali Max-MEWMA antara variabel karbon dan mangan. Dimana sumbu horizontal menunjukkan banyaknya pengamatan pada fase II dan sumbu vertikal menunjukkan nilai  $M_i$  yang di plot setiap titik. Kemudian, garis biru menunjukkan UCL atau batas kendali atas sebesar 3,2. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat terlihat bahwa tanpa variabel silicon terdapat 64 titik pengamatan yang *out of control* yang sama dengan titik *out of control* pada grafik kendali Max-MEWMA fase II dengan menggunakan tiga variabel. Namun, terdapat dua

pengamatan yang *out of control* yang disebabkan oleh variabel lain. Sehingga, menunjukkan adanya pergeseran baik pada *mean* maupun varians proses.

### C. Grafik Kendali Max-MEWMA Silicon dan Mangan

Identifikasi ketiga dilakukan dengan monitoring grafik kendali Max-MEWMA antara silicon dan mangan tanpa melibatkan variabel karbon. Dengan menggunakan batas kendali yang telah ditetapkan menggunakan simulasi, yakni sebesar 3,179. Hasil proses produksi ditunjukkan pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



**Gambar 4.7** Identifikasi *Out of Control* Silicon-Mangan

Gambar 4.7 merupakan grafik kendali Max-MEWMA antara silicon dan mangan. Apabila dilakukan pengendalian pada kombinasi kedua variabel tersebut terlihat bahwa tanpa variabel karbon terdapat 66 titik pengamatan *out of control* yang sama dengan titik *out of control* pada grafik kendali Max-MEWMA fase II dengan menggunakan tiga variabel. Namun, terdapat tiga pengamatan yang *out of control* yang disebabkan oleh variabel lain. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi pergeseran baik *mean* dan variabilitas proses.

Sehingga, setelah dilakukan identifikasi variabel penyebab *out of control* dengan cara mengombinasikan dua variabel secara

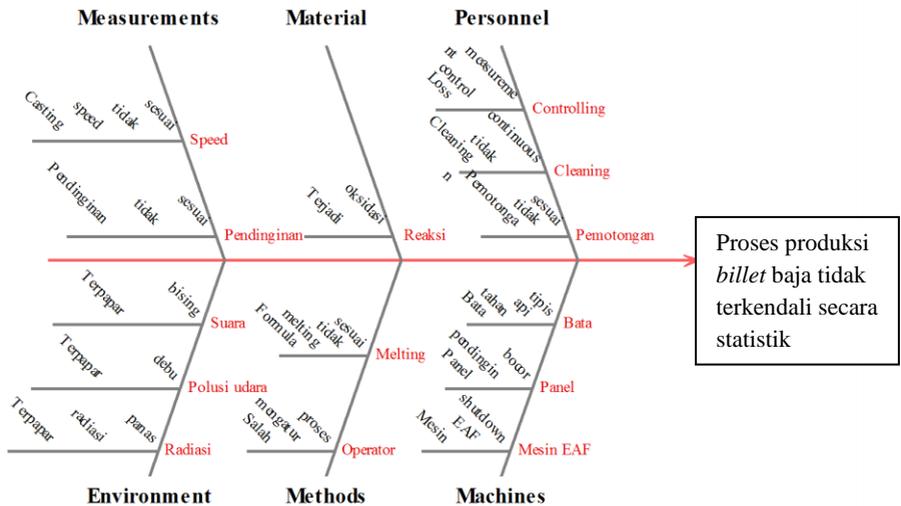
bergantian didapatkan hasil bahwa karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn) menyebabkan titik *out of control* pada fase II. Akan tetapi dari tiga variabel tersebut disimpulkan bahwa variabel mangan (Mn) merupakan variabel yang berkontribusi besar dalam menyebabkan pengamatan *out of control* pada penelitian ini. Karena, jika dipasangkan dengan variabel karbon atau silicon (Si) akan menyebabkan titik *out of control* yang banyak dan titik tersebut merupakan titik pengamatan yang *out of control* pada grafik kendali Max-MEWMA fase II dengan menggunakan tiga variabel. Setelah berdiskusi dengan perusahaan, hasil tersebut linear dengan hasil analisis identifikasi variabel *out of control* yang dilakukan, bahwa variabel yang berpotensi besar menyebabkan gangguan adalah Mangan (Mn).

#### **4.5.2 Identifikasi *Out of Control* menggunakan Diagram Ishikawa**

Pengendalian kualitas pada proses produksi *billet* baja KS1008 PT Krakatau Steel dilakukan dengan mendeteksi pergeseran baik pada rata-rata maupun variabilitas proses dalam satu grafik kendali sekaligus, yaitu grafik kendali Max-MEWMA. Berdasarkan hasil simulasi dengan  $\alpha = 0,0027\%$  didapatkan interval keputusan ( $h$ ) atau batas kendali atas sebesar 3,0099, yaitu batas dengan nilai ARL yang mencapai 370,84. Hasil analisis menggunakan grafik kendali Max-MEWMA menunjukkan bahwa proses produksi *billet* baja KS1008 di PT Krakatau Steel dalam kondisi tidak terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan masih terdapat titik observasi yang berada diluar atau diatas interval keputusan ( $h$ ). Hal ini menunjukan adanya pergeseran baik rata-rata dan varians proses proses *billet* baja KS1008.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka PT Krakatau Steel perlu untuk melakukan perbaikan pada proses *billet* baja KS1008, agar tidak terjadi penurunan kualitas. Maka dari itu, penyebab terjadinya proses produksi *billet* baja KS1008 yang tidak terkendali secara statistik dapat diketahui dengan menggunakan diagram ishikawa atau yang biasa disebut dengan diagram sebab akibat yang biasa digunakan untuk menganalisis akar penyebab

yang berpotensi menimbulkan kecacatan. Terdapat enam faktor penyebab utama yang terdiri dari *personnel*, *methods*, *material*, *measurement*, *machine*, dan *environment*. Gambar 4.8 merupakan hasil identifikasi diagram ishikawa penyebab proses produksi tidak terkendali secara statistik.



**Gambar 4.8** Diagram Ishikawa Proses Produksi *Billet* Baja

Berdasarkan Gambar 4.8, diketahui terdapat enam faktor penyebab proses produksi *billet* baja KS1008 tidak terkendali. Pada faktor *environment* atau lingkungan sekitar pabrik disebabkan oleh debu dan radiasi panas. Sehingga, menyebabkan hal-hal yang tidak diinginkan terhadap karbon, silikon, dan mangan. Kemudian, terpapar oleh bisingnya sekitar pabrik yang dapat berakibat fatal atau mungkin *billet* baja tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Faktor selanjutnya adalah faktor *personnel* atau faktor yang berasal dari manusia yaitu operator melakukan loss control indicator dalam proses produksi sehingga menimbulkan kesalahan pada proses dan operator salah mengatur proses produksi. Kemudian, pemotongan tidak sesuai standar dan

*cleaning* yang tidak continuous yang dilakukan oleh pegawai sehingga menimbulkan produk *billet* baja KS1008 tidak sesuai.

Faktor berikutnya yang menyebabkan adalah faktor *methods*, terdapat operator yang salah mengatur proses produksi sehingga dapat berakibat fatal. Selain itu, formula pada saat peleburan *billet* baja yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Kemudian faktor *measurement* antara lain *casting speed* pada proses produksi tidak sesuai dan pendinginan tidak sesuai ketentuan yang menyebabkan proses produksi *billet* baja bermasalah.

Selanjutnya pada faktor *material*, dimana terjadinya reaksi kimia antara variabel utama dengan variabel oksigen yang muncul pada proses produksi sehingga menyebabkan terjadinya oksidasi. Apabila hal tersebut terjadi maka akan menyebabkan perubahan produksi *billet* baja yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan. Dan kemudian faktor *machine* diketahui bahwa terjadi kebocoran pada panel pendingin dan komponen mesin EAF dimana bata tahan api mengalami penyusutan volume sehingga menjadi tipis. Selain itu, mesin EAF tiba-tiba mengalami *shutdown* pada proses produksi yang sedang berlangsung.

#### **4.6 Analisis Kapabilitas Proses Kualitas *Billet* Baja**

Analisis kapabilitas adalah analisis yang digunakan untuk melihat kemampuan perusahaan dalam memenuhi batas spesifikasi yang sudah ditentukan perusahaan tersebut. Proses produksi *billet* baja KS1008 dikatakan kapabel apabila hasil pengukuran kualitas *billet* baja KS1008 secara keseluruhan telah berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan, dengan nilai indeks kapabilitas yang lebih dari 1,33. Dalam analisis kapabilitas, jika hasil data pengamatan tidak terkendali secara statistik maka indeks kapabilitas dihitung dengan menggunakan  $P_p$  dan  $P_{pk}$ . Pada penelitian ini, diketahui bahwa proses produksi *billet* baja KS1008 belum terkendali secara statistik, maka dari itu digunakan indeks kapabilitas dengan menghitung nilai  $P_p$  dan  $P_{pk}$ . Setelah itu, maka didapatkan nilai  $P_p$  dan  $P_{pk}$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Perhitungan Analisis Kapabilitas Univariat

Variabel	$P_p$	$P_{pk}$
Karbon (C)	1,33	0,54
Silicon (Si)	0,91	0,46
Mangan (Mn)	2,28	0,47

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada Tabel 4.6 diketahui bahwa untuk variabel karbon (C), silicon (Si), dan mangan (Mn) berturut-turut memiliki nilai  $P_p$  dan  $P_{pk}$  masing-masing sebesar (1,33;0,54), (0,91;0,46), dan (2,28;0,47). Dari hasil  $P_p$ , dapat disimpulkan bahwa secara univariat kinerja proses untuk variabel karbon dan mangan telah baik secara potensial nilai  $P_p \geq 1,33$  sehingga masih terdapat kecenderungan proses tidak kapabel sedangkan variabel silicon memiliki proses yang belum baik. Kemudian, berdasarkan hasil  $P_{pk}$  variabel karbon, silicon, dan mangan memiliki proses yang belum baik secara aktual karena nilai  $P_{pk}$  bernilai kurang dari 1,33.

Kemudian, perhitungan nilai kapabilitas dilanjutkan secara multivariat, yaitu menggunakan indeks kapabilitas  $MP_p$  dan  $MP_{pk}$ . Perhitungan secara multivariat, dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.26) dan persamaan (2.27) dengan hasil yaitu sebagai berikut.

$$MP_p = (0,333 \times 1,33) + (0,333 \times 0,91) + (0,333 \times 2,28) = 1,50$$

$$MP_{pk} = (0,333 \times 0,54) + (0,333 \times 0,46) + (0,333 \times 0,47) = 0,489$$

Berdasarkan hasil analisis secara multivariat, didapatkan nilai  $MP_p$  dan  $MP_{pk}$  dengan bobot yang didapatkan melalui pembagian 1 dengan jumlah variabel, yaitu 0,333. Nilai  $MP_p$  menunjukkan nilai lebih dari 1,33 yaitu 1,50 dan  $MP_{pk}$  pada data fase II kualitas *billet* baja KS1008 menunjukkan nilai kurang dari 1,33, yaitu 0,489. Hal tersebut berarti secara multivariat, kinerja proses secara potensial sudah baik dan telah mencapai ragam atau sebaran yang diinginkan, sedangkan dengan menggunakan indeks  $MP_{pk}$  secara multivariat proses memiliki aktual yang rendah sehingga kinerja proses produksi *billet* baja KS1008 di PT Krakatau Steel tidak kapabel.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.

1. Pengendalian proses yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan grafik kendali Max-MEWMA dengan menerapkan fase satu dan fase dua. Grafik kendali ini digunakan untuk mengendalikan *mean* vektor proses dan variabilitas proses dari proses produksi *billet* baja KS1008. Dengan menggunakan alfa sebesar 0,0027, pada fase satu grafik kendali telah terkendali secara statistik pada iterasi 3 setelah menghilangkan 11 pengamatan. Pada fase dua dengan menerapkan batas kendali atas pada fase satu didapatkan hasil bahwa grafik kendali Max-MEWMA belum terkendali secara statistik dimana dapat diartikan bahwa proses produksi *billet* baja KS1008 belum terkendali secara statistik. Pengamatan yang berada diluar batas kendali menunjukkan bahwa terdapat beberapa *billet* baja KS1008 yang belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan perusahaan.
2. Identifikasi variabel penyebab *out of control* dengan cara membentuk grafik kendali Max-MEWMA untuk setiap pasangan dua variabel secara bergantian didapatkan hasil bahwa karbon (C), silicon (Si) dan mangan (Mn) menyebabkan titik *out of control* pada fase II. Akan tetapi dari tiga variabel tersebut disimpulkan bahwa variabel mangan (Mn) merupakan variabel yang berkontribusi besar dalam menyebabkan pengamatan *out of control* pada penelitian ini. Karena, jika dipasangkan dengan variabel karbon atau silicon (Si) menyebabkan titik *out of control* yang banyak dan titik tersebut merupakan titik pengamatan yang *out of control* pada grafik kendali Max-MEWMA fase II dengan menggunakan tiga variabel. Dan diperkuat dengan

6 faktor penyebab utama proses produksi *billet* baja KS1008 tidak terkendali secara statistik antara lain *personnil, methods, material, measurement, machine, dan environment*.

3. Kapabilitas dalam mengukur kinerja proses produksi dari *billet* baja KS1008 digunakan kapabilitas proses multivariat. Hasil yang didapatkan dari perhitungan secara multivariat adalah dengan indeks  $MP_p$  kinerja proses produksi *billet* baja KS1008 secara potensi sudah baik dan telah mencapai ragam atau sebaran yang diinginkan perusahaan, sedangkan dengan menggunakan indeks  $MP_{pk}$  secara multivariat proses memiliki aktual yang rendah sehingga kinerja proses produksi *billet* baja di PT Krakatau Steel tidak kapabel.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak PT. Krakatau Steel adalah analisis dengan menggunakan metode grafik kendali dapat menjadi pilihan untuk mengevaluasi proses produksi dari *billet* baja KS1008. Kemudian didapatkan hasil bahwa variabel yang berkontribusi menyebabkan pengamatan *out of control* adalah mangan, sehingga perusahaan sebaiknya lebih waspada. Selain itu, faktor lain penyebab keluarnya titik pengamatan dari batas kendali atas berasal dari sumber daya manusia salah satunya adalah operator dan lingkungan. Sebaiknya operator yang bertugas pada bagian produksi diberikan pelatihan dahulu lalu baru diwenangkan bertugas, agar tidak terjadi kekeliruan dalam mengatur proses produksi dari *billet* baja KS1008 dan diharapkan perusahaan memperhatikan lingkungan di sekitar perusahaan agar proses produksi berjalan lancar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alisjahbana, J. (2005). Evaluasi Pengendalian Kualitas Total Produk Pakaian. *Jurnal Ventura*, Vol. 8, No. 1.
- Alva, J., & Estrada, E. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate-Normality. *Communication in Statistics-Theory and Methods*, 38(11), 1870-1883.
- Amanto, H., & Daryanto. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- BSP, D. Q. (2016). *Steel Making & Pengendalian Kualitas Baja Billet*. Cilegon: PT Krakatau Steel.
- Budinski, K. (2000). *Engineering Materials Properties and Selection sixth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Chen, G., Cheng, S. W., & Xie, H. (2005). A New Multivariate Control Chart For Monitoring Both Location and Dispersion. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 34(1), pp. 203-217.
- Dieter, G. E. (2000). *"Mechanical Metallurgy"*. Boston: McGraw-Hill.
- Fachrur, A. R. (2013). Pengontrolan Kualitas Statistika Produk Wire Rod Steel di PT Krakatau Steel Cilegon. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*.
- Ghashghaei, R., & Amiri, A. (2017). *Scientia Iranica. Transactions E: Industrial Engineering 24*, 2605-2622.
- Gustami, E. (2011). *Alat-Alat Perbaikan Kualitas*. Jakarta: Graha Ilmu.
- Heizer, J., & Render, B. (2008). *Operations Management*. New Jersey: Pearson Education.
- Iriawan, N. (2006). *Mengolah data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Lowry, J. M. (1989). *A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart*. USA: University of South Louisiana.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*. New Jersey: John Wiley Sons.

- Morrison, F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*. (Fourth Edition ed.). The Wharton School University of Pennsylvania.
- Pertiwi, R. A., Erfiani, & Kusumaningrum, D. (2013). PENGENDALIAN PROSES BAJA KARBON TINGGI DI PABRIK BILLET BAJA PT KRAKATAU STEEL. *Xplore*, Vol. 1(1):e8(1-7) .
- Phanyaem, S. (2013). An Evaluation of Average Run Length of MaxEWMA and MaxGWMA Control Charts. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences*, Vol:7, No:8.
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol 5, No 19, 27-36.
- Razali, M., & Wah, Y. (2011). Power Comparisons of Saphiro-Wilks, Kolmogorov-Smirnov, Liliesfors, and Anderson-Darling Test. *Journal of Statistical Modeling and Analysis*, II(1), 21-23.
- Ridgon, S. E., & Champ, C. W. (1987). *Multivariate Geometric Moving Average Charts*. San Fransisco: Joint Statistical Meetings.
- Rusmardi, F. (2006). Analisa Persentase Kandungan Karbon pada Logam Baja. *Teknik Mesin*, 35-43.
- Sack, R. J. (1997). *I''Welding: Principles and Prantice*. USA: Mc Graw Hill.
- Wirjosumarto, H. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Xie, H. (1999). Contributions To Qualimetry. *National Library of Canada*, 1-181.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Karakteristik Kualitas *Billet* Baja

Pengamatan Ke-i	Nitrogen	Phospat	Kalium
1	0.061	0.061	0.56
	0.098	0.073	0.511
	0.093	0.086	0.535
	0.067	0.081	0.5
2	0.06	0.071	0.515
	0.077	0.078	0.518
	0.092	0.057	0.544
	0.067	0.069	0.417
3	0.12	0.074	0.533
	0.071	0.07	0.5
	0.066	0.068	0.513
	0.092	0.088	0.532
4	0.096	0.067	0.476
	0.073	0.071	0.57
	0.084	0.043	0.6
	0.076	0.097	0.509
5	0.079	0.061	0.583
	0.064	0.082	0.535
	0.078	0.092	0.568
	0.071	0.079	0.513
.	.	.	.
.	.	.	.
210	0.077	0.068	0.532
	0.069	0.067	0.535
	0.062	0.068	0.528
	0.066	0.085	0.58

**Lampiran 2.** Hasil  $M_i$  Pembuatan grafik Kendali Max-MEWMA Pertama

No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi
1	0.5174	26	3.2919	51	2.9386	76	2.4362	101	1.4347
2	1.5811	27	2.5238	52	1.8211	77	2.9851	102	2.2290
3	0.8927	28	2.1734	53	3.0757	78	2.8450	103	1.9065
4	1.7437	29	4.0439	54	2.1461	79	2.4857	104	2.1958
5	1.8910	30	3.3033	55	2.2296	80	2.7097	105	2.1365
6	2.1725	31	2.4004	56	2.6255	81	2.5713	106	1.9921
7	1.8562	32	2.7730	57	1.0136	82	2.2075	107	2.8224
8	1.6284	33	2.6810	58	1.1534	83	2.2568	108	3.1934
9	1.6425	34	1.5640	59	1.4800	84	1.8301	109	2.6225
10	1.9962	35	1.0787	60	1.5991	85	1.8941	110	3.1382
11	0.9702	36	1.3046	61	1.2556	86	1.2715	111	2.0306
12	1.2006	37	2.2325	62	0.4285	87	0.9470	112	2.0975
13	1.4628	38	1.7300	63	1.1354	88	1.5989	113	1.7236
14	2.2255	39	1.2256	64	0.4535	89	2.1772	114	1.7181
15	2.9596	40	1.2492	65	0.7580	90	1.5631	115	1.9954
16	2.7167	41	1.3431	66	1.1040	91	2.5562	116	2.5502
17	1.9451	42	1.7116	67	1.6127	92	2.7834	117	1.5323
18	1.6326	43	2.2155	68	2.5081	93	2.9262	118	1.7152
19	1.9079	44	1.4352	69	2.2338	94	3.0331	119	2.4925
20	2.8156	45	1.6291	70	2.0698	95	1.9966	120	2.8185
21	1.5839	46	1.6710	71	1.7014	96	2.2741		
22	1.8499	47	1.7372	72	1.4116	97	2.1067		
23	2.3186	48	2.2453	73	1.6902	98	1.5372		
24	2.9344	49	2.0210	74	1.6178	99	1.0078		
25	3.0972	50	2.3617	75	1.7834	100	1.0081		

**Lampiran 3.** Hasil  $M_i$  Pembuatan grafik Kendali Max-MEWMA Setelah Iterasi Pertama

No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi
1	0.3981	26	2.3236	51	1.0795	76	1.3730	101	2.8788
2	1.7486	27	1.2201	52	0.7304	77	1.0559	102	2.2592
3	0.7706	28	1.4916	53	1.4570	78	0.4795	103	1.3670
4	1.6834	29	0.6743	54	1.8400	79	0.1812	104	1.1630
5	1.9629	30	0.5662	55	1.8450	80	0.5551	105	0.7081
6	2.1412	31	0.1284	56	1.5444	81	0.4872	106	0.3129
7	1.8467	32	1.3589	57	0.6377	82	0.6456	107	0.3294
8	2.0323	33	2.4599	58	1.2840	83	1.6599	108	1.0876
9	1.5041	34	1.2901	59	0.6268	84	2.2548	109	0.5547
10	1.9286	35	0.9855	60	0.8150	85	1.5332	110	0.3337
11	0.9127	36	1.3462	61	1.2781	86	2.7973	111	1.9805
12	0.4913	37	1.3510	62	1.4052	87	3.0040	112	2.0161
13	1.5859	38	1.6133	63	2.7241	88	3.1412		
14	2.2192	39	1.0744	64	2.5027	89	1.9262		
15	2.9913	40	0.1928	65	2.2884	90	1.0832		
16	2.7316	41	0.6463	66	1.9023	91	0.2479		
17	1.9059	42	1.1161	67	0.9216	92	1.7663		
18	1.7661	43	1.7177	68	0.7063	93	0.8653		
19	2.0900	44	1.3288	69	1.6884	94	0.4115		
20	3.0308	45	0.1522	70	1.1668	95	1.6459		
21	1.9829	46	0.6634	71	0.9554	96	2.5309		
22	1.8090	47	1.0481	72	1.7494	97	2.1889		
23	1.4007	48	2.4544	73	2.5115	98	2.3012		
24	2.0070	49	1.9379	74	2.5774	99	2.2077		
25	2.5666	50	1.2306	75	2.8849	100	1.8728		

**Lampiran 4.** Hasil  $M_i$  Pembuatan grafik Kendali Max-MEWMA Setelah Iterasi Kedua

No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi	No	Nilai Mi
1	0.3768	26	1.0522	51	0.8532	76	1.0819	101	1.3755
2	1.7238	27	1.3842	52	1.4608	77	0.4920	102	1.1417
3	0.7645	28	1.4579	53	1.8473	78	0.1807	103	0.7217
4	1.7092	29	0.5166	54	1.8545	79	0.5375	104	0.3395
5	2.0081	30	0.5259	55	1.5600	80	0.4838	105	0.3360
6	2.1874	31	1.3438	56	0.6591	81	0.4222	106	1.0946
7	1.8912	32	2.4607	57	1.3120	82	1.6512	107	0.5594
8	2.0241	33	1.1219	58	0.6471	83	2.2332	108	0.3761
9	1.5048	34	0.9865	59	0.8354	84	1.5196	109	1.9850
10	1.9198	35	1.1958	60	1.2774	85	2.7927	110	2.0220
11	0.9148	36	1.0668	61	1.4006	86	3.0039		
12	0.5269	37	0.9815	62	2.7323	87	1.6997		
13	1.6269	38	1.1384	63	2.4976	88	1.0621		
14	2.2503	39	0.5613	64	2.2882	89	0.4112		
15	3.0247	40	0.6407	65	1.8982	90	1.7714		
16	2.7588	41	1.1185	66	0.9443	91	1.0604		
17	1.9363	42	1.7025	67	0.6875	92	0.4196		
18	1.7964	43	1.3133	68	1.6599	93	1.5219		
19	2.1253	44	0.6161	69	1.1602	94	2.4683		
20	1.2519	45	0.6809	70	1.2881	95	2.1410		
21	1.2627	46	1.4850	71	1.1139	96	2.2330		
22	1.5023	47	2.4589	72	2.5422	97	2.1804		
23	1.9380	48	1.9526	73	2.6010	98	1.8518		
24	2.4249	49	1.2366	74	2.8994	99	2.8866		
25	2.2063	50	1.6802	75	1.3845	100	2.2541		

**Lampiran 5.** Hasil  $M_i$  Pembuatan grafik Kendali Max-MEWMA Fase I terkendali

No	Nilai $M_i$	No	Nilai $M_i$	No	Nilai $M_i$	No	Nilai $M_i$	No	Nilai $M_i$
1	0.3595	26	1.3931	51	1.4529	76	0.4525	101	1.1818
2	1.6713	27	0.6178	52	1.8279	77	0.1809	102	0.9276
3	0.7631	28	0.5250	53	1.8407	78	0.4739	103	0.3751
4	1.7078	29	0.1068	54	1.5568	79	0.5434	104	0.4383
5	2.0738	30	1.3571	55	0.6485	80	0.6531	105	0.8230
6	2.2581	31	2.4613	56	1.2926	81	1.5948	106	0.1214
7	1.9654	32	1.2685	57	0.6061	82	2.1851	107	0.4676
8	2.0215	33	0.9962	58	0.7793	83	1.4662	108	2.0694
9	1.5793	34	1.3802	59	1.2169	84	2.7452	109	2.1060
10	1.9907	35	1.3421	60	1.3406	85	2.9586		
11	0.9142	36	1.6017	61	2.6831	86	1.6459		
12	0.6134	37	1.0672	62	2.4461	87	0.7030		
13	1.7101	38	0.1442	63	2.2352	88	0.5183		
14	2.3401	39	0.6447	64	1.8430	89	1.8036		
15	2.2241	40	1.1192	65	0.8490	90	1.7184		
16	1.5162	41	1.7681	66	0.6227	91	0.6544		
17	1.4595	42	1.3652	67	1.6075	92	1.4711		
18	1.8833	43	0.1652	68	1.1003	93	2.4228		
19	1.0693	44	0.6424	69	0.9518	94	2.0957		
20	1.2177	45	1.0233	70	1.7234	95	2.1888		
21	1.0266	46	2.4419	71	2.4987	96	2.1440		
22	1.8852	47	1.9230	72	2.5538	97	1.8093		
23	2.3930	48	1.2230	73	2.8485	98	2.8519		
24	2.1918	49	1.0815	74	1.3258	99	2.2118		
25	1.0564	50	0.7316	75	1.0288	100	1.3320		

**Lampiran 6.** Hasil  $M_i$  Pembuatan grafik Kendali Max-MEWMA Fase II

No	Nilai Mi						
1	1.4575	26	3.2227	51	3.4400	76	5.8029
2	2.3860	27	3.6264	52	3.1943	77	5.3404
3	1.9434	28	4.7145	53	3.5808	78	5.4941
4	0.6818	29	4.7047	54	4.1193	79	6.3044
5	1.8921	30	4.5956	55	3.2853	80	7.1661
6	2.8179	31	3.7820	56	3.5027	81	6.6427
7	2.4354	32	4.7127	57	3.2734	82	6.6661
8	3.2539	33	5.0354	58	2.6506	83	6.5580
9	2.1329	34	3.8592	59	3.1729	84	5.3332
10	1.3700	35	3.4686	60	3.5896	85	4.7358
11	2.2284	36	4.4370	61	3.7143	86	4.1316
12	0.8705	37	3.8649	62	3.6033	87	2.5651
13	1.9557	38	3.9197	63	3.7877	88	2.9985
14	2.6858	39	3.9240	64	2.5643	89	1.9066
15	2.7486	40	3.8739	65	2.7158	90	2.9722
16	2.3933	41	3.8371	66	3.2485		
17	3.5460	42	4.8366	67	3.8518		
18	3.9085	43	4.2508	68	4.3912		
19	4.6513	44	4.7532	69	4.4282		
20	5.5933	45	3.5499	70	5.0602		
21	5.1771	46	3.1446	71	5.5018		
22	4.7150	47	3.8152	72	5.2921		
23	4.0579	48	4.2422	73	4.7805		
24	3.8468	49	5.2977	74	4.8008		
25	3.1626	50	4.2931	75	5.2246		

### Lampiran 7. Pengujian Asumsi Grafik Kendali Multivariat

- a. Pengujian Distribusi Normal Multivariat Menggunakan Shapiro-Wilk

```
data1=read.csv("E://datanorm.csv", sep=',', header=TRUE)
data2=data.matrix(data1)
C <- t(data2[1:840,1:3])
library(mvnormttest)
mshapiro.test(C)
```

*Output:*

Shapiro-Wilk normality test

-----  
data: Z

W = 0.83911, p-value < 2.2e-16  
-----

- b. Pengujian Dependensi menggunakan Uji Barlet

#### KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.508
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	61.438
	df	3
	Sig.	.000

### Lampiran 8. *Syntax* Pembuatan plot Grafik Kendali

```
library(plotly)
Mi=read.csv("E://fase 1.csv", sep=',', header=TRUE)
Observasi=cbind(1:nrow(Mi))
Data=data.frame(Observasi,Mi$Mi,Mi$UCL)
colnames(Data)=c("Observasi", "Mi", "UCL")
plot_ly(Data, x = ~Observasi) %>%
  add_lines(y=~Mi,color=I("red"),name="Garis Mi")%>%
  add_markers(y=~Mi,color=I("red"),name="Titik Mi")%>%
  add_lines(y=~UCL,name="UCL Mi",color=I("blue"))
```

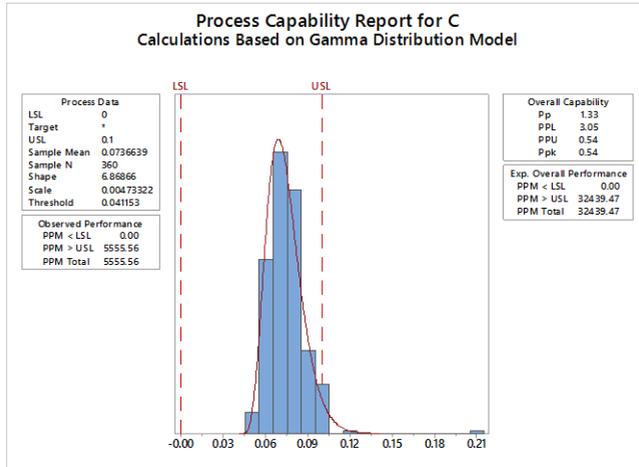
### Lampiran 9. Simulasi Nilai batas kendali atas

1. Barlet Bangkitkan 10000 data secara random berdistribusi normal multivariat dengan mean dan matriks kovarians bernilai sama dengan data produksi fase satu.
2. Menghitung statistik  $M_i$  dengan  $i = 1, 2, \dots, 10000$  menggunakan persamaan (2.18).
3. Menentukan nilai batas kendali atas ( $h$ ) dengan mempertimbangkan nilai  $M_i$ .
4. Menghitung Run Length (RL), kemudian jumlah sampel didapat hingga ditemukan nilai  $M_i$  pertama yang lebih besar daripada batas kendali atas yang telah kita tentukan sendiri
5. Menghitung RL sebanyak 100 kali, kemudian dirata-rata. Karena  $\alpha$  yang digunakan sebesar 0,0027 maka ARL yang diinginkan sebesar 370. Apabila rata-rata yang didapat kurang dari 370, maka harus menaikkan batas kendali atas yang ditentukan, namun apabila rata-rata yang didapat lebih dari 370, maka wajib menurunkan batas kendali yang ditentukan.
6. Nilai batas kendali atas yang terpilih adalah ketika nilai batas kendali atas tersebut memiliki 100 RL kemudian dirata-rata dan hasilnya sebesar 370.

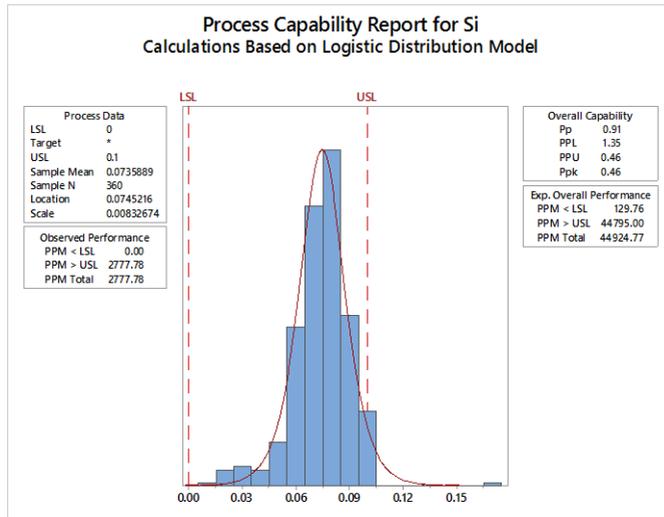
## Lampiran 10. Kapabilitas Proses

- Proses Tidak Terkendali Secara Statistik ( $P_{pk}$ )  
Eksplorasi yang dilakukan adalah sebagai berikut.

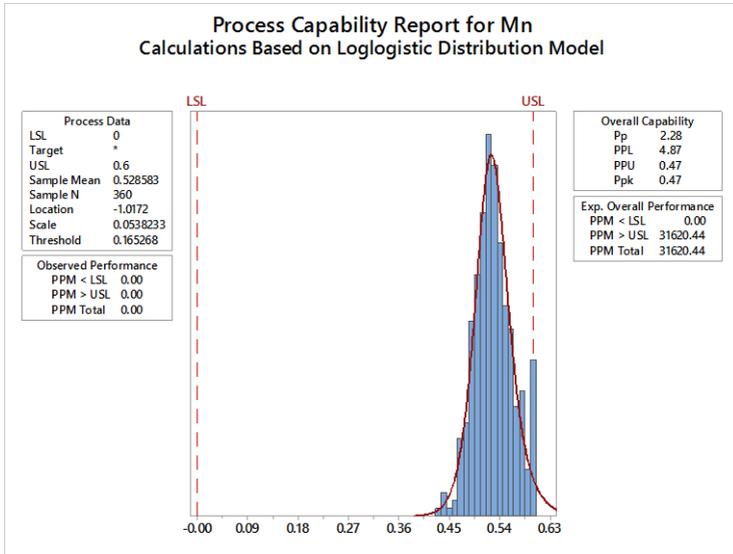
### 1. Karbon



### 2. Silicon



## 3. Mangan



## Lampiran 11. Surat Keterangan Penelitian di PT. Krakatau Steel Cilegon



**KRAKATAU STEEL**  
PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK.

**SURAT KETERANGAN**  
Nomor: DL.02.01/ /LP-BSP/V/2019

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa:

- Mahasiswa Statistika Fakultas Matematika Komputasi dan Sains Data (FMKSD-ITS) dengan identitas sebagai berikut:
 

Nama	: Tb Elgi Faturahman Syahputra
NRP	: 06211540000121 (1315 100 121)
Prodi	: Sarjana (S1) Statistika

Telah mengambil data - data di Perusahaan kami yaitu:  
 Perusahaan : PT Krakatau Steel Tbk (Persero)  
 Divisi : Long Product (Billet Steel Plant)  
 Dinas : Melting BSP

Waktu pengambilan data dimulai antara bulan Maret 2019 sampai dengan bulan Mei 2019 untuk keperluan Tugas Akhir (TA) semester genap Tahun 2018/2019.
- Tidak keberatan / keberatan\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir (TA) mahasiswa Statistika yang akan disimpan dipustaka Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan dibaca dilingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Tidak keberatan / keberatan\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam *E-Journal* Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yaitu Jurnal Sains dan Seni Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Cilegon , Mei 2019

DIVISI LONG PRODUCT  
BILLET STEEL PLANT



**TATA ATMAJA**  
NIK : 7115

*\*Coret yang tidak perlu*

**PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK.**

KANTOR PUSAT  
Jl. Industri No. 5 P.O. Box 14 Cilegon, Banten 42405  
Telepon : (+62 254) 892159 / 892000 | Faksimili : (+62 254) 372240 | Website : www.krakatausteel.com

KANTOR JAKARTA  
Gedung Krakatau Steel Lantai 4  
Jl. Jend. Gatot Subroto KNo. 54, Jakarta Selatan 12550  
Telepon : (+62 21) 5321250 / Faksimili : (+62 21) 5395079, 5204026, 5300799

## Lampiran 12. Surat Keterangan Validasi Data dan Publikasi

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD - ITS dengan identitas berikut :

Nama : Tb. Elgi Faturahman Syahputra

NRP : 06211540000121

Telah mengambil data di perusahaan kami :

Nama Instansi : PT. Krakatau Steel Tbk (Persero)

Divisi : Long Product (Billet Steel Plant)

Sejak bulan Maret 2019 sampai dengan bulan Mei 2019 untuk keperluan Tugas Akhir Semester Genap 2018/2019.

2. Tidak Keberatan/Keberatan\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/Keberatan\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Cilegon, Juni 2019

Divisi Long Product  
Billet Steel Plant



**Tata Atmaja**

NIK : 7115

\*(coret yang tidak perlu)

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Tb. Elgi Faturahman Syahputra dilahirkan di Kota Serang pada tanggal 20 Agustus 1997 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 2 Kota Serang, SMPN 1 Kota Serang, dan MAN 2 Kota Serang. Kemudian penulis diterima sebagai Mahasiswa departemen Statistika FMKSD ITS Surabaya melalui jalur Mandiri pada tahun 2015 dengan NRP 06211540000121. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di berbagai organisasi yakni sebagai Staf Departemen Hubungan Luar (HUBLU) HIMASTA-ITS 16/17, Staf Kementerian Hubungan Luar (HUBLU) BEM ITS 16/17, Ketua Forum Daerah Banten di Surabaya dan Ketua HIMASTA-ITS 17/18. Selain aktif di beberapa organisasi, penulis juga pernah berpartisipasi di kepanitiaan diantaranya sebagai Koodinator Sie Acara CERITA 2017 dalam kegiatan Pekan Raya Statistika 2017 (PRS) tingkat Nasional. Penulis juga pernah mengikuti beberapa pelatihan diantaranya LKMM-Pra-TD, LKMM TD, Public Relation Training (BASIC), Public Relation Training (ADVANCED), Leadership Organization Training 3.0 (LOT 3.0), *Surveyor Training*, *Basic Public Relation Training*, *Public Speaking Training*, *Basic Media Schooling*, Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) *Training*. Apabila pembaca ingin memberi kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [elgifsy@gmail.com](mailto:elgifsy@gmail.com).