



Tesis TF142510

**MANAJEMEN RISIKO DAN ANALISIS *SAFETY SYSTEM* PADA *ILC SLC* PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO), TBK. PABRIK TUBAN JAWA TIMUR**

ADISTY DINA NURDIANA  
NRP. 2413201202

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

PROGRAM MAGISTER TEKNIK FISIKA  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



Thesis TF142510

**RISK MANAGEMENT AND SAFETY SYSTEM  
ANALYSIS OF ILC SLC IN PT. SEMEN INDONESIA  
(PERSERO), TBK. TUBAN FACTORY EAST JAVA**

ADISTY DINA NURDIANA  
NRP. 2413201202

SUPERVISOR  
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

MASTER PROGRAM  
INDUSTRY INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)

di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

ADISTY DINA NURDIANA  
NRP. 2413 201 202


Tanggal Ujian : 11 Januari 2016  
Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh :

1. Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.  
NIP. 19600901 198701 1 001

  
..... (Pembimbing)

2. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.  
NIP. 19740903 199802 2 001

  
..... (Penguji I)

3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  
NIP. 19500402 197901 1 001


  
..... (Penguji II)

4. Totok Ruki Biyanto, S.T., MT., Ph.D.  
NIP. 19710702 199802 1 001

  
..... (Penguji III)

Direktur Program Pascasarjana,



  
Prof. Ir. Djuhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19601202 198701 1 001

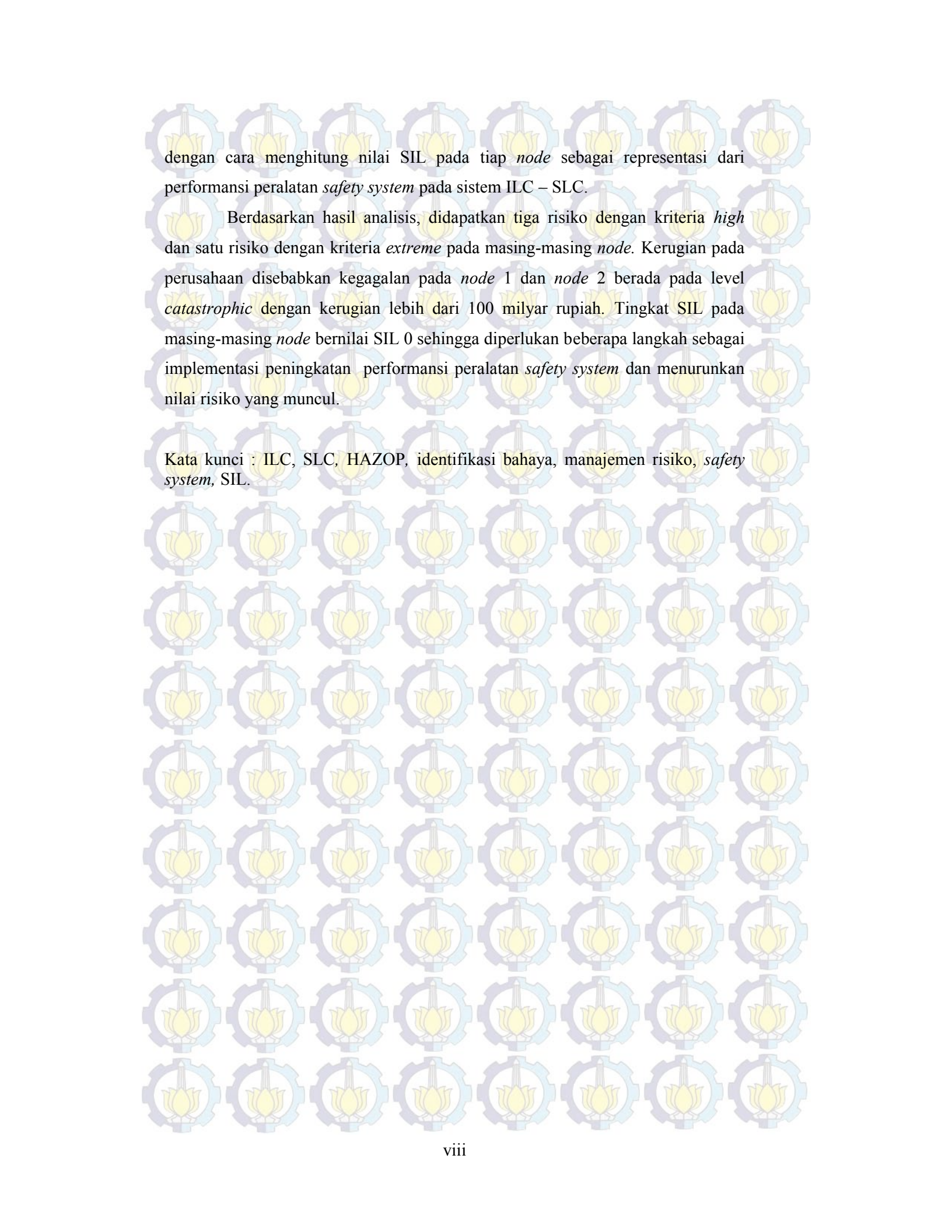
# MANAJEMEN RISIKO DAN ANALISIS *SAFETY SYSTEM* PADA *ILC SLC* PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) PABRIK TUBAN JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : Adisty Dina Nurdiana  
NRP : 2413201202  
Jurusan : Teknik Fisika, FTI - ITS  
Pembimbing : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

## ABSTRAK

*In-Line Calciner* (ILC) dan *Separate-Line Calciner* (SLC) adalah peralatan sistem prekalsiner yang terdapat pada hampir seluruh pemanas awal modern yang mempunyai dampak secara langsung terhadap konsumsi bahan bakar, emisi polutan dan kualitas akhir semen yang dihasilkan. Sistem ILC – SLC berperan sebagai sistem *feeder* bagi *rotary kiln* sehingga adanya bahaya dalam sistem ini dapat menyebabkan risiko utama berupa terhentinya proses produksi klinker dan meningkatkan kerugian perusahaan karena sebesar 60% proses kalsinasi berada di luar *rotary kiln*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan analisis bahaya pada sistem ILC – SLC sebagai salah satu langkah dalam proses manajemen risiko serta analisis *safety system* sebagai langkah pencegahan bahaya pada sistem ILC – SLC.

Metode analisis HAZOP digunakan pada penelitian ini sebagai penentuan identifikasi bahaya dengan dua *node* atau titik studi yaitu ILC dan SLC yang terdiri dari lima titik pengukuran parameter. *Guide words* dan deviasi proses ditentukan berdasarkan *control chart* data operasional pada titik pengukuran. Kriteria *likelihood* dihitung berdasarkan data kegagalan operasional parameter selama 180 hari sedangkan penentuan *consequences* dilakukan berdasarkan kombinasi antara kriteria risiko yang ditimbulkan dengan kecenderungan proses pada *control chart*. Kriteria risiko didapatkan dengan mengalikan nilai *likelihood* dan *consequences*. Analisis *safety system* dilakukan



dengan cara menghitung nilai SIL pada tiap *node* sebagai representasi dari performansi peralatan *safety system* pada sistem ILC – SLC.

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan tiga risiko dengan kriteria *high* dan satu risiko dengan kriteria *extreme* pada masing-masing *node*. Kerugian pada perusahaan disebabkan kegagalan pada *node* 1 dan *node* 2 berada pada level *catastrophic* dengan kerugian lebih dari 100 milyar rupiah. Tingkat SIL pada masing-masing *node* bernilai SIL 0 sehingga diperlukan beberapa langkah sebagai implementasi peningkatan performansi peralatan *safety system* dan menurunkan nilai risiko yang muncul.

Kata kunci : ILC, SLC, HAZOP, identifikasi bahaya, manajemen risiko, *safety system*, SIL.

# **RISK MANAGEMENT AND SAFETY SYSTEM ANALYSIS OF ILC SLC IN PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO), TBK. TUBAN FACTORY JAWA TIMUR**

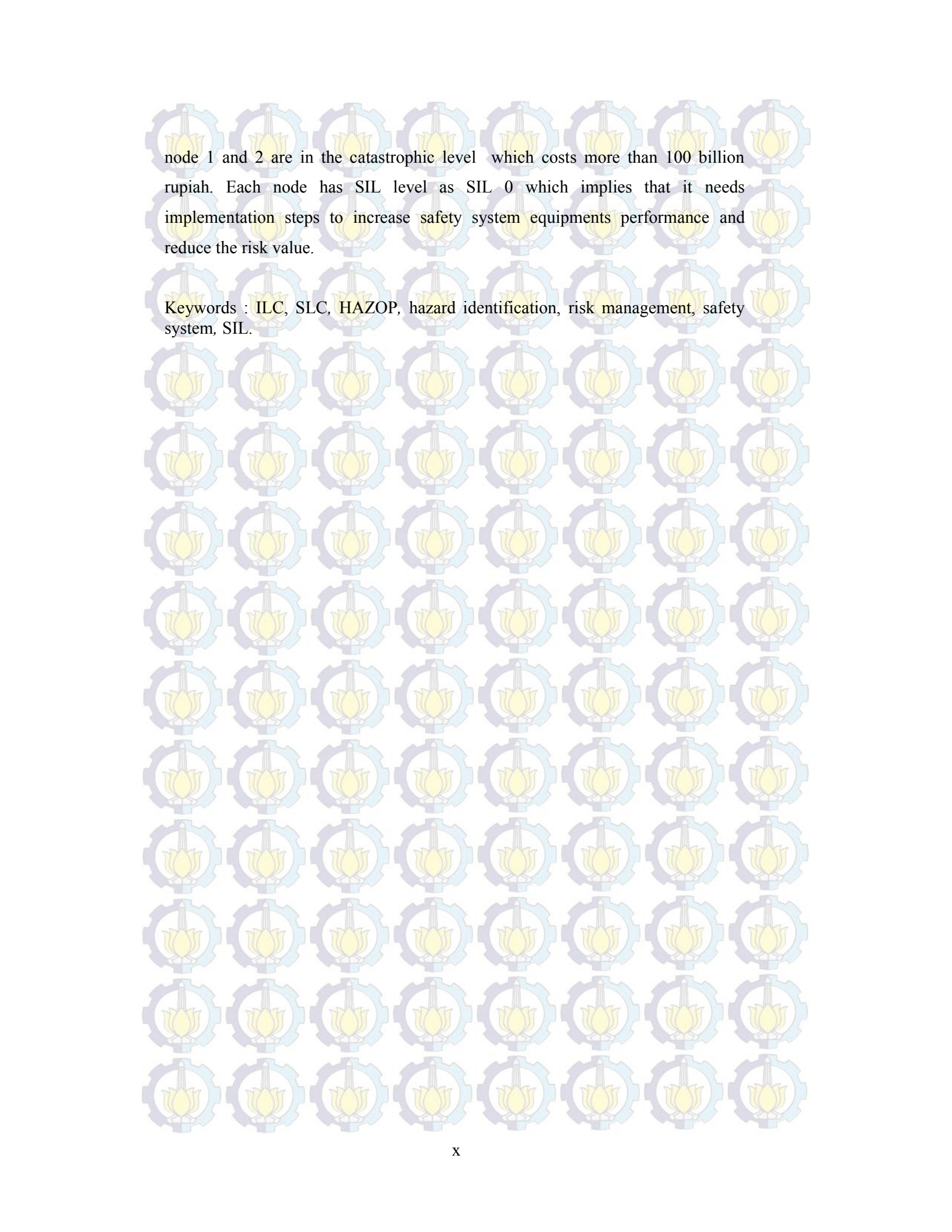
Student's Name : Adisty Dina Nurdiana  
NRP : 2413201202  
Department : Engineering Physics, FTI - ITS  
Supervisor : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

## **ABSTRACT**

In-Line Calciner (ILC) and Separate-Line Calciner (SLC) are the equipments of precalcinations process in mostly modern industrial cement kilns that have importance due to its impacts for fuel consumption, pollutant emission and final cement quality. This system is a feeder for rotary kiln process therefore any failures in this system will lead to stop the clinker production process and increase losses of the company since 60% of calcination process has done outside the rotary kiln. This research aims to identify and analyze hazard as step of risk management process also to prevent any hazard by analyze the safety system of ILC – SLC.

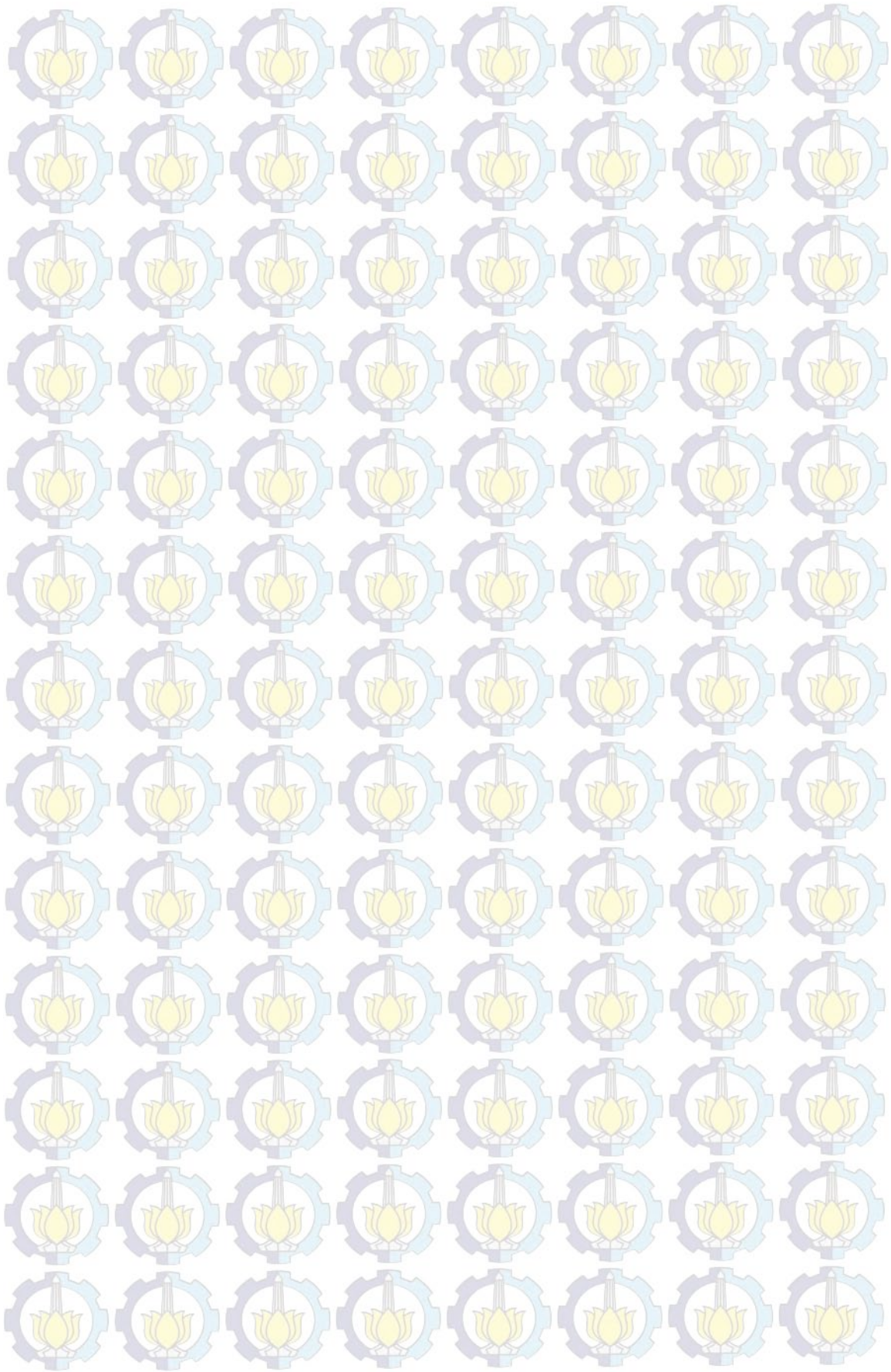
HAZOP analysis method is used to identify hazard in two nodes that are ILC and SLC in which each of them consists of five parameter measurement points. Guide words and process deviation were determined based on control chart constructed from operational data of each measurement point. Likelihood criteria was calculated based on failures operational data during 180 days. Consequences were determined based on analysis combination of risk impacts with data tendency of the control chart. Risk criteria was produced by multiply criteria of likelihood and consequence. Safety system analysis is done by calculate SIL value in each node as a representative of safety system equipments of ILC – SLC system.

Based on the result of analysis, there are three risks with high criteria and one risk with extreme criteria in each node. Company losses due to any failures in

The background of the page is a repeating pattern of light blue gears with yellow lotus flowers in the center, arranged in a grid.

node 1 and 2 are in the catastrophic level which costs more than 100 billion rupiah. Each node has SIL level as SIL 0 which implies that it needs implementation steps to increase safety system equipments performance and reduce the risk value.

Keywords : ILC, SLC, HAZOP, hazard identification, risk management, safety system, SIL.

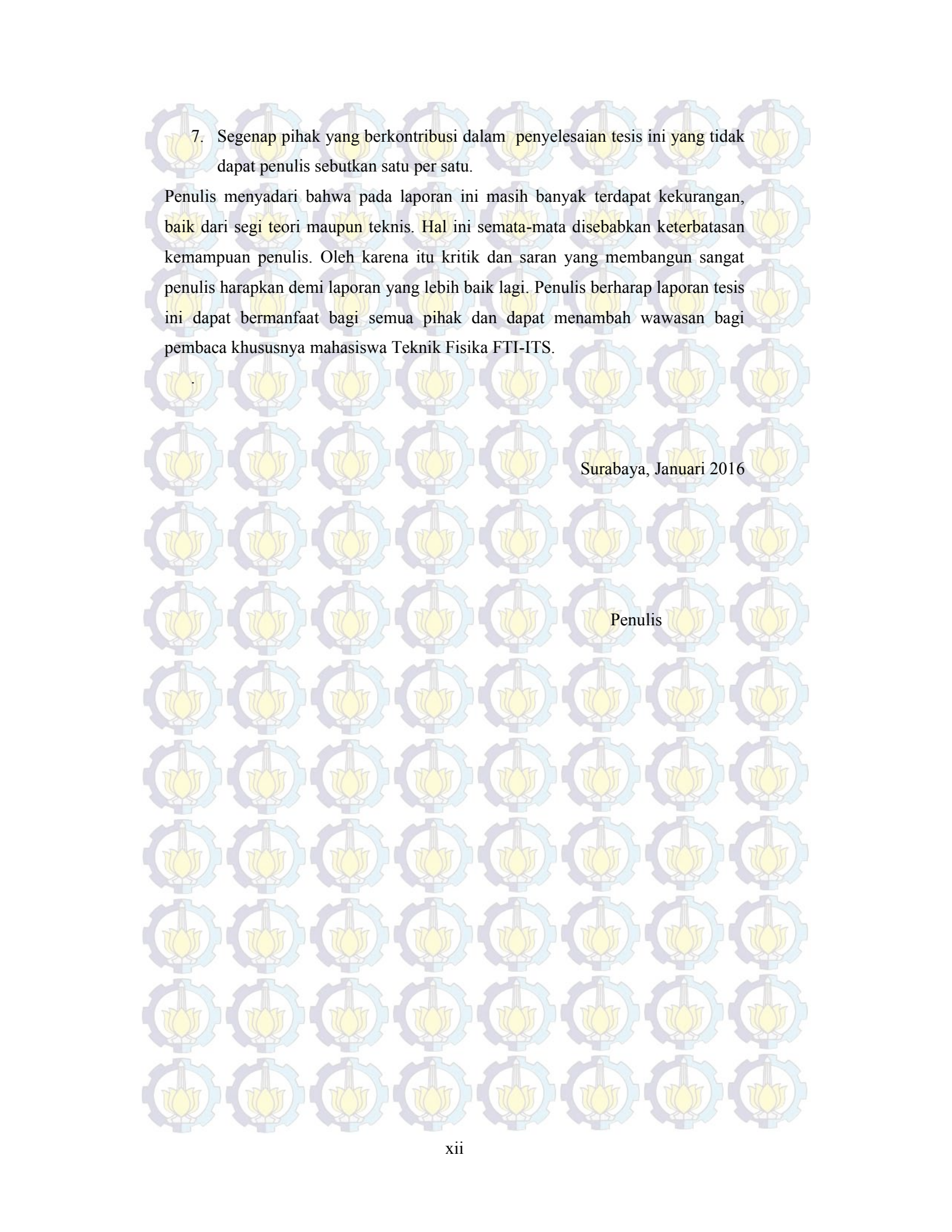




## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis yang berjudul **Manajemen Risiko dan Analisis *Safety System* pada ILC SLC PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. Pabrik Tuban Jawa Timur**. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini, diantaranya :

1. Bapak Dr. Ali Musyafa' M.Sc. selaku dosen pembimbing atas kesabaran dan kebaikan dalam membimbing serta memberikan banyak saran tidak hanya dalam pengerjaan tesis tetapi juga bagi kehidupan penulis.
2. Ibu Dr. –Ing. Doty D. Risanti, M.T., bapak Totok R. Biyanto, Ph.D, serta bapak Prof. Sekartedjo, M.Sc selaku tim penguji atas saran dan kritik yang membangun selama pengerjaan tesis ini.
3. Ibu Dr. Aulia Siti Aisjah, M.T., selaku ketua Program Studi S2 serta para dosen pengajar Program Studi S2 Rekayasa Instrumentasi Industri Jurusan Teknik Fisika. Terima kasih atas ilmu yang telah diberikan, semoga semakin mendapat berkah. Mbak Martha Hardiyah, terima kasih atas bantuannya.
4. Suami, kedua orangtua dan mertua, adik, anak-anakku serta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dukungan spiritual dan moral.
5. Teman – teman program studi S2 Rekayasa Instrumentasi Industri, khususnya mas Henry Prasetyo dan dik Nur Ulfa Hidayatullah atas segala macam bantuan moral, spiritual dan material yang diberikan tanpa pamrih kepada penulis.
6. Pihak PT.Semen Indonesia pabrik Tuban khususnya unit RKC Tuban III di antaranya bapak Teguh Irianto, bapak Zaini , bapak Ahmad Rusdyanto, bapak Asep Wahyudin, bapak Arijanto dan mbak Amellia Djafar. Terima kasih atas segala bantuan dan kebaikan hati serta waktu yang diberikan menjawab segala pertanyaan dari penulis.

- 
7. Segenap pihak yang berkontribusi dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa pada laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, baik dari segi teori maupun teknis. Hal ini semata-mata disebabkan keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi laporan yang lebih baik lagi. Penulis berharap laporan tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menambah wawasan bagi pembaca khususnya mahasiswa Teknik Fisika FTI-ITS.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 Kajian Pustaka .....	7
2.2 Proses Produksi Semen .....	7
2.3 Proses Pembakaran Klinker pada Unit Kiln PTSI Tuban.....	11
2.4 Sistem ILC dan SLC pada Unit Kiln PTSI Pabrik Tuban III....	14
2.5 Hazard and Operability Study (HAZOP).....	19
2.6 Manajemen Risiko dan Analisis <i>Safety System</i> .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Tahap Pengumpulan Data .....	30
3.3 Tahap Identifikasi Bahaya.....	30
3.4 Tahap Perhitungan dan Analisis Risiko .....	34
3.5 Tahap Analisis <i>Safety System</i> .....	37
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>39</b>
4.1 Hasil Penelitian.....	39
4.2 Pembahasan.....	49
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>67</b>
Lampiran A.....	67
Lampiran B.....	105
Lampiran C.....	109
Lampiran D.....	113



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

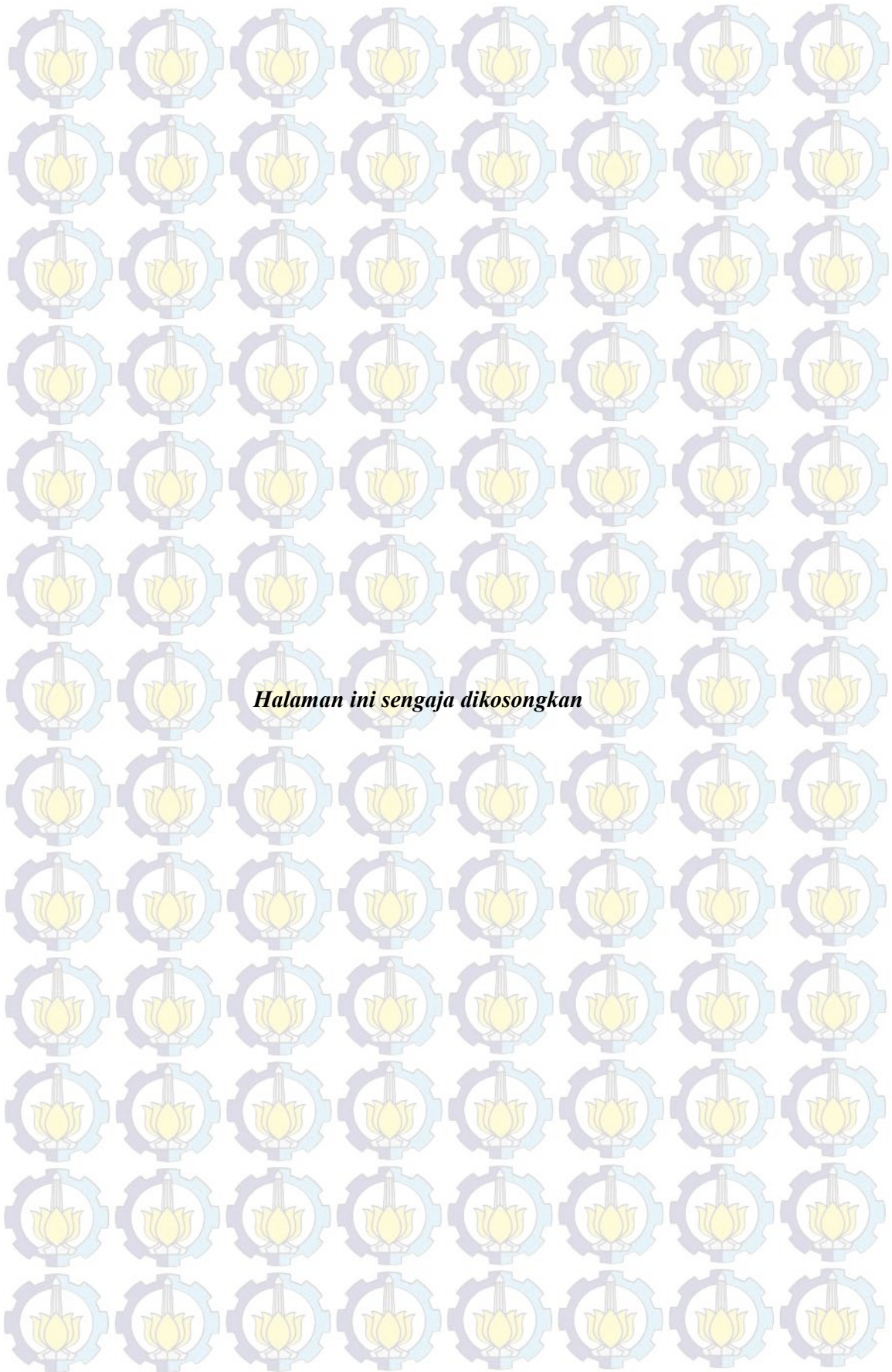
		Hal
Gambar 1.1	Proses produksi pada PTSI secara keseluruhan.....	2
Gambar 2.1	Proses produksi semen secara keseluruhan.....	8
Gambar 2.2	Temperatur proses pembakaran klinker.....	9
Gambar 2.3	<i>Shaft kiln</i> .....	10
Gambar 2.4	Proses pemanasan awal dan pembakaran klinker.....	12
Gambar 2.5	Sistem pemanas awal ILC dan SLC.....	15
Gambar 2.6	Diagram alir proses manajemen risiko.....	24
Gambar 2.7	Kontribusi estimasi risiko terhadap manajemen risiko....	25
Gambar 2.8	<i>Layer of protection</i> .....	26
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 3.2	Tampilan DCS untuk sistem operasional unit Kiln.....	31
Gambar 3.3	Batas sistem pemanas awal ILC dan SLC.....	32
Gambar 3.4	P&ID sistem ILC – SLC.....	32
Gambar 3.5	<i>Risk matrix</i> .....	36
Gambar B-1	<i>Control chart</i> persentase O <sub>2</sub> pada ILC Preheater Exit....	105
Gambar B-2	<i>Control chart</i> persentase CO pada ILC Preheater Exit....	105
Gambar B-3	<i>Control chart</i> temperatur gas pada ILC Preheater Exit...	106
Gambar B-4	<i>Control chart</i> temperatur material pada ILC Stage IV....	106
Gambar B-5	<i>Control chart pressure drop</i> pada ILC Preheater Exit....	106
Gambar B-6	<i>Control chart</i> persentase O <sub>2</sub> pada SLC Preheater Exit....	107
Gambar B-7	<i>Control chart</i> persentase CO pada SLC Preheater Exit....	107
Gambar B-8	<i>Control chart</i> temperatur gas pada SLC Preheater Exit...	107
Gambar B-9	<i>Control chart</i> temperatur material pada SLC Stage IV....	108
Gambar B-10	<i>Control chart pressure drop</i> pada SLC Preheater Exit....	108
Gambar D-1	P&ID Sistem ILC dan SLC PTSI Tuban III.....	113



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 2.1	Suhu material dan gas pada tiap stage.....	15
Tabel 2.2	<i>Guide words</i> pada HAZOP.....	21
Tabel 2.3	Parameter proses analisis HAZOP.....	21
Tabel 2.4	Korelasi antara <i>guide words</i> dan parameter proses.....	21
Tabel 2.5	Format lembar kerja analisis HAZOP.....	21
Tabel 2.6	<i>Risk matrix</i> .....	23
Tabel 2.7	Tingkat SIL terhadap PFD dan RRF.....	27
Tabel 3.1	Standard nilai kemungkinan.....	35
Tabel 3.2	Standard nilai keparahan.....	35
Tabel 4.1	Komponen titik pengukuran pada <i>node 1</i> .....	39
Tabel 4.2	Komponen titik pengukuran pada <i>node 2</i> .....	39
Tabel 4.3	<i>Guide words</i> titik pengukuran pada <i>node 1</i> .....	40
Tabel 4.4	<i>Guide words</i> titik pengukuran pada <i>node 2</i> .....	41
Tabel 4.5	Nilai <i>consequence</i> pada <i>node 1</i> .....	41
Tabel 4.6	Nilai <i>consequence</i> pada <i>node 2</i> .....	42
Tabel 4.7	Nilai <i>likelihood</i> pada <i>node 1</i> .....	43
Tabel 4.8	Nilai <i>likelihood</i> pada <i>node 2</i> .....	43
Tabel 4.9	Kriteria <i>consequence</i> dan <i>likelihood</i> pada <i>node 1</i> .....	43
Tabel 4.10	Kriteria <i>consequence</i> dan <i>likelihood</i> pada <i>node 2</i> .....	43
Tabel 4.11	<i>Risk matrix</i> titik pengukuran pada <i>node 1</i> .....	44
Tabel 4.12	<i>Risk matrix</i> titik pengukuran pada <i>node 2</i> .....	45
Tabel 4.13	Lembar kerja analisis HAZOP.....	46
Tabel 4.14	Nilai PFD dan RRF pada <i>node 1</i> .....	54
Tabel 4.15	Nilai PFD dan RRF pada <i>node 2</i> .....	54



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



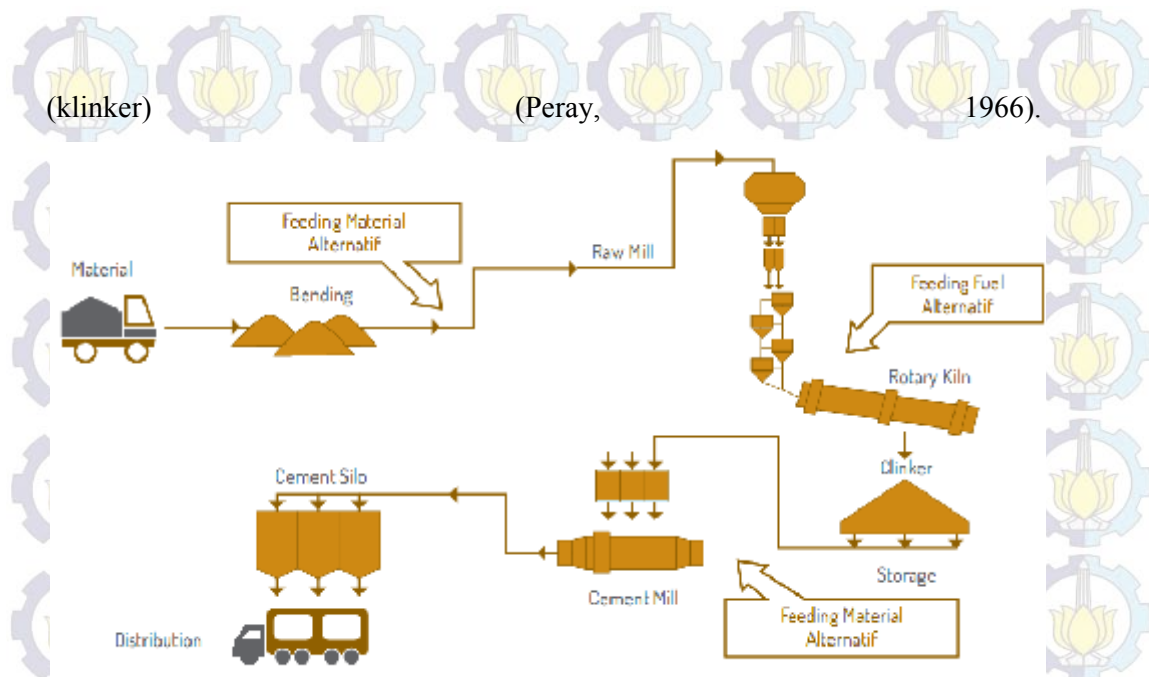
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semen mempunyai peranan penting dalam bidang konstruksi dan pembangunan (UNIDO, 1999). Perkembangan penduduk yang tinggi pada masa sekarang ini turut meningkatkan tingkat pembangunan sehingga mempunyai andil yang cukup besar bagi perkembangan industri semen baik di Indonesia maupun di dunia. Menurut International Cement Review, pada tahun 2012 Indonesia menempati peringkat ke-8 sebagai konsumen pengguna semen dan peringkat ke-53 sebagai produsen semen di dunia (Armstrong, 2013). Salah satu produsen semen di Indonesia adalah PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. (PTSI). PTSI merupakan industri manufaktur dengan hasil produksi utama berupa semen berbagai tipe terbesar di Indonesia dengan pangsa pasar nasional sebesar 43,7% pada tahun 2014 (Semen Indonesia, 2014). PTSI mempunyai beberapa lokasi pabrik yang sangat strategis di Sumatera, Jawa dan Sulawesi. Salah satu lokasi pabrik yang dimiliki oleh PTSI terletak di Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Kapasitas produksi terpasang PT.Semen Indonesia, Tbk. secara keseluruhan adalah sebesar 31,8 juta ton per tahun sedangkan jumlah produksi semen pada tahun 2014 adalah sebesar 28,53 juta ton (Semen Indonesia, 2014). Pada PTSI Tuban *plant* terdapat empat pabrik produksi semen yaitu Tuban I, II, III, IV dengan kapasitas produksi masing-masing pada tahun 2014 sebesar 2,9 juta ton per tahun (Wijaya, 2015).

Proses produksi semen secara keseluruhan melalui tiga proses dasar yaitu persiapan pencampuran bahan mentah, produksi klinker dan penyiapan semen (Aldieb, 2010). Pada PTSI pabrik Tuban tahapan proses dimulai dari unit Crusher, Raw Mill, Kiln, Finish Mill dan Packer seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1. Salah satu unit terpenting dari tahapan proses ini adalah unit Kiln yang berfungsi sebagai tempat terjadinya kontak antara gas panas dan material umpan kiln sehingga terjadi reaksi kimia yang membentuk senyawa-senyawa penyusun semen



Gambar 1.1 Proses Produksi pada PT. Semen Indonesia secara keseluruhan (Semen Indonesia, 2014)

Unit Kiln pada PTSI terdiri dari *suspension preheater* dan *calciner* (ILC dan SLC), *rotary kiln*, dan *clinker cooler*. *Suspension preheater* atau pemanas awal merupakan salah satu peralatan yang berfungsi sebagai tempat pemanasan awal bahan baku sebelum masuk ke dalam *rotary kiln*. Dengan berkembangnya teknologi, proses pemanasan pada pemanas awal dilanjutkan dengan proses kalsinasi sebagian dari bahan baku melalui penambahan alat berupa kalsiner yang umumnya telah terintegrasi dengan pemanas awal. Penggunaan pemanas awal dan kalsiner pada kiln mempunyai beberapa keuntungan yaitu (Deolalkar, 2009) :

- a. Dimensi kiln dapat dirancang lebih pendek, diameter dan beban termal dari kiln lebih rendah terutama untuk kiln dengan kapasitas besar.
- b. Mengurangi beban energi yang dikonsumsi oleh kiln, dengan adanya kalsiner maka energi panas yang dibutuhkan oleh kiln hanya sekitar 35%-50% saja.
- c. Kapasitas produksi dapat mencapai dua kali dibandingkan penggunaan sistem pemanas awal tanpa kalsiner dengan kapasitas kiln spesifik mencapai  $4,8 \text{ ton/m}^3$  setiap hari.
- d. Pemanfaatan bahan bakar dengan kualitas rendah dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam kalsiner karena temperatur yang dibutuhkan lebih

rendah dibanding temperatur pada kiln sehingga dapat mengurangi biaya produksi.

- e. Operasi pada kiln relatif stabil dengan adanya kalsiner sehingga dapat memperpanjang umur refraktori (batu tahan api).
- f. Emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan rendah karena pembakaran bahan bakar terjadi pada temperatur yang relatif rendah.

*Safety system* menjadi salah satu hal yang penting dalam setiap proses untuk menghindari kecelakaan di lingkungan kerja (Pumfrey, 1999). Oleh karena itu *safety system* diperlukan untuk semua komponen yang terlibat dalam proses produksi atau kerja (Berg, 2010), khususnya untuk komponen yang berisiko terjadi kegagalan seperti halnya unit Kiln yang bekerja pada temperatur tinggi. Terjadinya gangguan berupa kegagalan pada unit Kiln dapat menyebabkan penurunan produksi semen dikarenakan peralatan yang tidak dapat beroperasi, peningkatan biaya perbaikan, dan penurunan keuntungan perusahaan disebabkan kualitas semen yang menurun serta menimbulkan risiko pada keselamatan pekerja (Neelkanth Lime, 2014). Sistem pemanas awal pada Unit Kiln PTSI menggunakan tipe 4 siklon pemanas awal dengan 2 jenis kalsiner yaitu *In-Line Calciner* (ILC) dan *Separate-Line Calciner* (SLC). Jika kinerja pemanas awal dan kalsiner tidak baik atau terjadi permasalahan pada alat tersebut, maka dampak yang diberikan pada terjadinya risiko di Unit Kiln akan semakin tinggi (Budi, 2007). Derajat kalsinasi material pada ILC – SLC adalah lebih dari 90% dan mengkonsumsi bahan bakar sekitar 60% dari total bahan bakar (Nielsen, 2012). Dengan kata lain, sekitar 60% proses kalsinasi dilakukan di luar *rotary kiln* (Vlachos, dkk, 2006). Kontrol terhadap proses kalsinasi yang terjadi pada ILC – SLC merupakan hal yang penting karena peralatan ini memberikan dampak langsung kepada konsumsi bahan bakar, emisi polusi dan kualitas akhir semen yang dihasilkan (Vlachos, dkk, 2006).

Berdasarkan alasan tersebut, maka perlu dilakukan analisis mengenai manajemen risiko pada Unit Kiln khususnya pada sistem pemanas awal dengan ILC – SLC, yaitu dengan melakukan identifikasi bahaya dan analisis risiko menggunakan metode HAZOP (*Hazard and Operability Study*), serta analisis *safety system* terkait dengan bahaya yang mempunyai risiko paling besar

(Kristianingsih, 2013;Zulfiana, 2014). HAZOP digunakan dalam penelitian ini karena mempunyai metode yang terstruktur dan sistematis baik untuk *plant design* atau proses yang telah berjalan dalam mengevaluasi dan mengidentifikasi hal – hal yang dapat menimbulkan risiko terhadap pekerja atau peralatan (Krzemien, dkk, 2013). Metode HAZOP mempunyai beberapa keunggulan diantaranya (Kotek, 2012) :

- a. Merupakan metode yang sistematis dan menyeluruh untuk mendapatkan perkiraan identifikasi bahaya pada peralatan.
- b. Mempunyai kemungkinan untuk mengevaluasi *consequence* dari kegagalan baik yang disebabkan oleh komponen peralatan, personel maupun pengaruh dari luar peralatan.
- c. Meningkatkan efisiensi dari operasional peralatan dengan munculnya identifikasi dari penyebab risiko misalnya operasi normal yang terganggu, kerusakan yang tidak terduga, dan kerusakan pada peralatan.

Analisis pada penelitian ini berkaitan dengan penyebab kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen utama sistem ILC – SLC.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian adalah :

- a. Bagaimana melakukan identifikasi bahaya dan analisis risiko potensial menggunakan metode HAZOP pada komponen utama sistem ILC – SLC di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. Pabrik Tuban III.
- b. Bagaimana melakukan analisis *safety system* sebagai langkah mitigasi risiko potensial pada sistem ILC – SLC di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. Pabrik Tuban III.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Analisis level risiko melalui identifikasi bahaya dari komponen utama sistem ILC – SLC pada PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. Pabrik Tuban III dengan menggunakan metode analisis HAZOP.

- 
- b. Implementasi analisis *safety system* untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah dapat mengembangkan ilmu dalam aplikasi metode identifikasi bahaya pada perusahaan sehingga dihasilkan penilaian yang tepat untuk mengambil keputusan ketika terjadi bahaya yang dapat menimbulkan kerugian.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Penelitian dilakukan hanya pada komponen utama yaitu titik pengukuran parameter sistem pemanas awal dengan ILC – SLC pada Unit Kiln Tuban III PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. yang terletak di Pabrik Tuban Jawa Timur.
- b. Parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP sesuai dengan data pada *Central Control Room* Tuban III yaitu variabel kadar O<sub>2</sub> dan CO dalam % pada *outlet preheater*, temperatur gas pada *outlet preheater*, temperatur material pada *outlet* kalsiner dan perbedaan *pressure* pada *outlet preheater*.
- c. Standar penentuan SIL yang digunakan yaitu berdasarkan ISA TR 84.00.02.



*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang berjudul *Evaluation of Hazards in Crusher and Material handling of Cement Industry* menjelaskan bahwa identifikasi bahaya dengan menggunakan metode HAZOP mempunyai beberapa kelebihan di antaranya dapat menganalisis bahaya dengan bantuan dari *guide words* yang dapat diaplikasikan pada berbagai parameter sistem (Agrawal, dkk, 2014).

Penelitian yang berjudul *Risk Assessment of A Post-Combustion and Amine-Based CO<sub>2</sub> Capture Ready Process* menjelaskan penggunaan dan kelebihan HAZOP sebagai metode yang terstruktur dan sistematis baik untuk *plant design* atau proses yang telah berjalan dalam mengevaluasi dan mengidentifikasi hal – hal yang dapat menimbulkan risiko terhadap pekerja atau peralatan (Krzemien, dkk, 2013).

Penelitian yang berjudul *HAZOP Study with Qualitative Risk Analysis for Priorization of Corrective an Prevention Actions* menjelaskan analisis HAZOP secara kuantitatif dan kualitatif dalam proses mengidentifikasi bahaya menggunakan pendekatan sistematis dalam penentuan deviasi kondisi normal serta penentuan safeguard yang tepat untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Analisis HAZOP secara kuantitatif adalah melalui pembuatan skenario bahaya dan menentukan penyebab terjadinya deviasi. Dengan adanya perkiraan *severity* dan *probability* dari tiap skenario maka akan dihasilkan rekomendasi langkah preventif yang paling penting. (Kotek, 2012).

#### 2.2. Proses Produksi Semen

Semen adalah suatu campuran senyawa kimia yang bersifat hidrolis artinya jika dicampur dengan air dalam jumlah tertentu akan mengikat bahan lain menjadi kesatuan yang memadat dan mengeras (Duda, 1984). Unsur utama semen adalah klinker dan *gypsum*. Klinker merupakan campuran antara senyawa *alite*

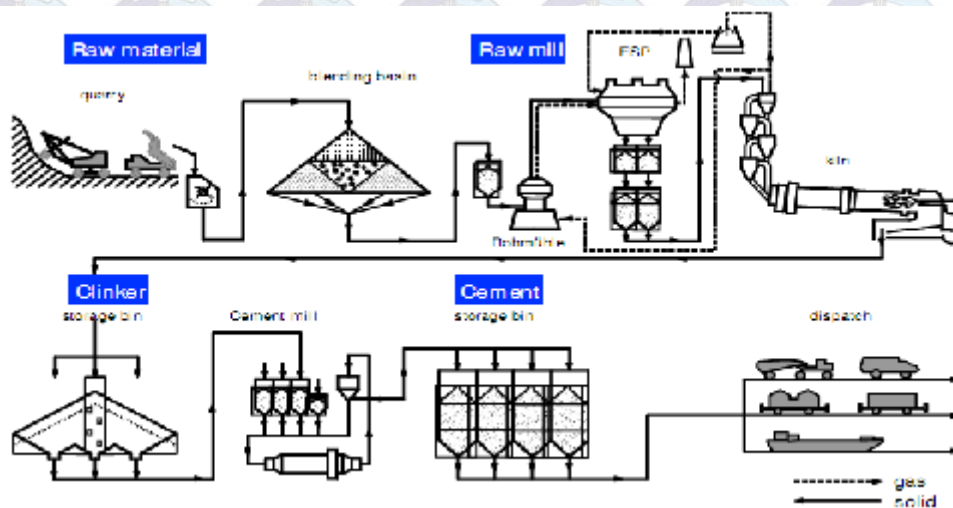
( $C_3S$ ), *belite* ( $C_2S$ ), *aluminat* ( $C_4AF$ ), dan *ferrite* ( $C_3A$ ). Klinker dibuat dengan komposisi bahan baku utama batu kapur (*limestone*) sekitar 70% - 90%, tanah liat (*clay*) sekitar 10% - 30% dan sisanya adalah bahan koreksi sebesar 0% - 10% (Neelkanth Lime, 2014). Bahan koreksi yang digunakan umumnya adalah pasir besi (*copper slag*), pasir silica dan *gypsum*. Bahan baku tersebut ditimbang dengan proporsi yang telah ditentukan oleh perusahaan dengan jenis semen yang akan diproduksi kemudian dipanaskan di kiln hingga suhu  $1450^{\circ}C$  dengan menggunakan batu bara dan tambahan bahan bakar alternatif (Semen Indonesia, 2014). Reaksi kimia yang terjadi pada pembentukan klinker dimulai dengan dekomposisi *calcium carbonate* ( $CaCO_3$ ) pada suhu sekitar  $900^{\circ}C$  menjadi *calcium oxide* ( $CaO$ ) dan menghasilkan gas karbondioksida ( $CO_2$ ). Proses berikut disebut dengan proses kalsinasi (Nelkanth Lime, 2014).



Proses produksi pada *cement plant* secara keseluruhan terdiri dari empat proses yaitu (UNIDO, 1994) :

- a. *Raw material process*
- b. *Clinker burning process*
- c. *Finish grinding process*
- d. *Transfer, storage and handling operation*

Proses produksi semen secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 2.1 berikut



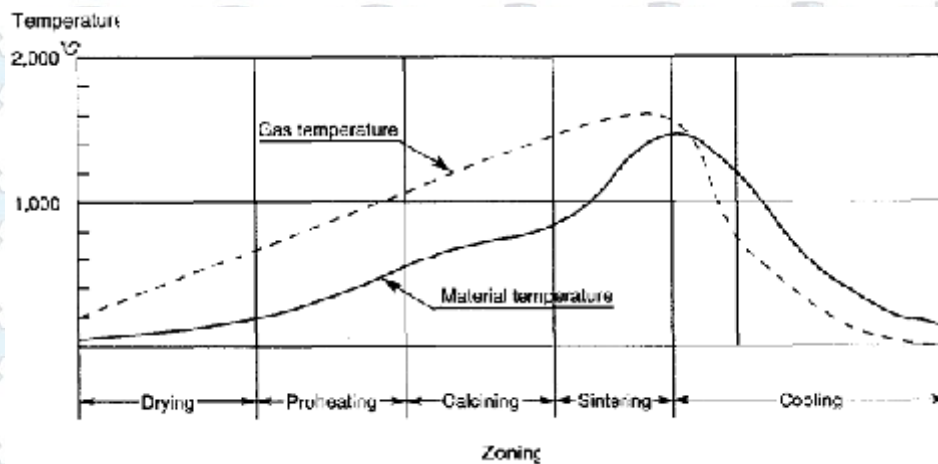
Gambar 2.1 Proses produksi semen secara keseluruhan (Vrijgen, 2006)



Proses produksi semen terbagi menjadi beberapa jenis antara lain (UNIDO, 1994) :

a. Proses Basah

Pada proses ini bahan baku dipecah hingga ukuran sekitar 20 mm dan dicampur dengan air dan tanah liat dalam rasio tertentu menggunakan *automatic weigher*. Campuran dengan kadar air sekitar 30%-40% (*slurry*) ini kemudian dikalsinasi dalam tanur panjang (*long rotary kiln*) untuk proses pembakaran klinker. Panjang *wet kiln* adalah sekitar 150-180 m (Boateng, 2008). Pada proses basah, *slurry* dapat dengan mudah dicampur karena efisiensi penggilingan lebih tinggi (lebih homogen) dan debu yang dihasilkan lebih sedikit. Untuk mengevaporasi sekitar 40% kadar air dari *slurry* dibutuhkan energi tambahan sekitar 400 kcal/kg klinker. Kekurangan dari proses ini di antaranya adalah penggunaan bahan bakar dan air yang lebih banyak dan tanur yang digunakan terlalu panjang karena memerlukan zona dehidrasi untuk mengendalikan kadar air sehingga biaya produksi lebih mahal. Temperatur proses pembakaran klinker pada proses basah ditunjukkan oleh Gambar 2.2 berikut.

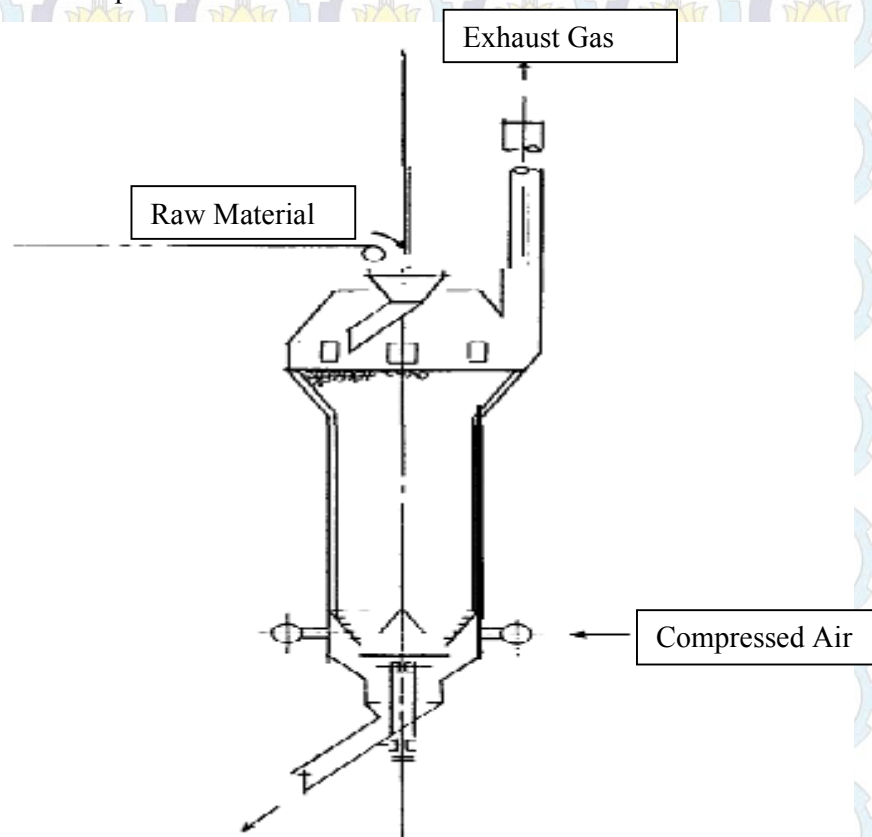


Gambar 2.2 Temperatur proses pembakaran klinker (UNIDO, 1994)

b. Proses Semi Kering

Proses ini merupakan transisi dari proses basah dan proses kering pembentukan semen. pada proses ini umpan kiln disemprot dengan air menggunakan alat yang disebut *granulator (pelletizer)* dengan tujuan mengubah umpan menjadi *granular* atau *nodule* dengan ukuran seragam

sekitar 10-13 mm dan kadar air sebesar 10-13%. Proses ini menggunakan tanur tegak (*shaft kiln*) atau *Lepol kiln*. Pada *Lepol kiln*, *pellets* dikeringkan dan dipanaskan oleh *movable grate preheater* kemudian diumpukan ke dalam kiln. Sistem ini diaplikasikan pertama kali pada konsep pemisahan pemanasan awal bahan baku dengan menggunakan peralatan dengan efisiensi termal yang tinggi secara terpisah. Pada *shaft kiln*, bahan bakar ditambahkan ke dalam proses *pelletizing*. Proses *drying*, *sintering* dan *cooling* terjadi pada satu tanur vertikal seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Keuntungan dari kiln ini adalah konsumsi energi panas yang dibutuhkan lebih kecil dari proses basah, namun memerlukan usaha untuk mempertahankan kondisi pembakaran yang stabil (*stable combustion state*) dan berisiko menghasilkan ketidakseragaman pada kualitas produk.



Gambar 2.3 *Shaft kiln* (UNIDO, 1994)

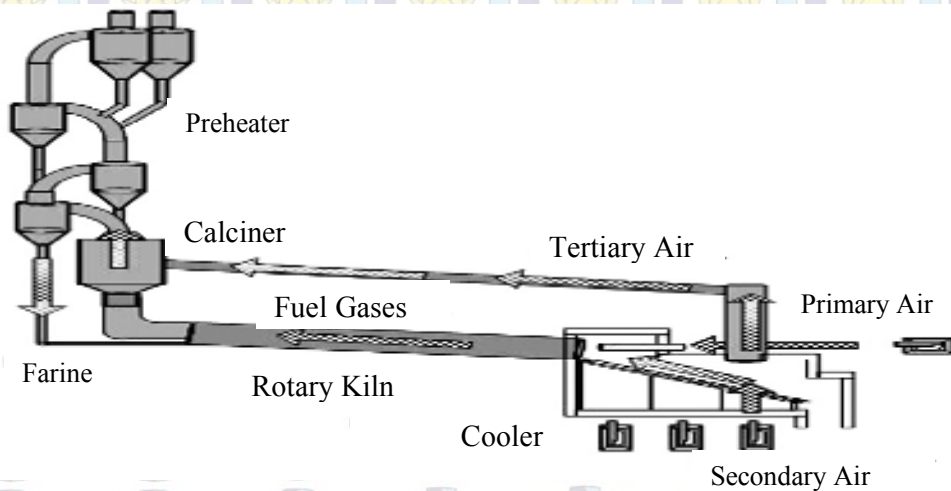
### c. Proses Kering

Pada proses ini bahan baku dihancurkan dalam keadaan kering di dalam *Raw Mill*. Bahan baku yang diterima oleh *plant* mengandung sedikit kadar air. Batu kapur (*limestone*) mengandung 2-5% sedangkan tanah liat (*clay*) mengandung 5-10% air. Bahan baku harus dievaporasi pada saat penggilingan untuk mengurangi kadar air di dalamnya. Hasil penggilingan berupa tepung halus dengan kadar air sebesar 0,5%-1% kemudian dikalsinasikan dalam tanur (*rotary kiln*). Pada proses kering, kiln yang umumnya digunakan antara lain *dry long kiln* (panjang sekitar 90-120 m), *short kiln* (15-75 m), *Suspention Preheater kiln* atau *Non Suspention Preheater kiln*. Proses ini menggunakan panas sekitar 1500-1900 kcal/g klinker (UNIDO, 1994). Proses kering mempunyai beberapa keuntungan diantaranya tanur yang digunakan relatif lebih pendek, panas yang dibutuhkan rendah sehingga bahan bakar yang dipakai lebih sedikit serta menghasilkan kapasitas produksi yang lebih besar. Berdasarkan alasan inilah proses produksi semen secara kering lebih banyak digunakan oleh industri manufaktur semen di dunia (Cement Industry Federation, 2013).

### 2.3 Proses Pembakaran Klinker pada Unit Kiln PTSI Tuban

Proses pembuatan semen pada PTSI menggunakan proses kering. Homogenasi umpan kiln pada proses ini dilakukan dalam keadaan kering (kadar air 0,1% - 1%) (Duda, 1984). Proses penghilangan air dilakukan dengan pemanasan (*preheating*) di luar kiln menggunakan pemanas awal (*preheater*). Proses pemanasan awal umpan dilakukan dengan cara mensuspensikan umpan ke dalam aliran gas panas (Vlachos, dkk, 2006). Proses pemanasan dengan cara suspensi ini dilakukan secara vertikal dan bertingkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Umpan material (*raw meal*) dari *Blending Silo* mengalami pemanasan melalui transfer aliran gas panas yang berasal dari kiln dan kalsiner secara langsung di dalam pemanas awal. Setelah melalui siklon-siklon pemanas awal, umpan material akan memiliki suhu sekitar 800°C (Nielsen, 2012). Umpan material ini kemudian menuju kalsiner untuk mengalami proses kalsinasi pembentukan klinker dengan cara pemberian temperatur yang lebih tinggi lagi.

Peralatan pemanas awal modern pada industri pembuatan semen umumnya telah dilengkapi dengan kalsiner yaitu *furnace* yang terpisah dan diletakkan setelah tahap siklon pemanas awal. Pada kalsiner, umpan mengalami kalsinasi dengan suhu sekitar 900°C (Dutta, 2011). Umpan material yang keluar dari kalsiner (disebut juga dengan *hot meal*) telah mengalami kalsinasi lebih dari 90%.



Gambar 2.4 Proses pemanasan awal dan pembakaran klinker (Vlachos, dkk, 2006)

*Rotary kiln* (tanur putar) merupakan peralatan utama pada proses pembuatan semen. *Rotary kiln* berfungsi sebagai tempat terjadinya kontak antara gas panas dan material umpan kiln sehingga terjadi reaksi kimia yang membentuk senyawa-senyawa penyusun semen (klinker) yaitu  $C_3S, C_2S, C_4AF, C_3A$  (Peray, 1979). *Rotary kiln* berbentuk silinder yang terbuat dari baja yang diletakkan secara horizontal dengan kemiringan tertentu sekitar  $3^\circ - 4^\circ$  dengan arah menurun (*declinasi*) (Duda, 1984). Salah satu ujung yang lebih tinggi adalah tempat material masuk (*inlet*), sedangkan di ujung lain adalah tempat terjadinya pembakaran bahan baku (*burning zone*) sehingga material akan mengalami pembakaran dari temperatur yang rendah menuju temperatur tinggi. Umpan kiln dari pemanas awal bersuhu 900°C masuk ke dalam kiln (sebagian hilang karena terkalsinasi). Tenaga gerak dari motor dan *main gear* menyebabkan kiln berputar. Perputaran pada kiln diatur oleh *girth gear* yang berfungsi sebagai pengaman dan mengurangi beban pada *main gear*. Karena pengaruh kemiringan dan gaya putar kiln, maka umpan kiln akan bergerak perlahan sepanjang kiln. Material akan

mengalami proses pembakaran menjadi klinker. Perputaran kiln yang berlawanan dengan arah jarum jam menyebabkan terjadinya gaya dorong sehingga umpan material dapat bergerak menuju arah *clinker cooler* (Boateng, 2008). Karena kalsinasi sekitar 90% sudah terjadi pada kalsiner maka di dalam kiln umpan akan mengalami kalsinasi lebih lanjut dan pelelehan di daerah *Burning Zone* sehingga menghasilkan klinker. Sistem pembakaran pada *rotary kiln* yang digunakan adalah *indirect firing* yaitu dengan menggunakan batu bara hasil penggilingan di *coal mill* dan gas panas dari pemanas awal tidak digunakan secara langsung melainkan ditampung dahulu di dalam *coal bin* (Budi, 2007). Selama proses pembakaran, umpan melewati 4 zona pada *rotary kiln* yaitu (Boateng, 2008) :

- a. Zona Kalsinasi, proses di mana umpan yang masuk ke dalam kiln akan mengalami kalsinasi karena mendapat panas yang lebih tinggi dari pemanas awal dengan suhu sekitar 900 – 1100 °C. Hal ini mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk pada material dari serbuk padat menjadi serbuk yang mulai meleleh.
- b. Zona Transisi, proses di mana material mendapat pemanasan dengan suhu yang lebih tinggi yaitu sekitar 1100 – 1200 °C sehingga material pada proses ini hampir mendekati cair.
- c. Zona Pembakaran (*Burning Zone*), proses di mana material mengalami pemanasan secara penuh dari kiln hingga mencair dan panasnya mencapai suhu 1250 – 1450 °C.
- d. Zona Pendinginan (*Cooling Zone*), proses di mana material mendapatkan pendinginan secara cepat pada suhu 1450 – 1300 °C.

Material dan gas mempunyai temperatur yang berbeda selama proses pembentukan klinker berlangsung. Temperatur gas jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur material yang mengalami pembakaran.

*Clinker cooler* berfungsi sebagai pendingin klinker yang sudah terbentuk dan memproduksi udara pembakar sekunder yang digunakan dalam *rotary kiln*. Klinker hasil pembakaran yang mempunyai suhu 1250 °C keluar dari *rotary kiln* menuju *clinker cooler*. *Clinker cooler* yang digunakan terdiri dari 16 kompartemen dan udara sebagai media pendingin dihasilkan oleh 14 buah *fan*. Pendinginan dilakukan secara mendadak yaitu untuk menghindari terjadinya

pengerasan semen sehingga *clinker* yang dihasilkan menjadi amorf dan mudah untuk digiling. Pendinginan dilakukan sampai suhu klinker menjadi 100°C.

Maksud dari pendinginan klinker adalah (Budi, 2007) :

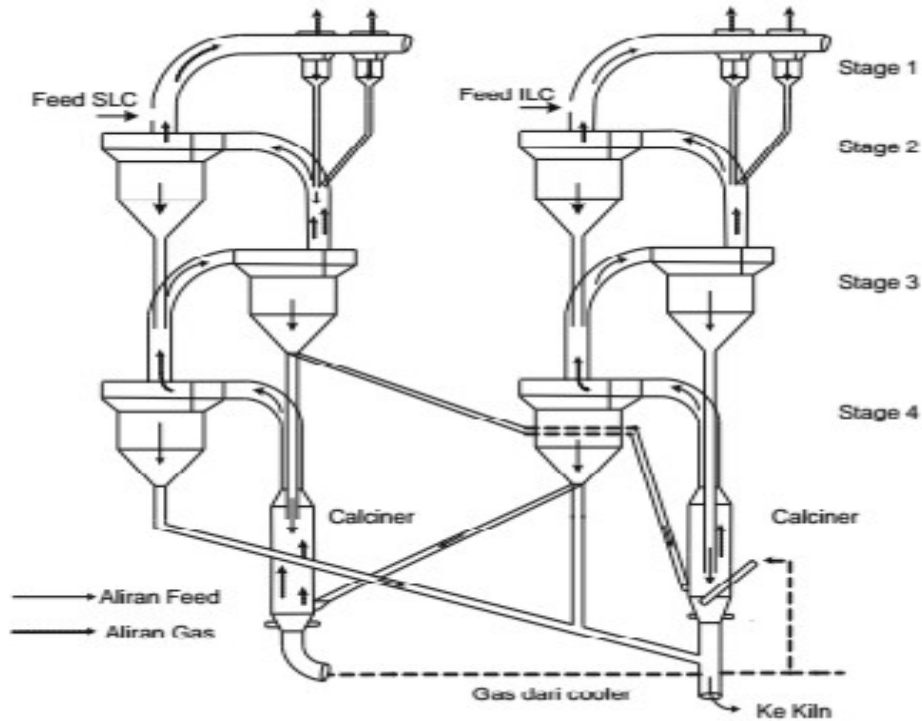
- a. Menghindari pembentukan  $C_2S$  akibat dekomposisi  $C_3S$  dan menyebabkan kualitas semen menjadi rendah.
- b. Mencegah kerusakan pada peralatan.
- c. Menggunakan udara panas yang terkandung dalam klinker sebagai udara pembakar sekunder pada *rotary kiln*.

## **2.4 In-Line-Calcliner (ILC) dan Separate-Line-Calcliner (SLC) pada Unit Kiln**

### **PTSI Pabrik Tuban III**

PTSI pabrik Tuban III menggunakan pemanas awal jenis *double string*, yaitu pemanas awal dengan 4 tahap atau 4 siklon yang dipasang seri. *String I* merupakan ILC (*In Line Calcliner*) dan *string II* adalah SLC (*Separator Line Calcliner*). Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan antara gas panas dan material di dalam peralatan pemanas awal, pada tahap paling atas dipasang *double cyclones*. Pemberian nama tahap (*stage*) dimulai dari atas ke bawah. Tahap I – III berfungsi sebagai pemanas awal umpan kiln, sedangkan tahap IV berfungsi sebagai pemisah produk (material dengan gas pembawanya). Material masuk ke dalam *riser duct* tahap I kemudian bercampur dengan gas panas yang masuk ke dalam siklon dimana terjadi pemanasan dan proses perpindahan gas dan material. Campuran material dan gas panas yang masuk dengan arah tangensial menyebabkan terbentuknya pusaran angin di dalam siklon yang menyebabkan terjadinya gaya sentrifugal, gaya gravitasi dan gaya angkat yang akan mempengaruhi aliran material. Gaya sentrifugal menyebabkan material yang kasar menumbuk dinding siklon sehingga material tersebut jatuh menuju *down pipe*. Sedangkan pada material yang lebih halus, gaya angkat sangat berpengaruh sehingga akan terangkat bersama dengan gas keluar dari siklon (Peray, 1979). Proses ini berulang sampai dengan tahap IV. Material yang keluar dari siklon tahap III akan masuk ke dalam ILC dan SLC untuk mengalami proses kalsinasi awal. Selanjutnya material yang telah terkalsinasi akan masuk ke dalam siklon

tahap IV dan siap diumpungkan ke dalam kiln setelah mengalami kalsinasi sebesar 91%.



Gambar 2.5 Sistem pemanas awal ILC dan SLC (Boateng, 2008)

Tabel 2.1 Suhu Material dan Gas pada tiap Stage

Stage	Suhu Material (°C)	Suhu Gas (°C)
I	310 – 330	355 – 365
II	500 – 550	540 – 560
III	650 - 690	690 – 710
IV	780 – 800	820 – 840
Kalsiner	900 – 930	830 – 870

Sumber : *Central Control Room* Tuban III

Spesifikasi sistem pemanas awal ILC – SLC yang digunakan pada PTSI yaitu (FLSmidh, 2014) :

Tipe : Siklon bertekanan rendah (ILC dan SLC)

Jumlah siklon : 4 buah

Tipe kalsiner ILC : FLS 5200

Tipe kalsiner SLC : FSC 7800

Diameter siklon : 6,9 m

Diameter siklon ganda : 5 m  
Kapasitas ID fan : 2 x 706.000 m<sup>3</sup>/jam  
Motor fan : 2500 kW, 1000 rpm, 6 kV

#### 2.4.1 Sistem ILC

Karakteristik dari sistem ILC ini adalah aliran gas panas dari kiln langsung menuju kalsiner karena hanya terdapat satu aliran antara pemanas awal dan kalsiner seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Derajat kalsinasi sistem ILC adalah sekitar 90 - 95% dengan kapasitas produksi antara 1.500 - 12.000 ton/hari dan rasio pembakaran sekitar 55 - 65% (Nielsen, 2012). Sebagian udara pembakaran pada kalsiner berasal dari *cooler* melalui *separate tertiary air duct* yang terletak diantara *cooler* dan kalsiner. Hal ini menyebabkan volume gas yang melalui kiln berkurang sehingga ukuran kiln menjadi lebih kecil. Di atas *fuel inlet* dan *tertiary air duct* adalah zona oksidasi pembakaran bahan bakar yang akan menaikkan temperatur. Kenaikan temperatur ini dikontrol oleh penambahan umpan material ke dalam bagian kalsiner yang lebih rendah dengan menggunakan panas dari reaksi kalsinasi. Reaksi kalsinasi endotermis difasilitasi oleh transfer panas yang efisien dari gas ke material. Gas dan partikel material keluar dari kalsiner menuju *loop duct* dan mengalami oksidasi CO dengan cara menaikkan *gas mixing*. Temperatur pada sistem ILC mencapai temperatur kalsinasi yang seimbang pada suhu sekitar 850-900°C (Nielsen, 2012).

Beberapa keunggulan dari penggunaan sistem ILC adalah sebagai berikut (FLSmidth) :

- a. Mempunyai *retention time* atau waktu simpan untuk gas dan umpan material di dalam kalsiner yang lebih lama karena volume yang besar dan perputaran yang sedang.
- b. Dapat menggunakan bahan bakar dengan kualitas yang lebih rendah.
- c. Mempunyai masa pakai refraktori yang lebih panjang karena temperatur beban kiln yang lebih rendah dan proses *kiln coating* yang relatif lebih stabil dibandingkan sistem kiln tanpa kalsiner.
- d. Mempunyai laju emisi NO<sub>x</sub> yang lebih rendah.



#### 2.4.2 Sistem SLC

Karakteristik dari sistem SLC ini adalah udara pembakaran pada kalsiner berasal dari *separate tertiary air duct*. Karena udara pembakaran dari kiln tidak langsung melewati kalsiner, maka ukuran kalsiner dapat berkurang guna mencapai kecepatan laju gas dan *retention time* yang dibutuhkan sehingga dapat diperoleh ukuran pemanas awal yang lebih pendek dan lebih murah (FLSmith, 2014).

Temperatur pembakaran pada sistem SLC dapat dikontrol secara terpisah dari temperatur umpan material yang ditambahkan pada kalsiner. Sistem SLC ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Beberapa keunggulan dari sistem SLC adalah (FLSmith, 2014) :

- a. Dapat menggunakan semua tipe bahan bakar bahkan bahan bakar yang mudah menguap karena pembakaran pada kalsiner bertempat pada atmosfer udara yang panas.
- b. Tidak menggunakan damper pada *tertiary air duct*.

Secara umum, penggunaan kalsiner pada peralatan pemanas awal dalam sistem kiln mempunyai beberapa keuntungan diantaranya (Vlachos, dkk, 2006) :

- a. Menurunkan beban termal dan menaikkan kecepatan putar pada kiln (agar diperoleh pencampuran umpan yang lebih baik).
- b. Meningkatkan kapasitas produksi pada kiln.
- c. Memperpanjang umur batu tahan api atau refraktori pada kiln sehingga dapat menambah masa operasional kiln.
- d. Dapat menggunakan bahan bakar dengan kapasitas termal yang rendah karena temperatur yang dibutuhkan pada kalsiner rendah.
- e. Menurunkan emisi NO<sub>x</sub> karena bahan bakar dibakar pada temperatur yang relatif rendah

Selain itu penggunaan kalsiner juga memunculkan beberapa kekurangan yaitu (Vlachos, dkk, 2006) :

- a. Temperatur gas buang yang keluar dari siklon atas menjadi lebih tinggi. Hal ini diatasi dengan perancangan siklon hemat energi yang mempunyai *pressure drop* rendah.

- b. Temperatur klinker yang keluar dari kiln menjadi relatif lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa kalsiner. Hal ini diatasi dengan penggunaan *cooler* yang efektif yaitu *grate cooler*.

#### **2.4.3 Parameter pada Sistem Pemanas Awal ILC – SLC Unit Kiln PTSI Pabrik Tuban III**

Parameter data proses ILC – SLC yang diukur sebagai variabel keberhasilan proses operasional sistem pemanas awal dan kalsiner pada *Central Control Room* (CCR) Tuban III antara lain :

- a. *Gas Analyser* pada *outlet/exit* sistem pemanas awal meliputi gas CO dan O<sub>2</sub> dengan konsentrasi dalam %. Gas CO diukur untuk sebagai indikasi kualitas proses pembakaran. Selain itu monitoring konsentrasi gas CO dan O<sub>2</sub> adalah sebagai kontrol pembakaran di dalam kiln agar kualitas klinker terpenuhi, dapat mereduksi emisi gas berbahaya, mencegah sistem pemanas awal dan kiln berhenti beroperasi karena pembentukan *built-up* CO dan mengoptimalkan konsumsi bahan bakar (FLSmith, 2014). Kadar konsentrasi gas CO dan O<sub>2</sub> terukur yang diijinkan masing-masing adalah 0-1% dan tidak lebih dari 3% (CCR Tuban III, 2015).
- b. Temperatur material pada *outlet/exit* kalsiner (temperatur stage IV kalsiner) antara 830-870°C untuk ILC dan 840-890°C (CCR Tuban III, 2015). Jika temperatur material yang telah mengalami kalsinasi jauh lebih tinggi dari nilai tersebut dapat menyebabkan material bersifat lengket dan membentuk *blocking* pada *inlet* kiln.
- c. Temperatur gas pada *outlet/exit* sistem pemanas awal bernilai antara 350-380°C untuk pemanas awal dengan 4 siklon (Nielsen, 2012) berkaitan dengan kinerja ID Fan ILC-SLC untuk menghindari kerusakan alat atau komponen yang dilewati gas panas serta menghindari suhu gas buang yang terlalu panas ke lingkungan (CCR Tuban III, 2015).
- d. *Pressure difference/drop* pada *outlet/exit* sistem pemanas awal yaitu perbedaan atau selisih nilai tekanan pada *bottom* dan *upper cyclone*. Nilai *pressure difference/drop* dapat mengindikasikan kelancaran atau adanya keabnormalan pada proses operasional. Salah satu keabnormalan pada

proses operasi yaitu kenaikan nilai *pressure difference/drop* disebabkan adanya kebuntuan pada siklon akibat suhu material yang terlalu dingin atau terlalu panas (CCR Tuban III, 2015). Namun jika nilai *pressure difference/drop* terlalu rendah akan menyebabkan pemisahan antara gas dan material tidak sempurna. Hal ini juga dapat menyebabkan kebuntuan pada siklon pemanas awal dan kalsiner (Peray, 1979).

## 2.5 Hazard and Operability Study (HAZOP)

*Hazard and Operability Study* (HAZOP) adalah suatu standard teknik antisipasi imajinatif dan analisis bahaya untuk meninjau suatu proses atau operasi pada sebuah sistem dari kondisi desain yang dapat menimbulkan masalah operasi proses dan bahaya (Pumfrey, 1999). HAZOP merupakan metode kualitatif dengan penilaian sebuah perencanaan atau proses yang sistematis dan terstruktur yang bertujuan untuk menentukan hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya risiko pada sumber daya manusia atau peralatan (Silvianita, dkk, 2015). Teknik HAZOP sangat bergantung pada detail deskripsi sistem yang tersedia dan membaginya menjadi subsistem untuk kemudian dikombinasikan dengan *guide words* dan deviasinya (Maragasi, dkk, 2009).

Terdapat empat tujuan dasar dari analisis studi HAZOP yaitu (Pumfrey, 1999) :

- a. Untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab dari semua perubahan penyimpangan dalam fungsi proses.
- b. Untuk menentukan semua bahaya-bahaya dan permasalahan operasi.
- c. Untuk memutuskan aksi apa yang dibutuhkan untuk mengontrol bahaya atau permasalahan *operability*.
- d. Untuk meyakinkan bahwa aksi-aksi yang telah diputuskan terimplementasi dan terdokumentasi.

Kondisi yang dipertimbangkan berpotensi terjadi bahaya dan dianalisis menggunakan HAZOP antara lain yaitu (Musyafa, 2012) :

- a. *Fire and explosion*
- b. *Damage to facilities and equipment*
- c. *Safety and health hazard to personnel*
- d. *Emergency shutdown system (ESD)*

e. *Operability or maintainability problems*

f. *Plant non-availability*

g. *Environmental impacts*

h. *Construction and commissioning hazards*

Dibutuhkan beberapa informasi terlebih dahulu sebelum melakukan HAZOP studi yaitu diantaranya (Ahmad, 2010) :

a. Untuk *Preliminary* HAZOP :

1. *Process Flow Diagram*

2. Deskripsi dari proses tersebut

b. Untuk Detail HAZOP :

1. *Piping and Instrument Diagram (P&ID)*

2. *Process Calculation*

3. *Process Data Sheets*

4. *Instrument Data Sheets*

5. *Interlock Schedules*

6. *Layout Requirements*

7. *Hazardous Area Classification*

8. *Schedule of alarm trip setting, cause and effect chart*

9. *Piping Material Specifications, Main Piping Layout and Elevation Drawing*

### **2.5.1 Guide Words dan Parameter HAZOP**

*Guide words* merupakan kata-kata mudah (*simple*) yang digunakan untuk desain secara kualitatif atau kuantitatif dan sebagai penunjuk serta simulasi proses *brainstorming* untuk mengidentifikasi bahaya-bahaya proses (Pumfrey, 1999).

Sedangkan proses parameter merupakan properti kimia atau fisika dengan proses, meliputi item-item general seperti *reaction, mixing, concentration*, pH, dan item-item yang spesifik seperti *temperature, pressure, phase*, dan *flow*. Berikut merupakan contoh dari *guide words* dan parameter proses HAZOP yang masing – masing ditunjukkan oleh Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.2 *Guide words* pada HAZOP

Keyword	Logical Meaning
No	Total negation of the original function
More	Quantitative increase
Less	Quantitative decrease
Other than	Total substitution
Part of	Qualitative decrease
As well as	Qualitative increase

Sumber : Kotek, 2012

Tabel 2.3 Parameter Proses Analisis HAZOP

Flow	Time	Frequency	Mixing
Pressure	Composition	Viscosity	Addition
Temperature	pH	Voltage	Separation
Level	Speed	Information	Reaction

Sumber : CCPS, 2001

Contoh korelasi antara *guide words* dan parameter proses ditunjukkan oleh Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Korelasi antara *guide words* dan parameter proses

Guideword	Parameter					
	Flow	Pressure	Level	Temperature	Viscosity	Contaminant
No	X					
Less	X	X	X	X	X	
More	X	X	X	X	X	
Part of						
As well as						X
Reserve	X					X
Other than						X

Sumber : Musyafa, 2012

Teknik analisa HAZOP membutuhkan gambar proses atau prosedur yang dibagi menjadi titik studi, bagian proses, atau langkah operasi dan potensi bahaya proses tersebut ditempatkan dengan menggunakan *guide words* (Zulfiana, 2013). Hasil dari HAZOP dicatat dalam format tabulasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Format Lembar Kerja Analisa HAZOP

Component	Deviation	Possible Causes	Consequences	Risk			Safeguards	Recommendations
				S	L	R		

Sumber : Kotek, 2012

### 2.5.2 Estimasi Risiko (*Risk Assessment*)

Risiko pada sebuah sistem disebabkan adanya bahaya yang terjadi pada sistem tersebut. Bahaya merupakan suatu keadaan dimana terjadi kehadiran material atau kondisi yang mempunyai potensi untuk menyebabkan kerugian maupun kecelakaan (Pumfrey, 1999). Estimasi risiko merupakan langkah awal dalam mencegah terjadinya kecelakaan dalam suatu sistem proses (Krzemien, dkk, 2013). Estimasi risiko terdiri dari tiga langkah penting yaitu identifikasi risiko, analisis risiko dan evaluasi risiko. Risiko merupakan kombinasi dari *likelihood* dan *consequence*. *Likelihood* merupakan frekuensi kemungkinan suatu risiko dapat terjadi pada suatu komponen dalam sebuah periode waktu. *Consequence* merupakan akibat dari suatu kejadian yang biasanya dinyatakan sebagai kerugian dari suatu risiko. *Consequence* bisa ditinjau dari segi kerusakan komponen sampai tidak dapat beroperasi kembali, dari segi pengaruhnya pada manusia, atau dari segi biaya yang dikeluarkan akibat adanya bahaya yang ditimbulkan (Ahmad, 2010;Kotek, 2012). Oleh karena itu, perhitungan risiko dapat dilakukan dengan mengalikan nilai *likelihood* dengan *consequence* seperti persamaan (2.1).

$$\text{Risks} = \text{Likelihood} \times \text{Consequence} \quad (2.1)$$

Dimana :

*Consequence* = konsekuensi untuk suatu resiko

*Likelihood* = frekuensi kegagalan untuk suatu resiko

Nilai *likelihood* diperoleh dari perbandingan antara jumlah hari operasional per tahun terhadap nilai MTTF (*Mean To Time Failure*) seperti pada persamaan (2.2).

$$\text{Likelihood} = \frac{T}{\text{MTTF}} \quad (2.2)$$

Nilai MTTF didapat dari setiap data *maintenance* komponen atau data laju kegagalan. MTTF didapatkan dari persamaan (2.3).

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

$\lambda$  adalah nilai dari *failure rate*.

Analisis risiko didapat dengan mengkombinasikan *likelihood* dan *consequence* dengan menggunakan *risk matrix* seperti pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 *Risk Matrix*

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Low
Unlikely (2)	Low	Low	Low	Medium	Medium
Possible (3)	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Likely (4)	Low	Medium	Medium	High	High
Almost certain (5)	Low	Medium	Medium	High	Extreme

Sumber : CCR Tuban III

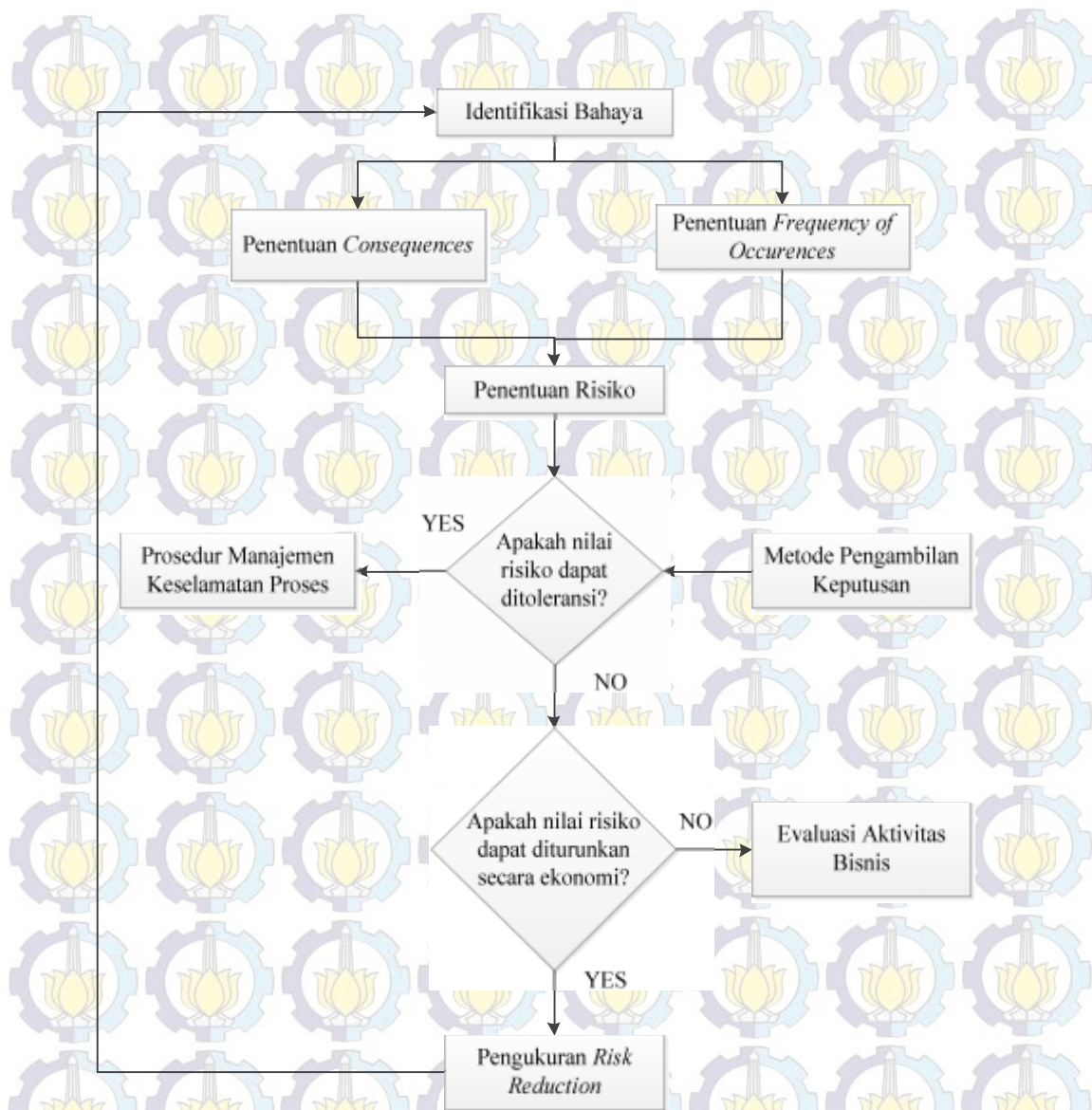
## 2.6 Manajemen Risiko dan Analisis *Safety System*

### 2.6.1 Manajemen Risiko

Manajemen risiko dapat diartikan sebagai suatu upaya pengelolaan risiko yang terstruktur dan bertujuan untuk mengetahui, menganalisa, serta mengendalikan risiko dalam setiap kegiatan atau aktivitas perusahaan yang diaplikasikan untuk menuju efektivitas manajemen yang lebih tinggi dalam menangani kesempatan yang potensial dan kerugian yang dapat mempengaruhi perusahaan (Berg, 2010). Mengatur risiko ialah suatu proses sistematis yang digunakan untuk membuat keputusan dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari performansi perusahaan. Sedangkan mengelola risiko adalah mengidentifikasi suatu kejadian yang dapat merugikan perusahaan dan mengambil suatu tindakan untuk menghindari dan mengurangi hal-hal yang tidak diinginkan oleh perusahaan. Setiap perusahaan membutuhkan metode tertentu untuk mengontrol berbagai risiko yang mungkin timbul. Langkah-langkah penentuan manajemen risiko dan *safety* adalah (Berg, 2010) :

- a. Menentukan konteks dan tujuan
- b. Mengidentifikasi risiko
- c. Menganalisis risiko yang telah teridentifikasi
- d. Mengevaluasi risiko
- e. Me-manage risiko
- f. Memonitoring dan mereview risiko secara berkala

Gambaran proses dari manajemen risiko ditunjukkan oleh Gambar 2.6 berikut.

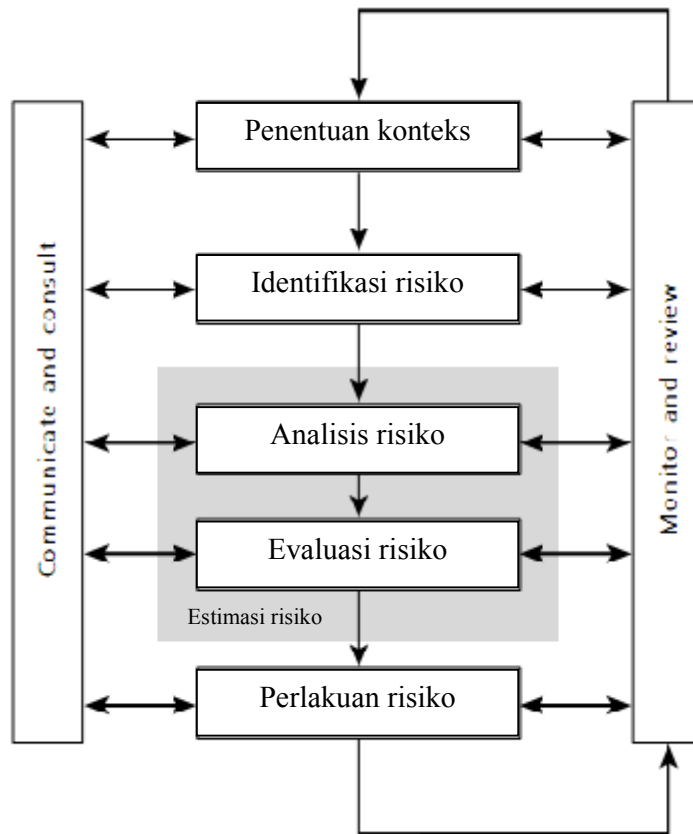


Gambar 2.6 Diagram Alir Proses Manajemen Risiko (AS/NZS, 1999)

Setelah melakukan proses identifikasi bahaya langkah selanjutnya adalah menentukan kriteria *consequence* dan kriteria frekuensi kejadian atau *likelihood*. Level risiko dapat dihitung dari nilai kriteria *consequence* dan *likelihood* dengan bantuan *risk matrix*. Analisis risiko dilakukan untuk mengetahui apakah level risiko dapat ditoleransi atau tidak. Pengukuran *risk reduction* diperlukan untuk menurunkan nilai risiko sehingga masih berada dalam batas toleransi. Pengukuran *risk reduction* berkaitan dengan perhitungan *probability failure on demand* (PFD) komponen.



Proses estimasi risiko atau *risk assessment* merupakan langkah awal dalam penentuan nilai atau level risiko. Proses ini dapat dibagi menjadi tiga langkah utama yaitu identifikasi risiko, analisis risiko dan evaluasi risiko sebagai bagian paling penting dalam proses manajemen risiko (Krzemien, dkk, 2013). Gambar 2.7 berikut menunjukkan kontribusi dari estimasi risiko terhadap proses manajemen risiko.



Gambar 2.7 Kontribusi estimasi risiko terhadap manajemen risiko (AS/NZS, 1999)

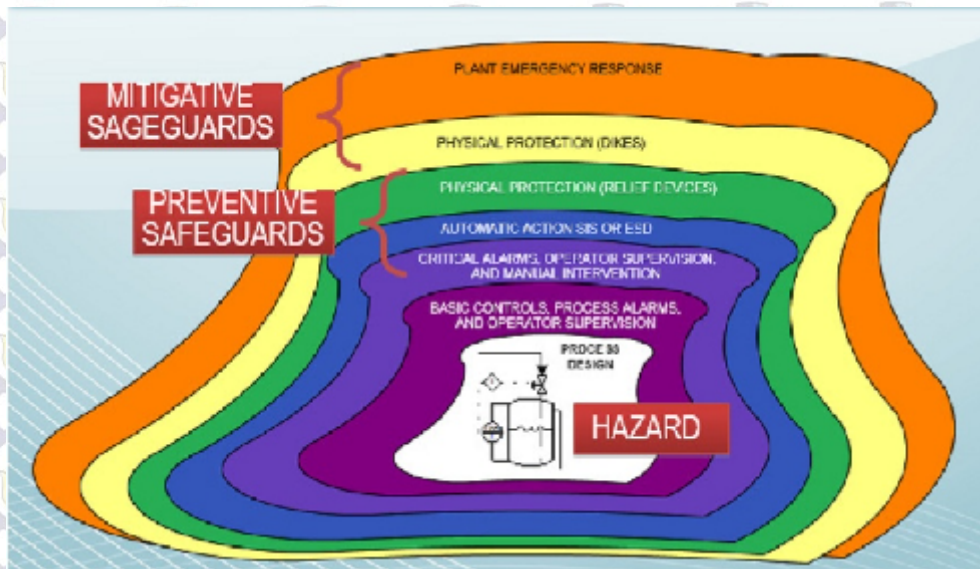
### 2.6.2 Analisis Safety System

Analisis *safety system* adalah aktivitas penegasan *safety* yang menghasilkan bukti bahwa diperlukan adanya *safety system* dalam sebuah *process plant* (Pumfrey, 1999). *Safety system* merupakan suatu kegiatan yang ditujukan untuk mencegah semua jenis kecelakaan maupun kerugian pada lingkungan dan situasi kerja sebuah sistem. *Safety system management* dapat terlihat sama atau

setipe dengan manajemen risiko, tetapi dalam prakteknya *safety system management* adalah bagian utama dan penting dari manajemen risiko. *Safety management* mengacu pada segala aktivitas berkaitan dengan *planning, organization, management* dan *supervision* dari tiap individual dan aktivitas kerja dengan tujuan mencapai derajat performansi keselamatan yang tinggi. Melakukan komunikasi dan konsultasi secara rutin serta membuat laporan.

Proteksi keselamatan fasilitas seperti pada industri kimia (*chemical plant*) dibagi menjadi beberapa layer atau lapisan. Tujuh dari lapisan ini digambarkan oleh Gambar 2.8. Lapisan proteksi tersebut yaitu (Willey, 2014) :

- a. Lapisan 1 : *Process Design*
- b. Lapisan 2 : *Basic control, process alarms and operator supervisions*
- c. Lapisan 3 : *Critical alarms, operator supervision and manual intervention*
- d. Lapisan 4 : *Automatic action (SIS or ESD)*
- e. Lapisan 5 : *Physical protection (i.e. relief devices)*
- f. Lapisan 6 : *Physical protection (i.e. dikes)*
- g. Lapisan 7 : *Plant emergency response*
- h. Lapisan 8 : *Community emergency response*



Gambar 2.8 *Layers of Protection* (Willey, 2014)

Berdasarkan standard *layers of protection*, lapisan proteksi satu tingkat di atas BPCS (*Basic Process Control System*) yang bekerja secara otomatis dan

harus dimiliki setiap *process plant* adalah SIS (*Safety Instrumented System*) yang berfungsi menjaga proses pada kondisi aman jika terjadi bahaya potensial yang tidak dapat diatasi oleh desain peralatan proses maupun sistem kontrol (Willey, 2014; Windhorst, 2014). Salah satu penilaian performansi SIS secara kuantitatif adalah SIL (*Safety Integrity Level*). SIL mempresentasikan besarnya probabilitas kegagalan dari komponen SIS ketika ada permintaan (*probability failure on demand*) (ISA TR 84.00.02, 2002). Permintaan ini terjadi ketika proses mencapai kondisi *trip* dan menyebabkan SIS melakukan tindakan keamanan. Nilai PFD dapat diperoleh dengan persamaan (2.4) berikut.

$$PFD_{total} = PFD_{avg_{sensor}} + PFD_{avg_{logic\ solver}} \quad (2.4)$$

Nilai PFD<sub>avg</sub> didapatkan melalui persamaan (2.5) berikut.

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda_i \times T_i}{2} \quad (2.5)$$

Dimana  $\lambda_i$  adalah laju kegagalan dan  $T_i$  adalah interval terjadinya kegagalan.

Hasil dari besarnya nilai PFD akan mempengaruhi nilai dari *risk reduction factor* (RRF), dimana memiliki persamaan seperti (2.6) berikut.

$$RRF = \frac{1}{PFD} \quad (2.6)$$

Tabel 2.7 berikut menunjukkan cakupan nilai PFD komponen yang merepresentasikan tingkatan SIL.

Tabel 2.7 Tingkat SIL terhadap PFD dan RRF

Kategori SIL	PFD SIF	RRF= (1/PFD)
NR- unnecessary	$1 \leq PFD$	$RRF \leq 1$
SIL 0	$10^{-1} \leq PFD < 1$	$1 < RRF \leq 10$
SIL 1	$10^{-2} \leq PFD < 10^{-1}$	$10 < RRF \leq 100$
SIL 2	$10^{-3} \leq PFD < 10^{-2}$	$100 < RRF \leq 1.000$
SIL 3	$10^{-4} \leq PFD < 10^{-3}$	$1.000 < RRF \leq 10.000$
SIL 4	$10^{-5} \leq PFD < 10^{-4}$	$10.000 < RRF \leq 100.000$

Sumber : ISA TR 84.00.02, 2002



*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

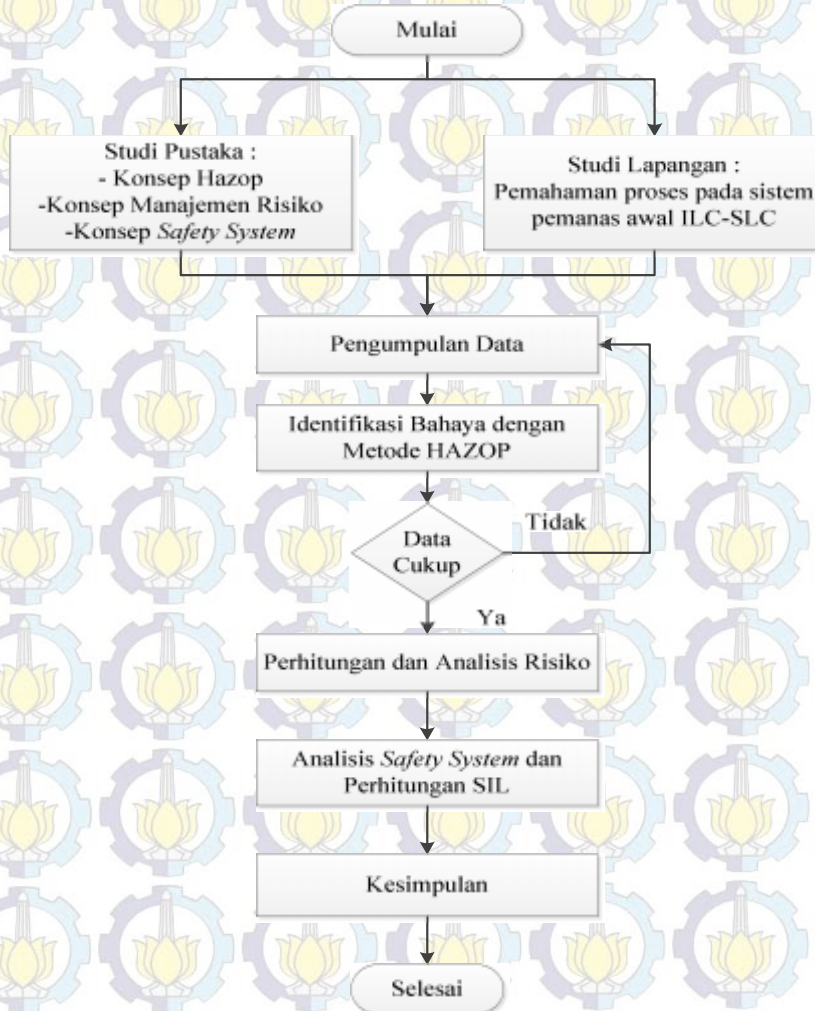
## BAB III

### METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan mengenai langkah – langkah penelitian ini yang terdiri dari diagram alir penelitian, pengambilan data, tahap identifikasi bahaya, tahap estimasi risiko dan tahap analisis *safety system*.

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi dalam pengerjaan tesis dapat digambarkan dalam bentuk alur diagram sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahap ini dilakukan sebagai tahap awal dalam pengumpulan informasi yang menunjang analisis pada penelitian, meliputi *Process Flow Diagram* (PFD), *Piping & Instrument Diagram* (P&ID), data operasional sistem pemanas awal ILC – SLC yang terekam oleh DCS pada *Central Control Room* (CCR), data gangguan *downtime* sistem pemanas awal ILC – SLC selama 6 bulan yaitu pada bulan Januari, Juni, Juli, Agustus, September dan Oktober 2015, data komponen pada unit Kiln serta *risk matrix* pada PTSI. Data proses operasional yang digunakan pada komponen sistem pemanas awal ILC – SLC diambil setiap satu jam sekali selama 24 jam sehari dalam satu bulan. Berkaitan dengan keterbatasan untuk mengakses data maka dilakukan pencuplikan pada bulan Januari, Juni, Juli dan Agustus 2015 sehingga didapat 100 buah data. Data-data inilah yang akan digunakan untuk mengidentifikasi risiko dan menganalisis risiko sistem pemanas awal ILC – SLC pada PTSI.

### 3.3 Tahap Identifikasi Bahaya

Metode yang digunakan dalam melakukan identifikasi bahaya ini adalah *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP). Langkah-langkah dalam melakukan identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP adalah (Krzemien, dkk, 2013; Silvianita, dkk, 2014; Kristianingsih, 2014; Zulfiana, 2014) :

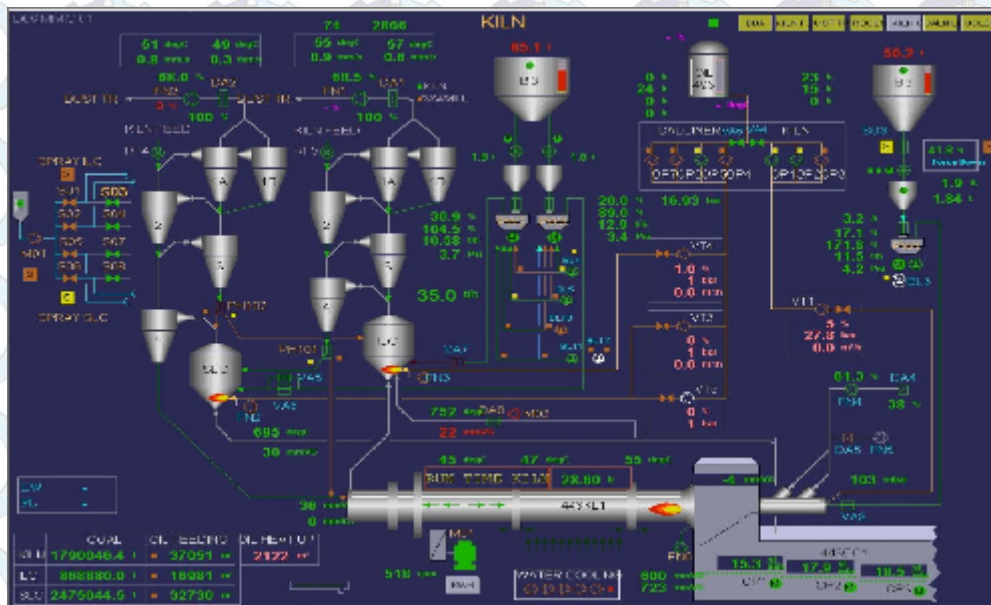
1. Menentukan *node* atau titik studi berdasarkan data P&ID yang telah diperoleh. Pada penelitian ini, *node* ditentukan berdasarkan dua bagian utama dari sistem pemanas awal dengan kalsiner yaitu ILC (*In-Line Calciner*) dan SLC (*Separate-Line Calciner*).
2. Menentukan *guide word* dengan menggunakan data proses yang diambil untuk masing-masing komponen kemudian diolah dan ditampilkan melalui *control chart* agar terlihat trend data dari setiap proses dari komponen titik pengukuran pada tiap *node* untuk mengetahui deviasi proses.
3. Melakukan analisis penyebab dari deviasi proses dan akibat yang ditimbulkan untuk direkam dalam lembar kerja HAZOP.

### 3.3.1 Penentuan Node

Pada penelitian ini, *node* ditentukan menjadi dua yaitu ILC (*node 1*) dan SLC (*node 2*). Berdasarkan data proses operasional yang tercatat pada CCR Tuban III, terdapat beberapa variabel yang diukur oleh komponen pengukuran pada sistem pemanas awal ILC dan SLC yaitu :

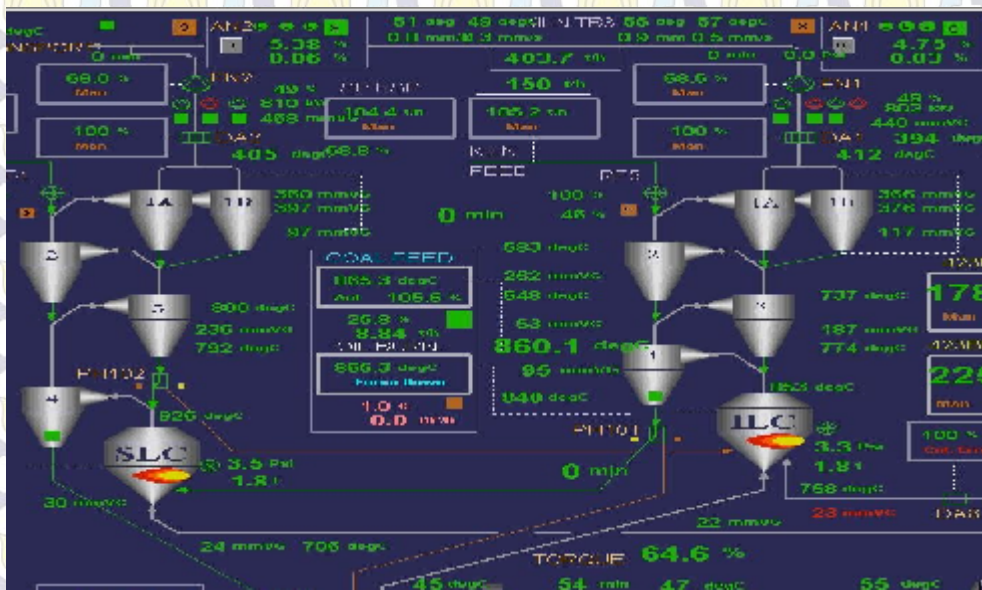
1. *Gas analyser* pada *preheater exit* untuk mengukur kadar gas O<sub>2</sub> dan CO dalam %.
2. Temperatur material pada kalsiner tahap IV.
3. Temperatur gas pada *preheater exit*.
4. Perbedaan tekanan (*pressure difference/drop*) pada *preheater exit*.

Sistem pembakaran klinker pada unit kiln secara umum ditunjukkan oleh Gambar 3.2 berikut.



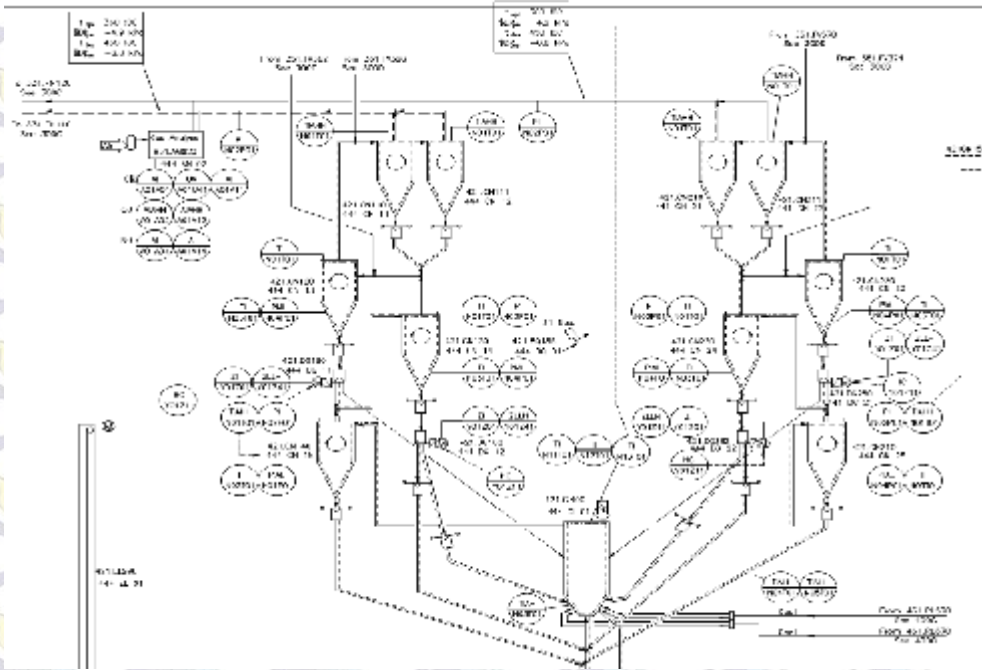
Gambar 3.2 Tampilan DCS untuk sistem operasional unit Kiln (CCR Tuban III)

Sistem pemanas awal ILC - SLC yang digunakan sebagai batasan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Komponen titik pengukuran dapat dilihat melalui *datasheet component control* dan P&ID diagram pada Lampiran D.



Gambar 3.3 Batas sistem pemanas awal ILC SLC (CCR Tuban III)

Komponen yang mengukur tiap variabel proses pada sistem ILC – SLC disebut dengan titik pengukuran. Tiap titik pengukuran merupakan satu *loop* yang terdiri dari transmitter serta *safety control* berupa alarm dan *interlock*. Gambar 3.4 menunjukkan P&ID dari sistem ILC – SLC.



Gambar 3.4 P&ID sistem ILC – SLC (CCR Tuban III)



### 3.3.2 Control Chart

Pengawasan dan pengendalian kegagalan proses merupakan hal yang penting. *Control charts* statistik digunakan secara luas sebagai alat pengawasan dan pengendalian proses dalam industri manufaktur serta dapat juga digunakan dalam pengawasan kegagalan proses (Jacob, 2008). *Control chart* atau grafik evaluasi dapat digunakan sebagai analisis dalam *process safety* diantaranya untuk menentukan deviasi dari proses operasional normal (API 14J, 2002; API 14C, 2002). *Control chart* adalah suatu alat *statistical process control* yang menggambarkan secara grafis karakteristik kualitas suatu variabel sampel terukur terhadap waktu pengambilan sampel (Montgomery, 2009). Pada grafik ini terdapat *center line* (CL) yang merepresentasikan nilai rata-rata (*average*) dari karakteristik kualitas terkait dengan keadaan proses yang terkontrol. Dua garis horizontal lainnya adalah *upper control limit* (UCL) dan *lower control limit* (LCL) sebagai batas suatu proses telah terkontrol atau tidak. Pada penelitian ini, *chart control* yang digunakan adalah  $\bar{x} - \bar{s}$  *chart* karena data proses operasional yang dicatat mempunyai *subgroup* sebesar  $n = 24$ . CL, UCL dan LCL dapat dihitung melalui (Montgomery, 2009) :

$$CL = \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_m}{m} \quad (3.1)$$

$m$  adalah jumlah sampel (jumlah hari pengukuran data).

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \quad (3.2)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \quad (3.3)$$

Untuk *subgroup* sebesar  $n = 24$ , nilai  $A_3$  yang digunakan adalah 0,619 (Montgomery, 2009). Nilai standard deviasi diperoleh dari persamaan berikut.

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.4)$$

Agar didapatkan deviasi yang lebih tepat, digunakan  $\bar{x}$  *chart* dengan 3-sigma *control limit* sehingga terdapat masing-masing tiga buah UCL dan LCL.

Persamaan (3.2) dan (3.3) menjadi :

$$Control\ Limit = \bar{\bar{x}} \pm k(A_3 \bar{s}) \quad (3.5)$$

Nilai  $k = 1, 2, 3$  merupakan *coverage factor* atau faktor cakupan yang berkaitan dengan *level of confidence*. Nilai  $k = 1$  mempunyai *level of confidence* sebesar 68 %,  $k = 2$  sebesar 95 % dan  $k = 3$  sebesar 99% (Montgomery, 2009).

### 3.4 Tahap Perhitungan dan Analisis Risiko

Tahap ini terdiri atas perhitungan *likelihood* dan *consequence* untuk mendapatkan nilai risiko pada tiap *node*.

#### a. Perhitungan *Likelihood*

*Likelihood* merupakan frekuensi kemungkinan suatu risiko dapat terjadi pada suatu komponen pada suatu periode waktu tertentu (Ahmad, 2010).

Nilai *likelihood* diperoleh dari perbandingan antara jumlah hari operasional per tahun terhadap nilai MTTF. Sistem kiln tidak pernah berhenti beroperasi sehingga dalam 1 hari kiln terus beroperasi selama 24 jam. *Likelihood* ditentukan melalui persamaan (2.2) dan (2.3) sedangkan nilai laju kegagalan ( ) dapat ditentukan melalui persamaan (3.6) berikut (Meeker, 1998) :

$$\lambda = \frac{\text{total failures}}{\text{total hours}} \quad (3.6)$$

#### b. Penentuan *Consequences*

*Consequences* ditentukan secara kualitatif berdasarkan seberapa besar kerugian yang ditimbulkan dari bahaya yang telah diidentifikasi (Ahmad, 2010). *Consequences* bisa ditinjau dari segi kerusakan komponen sampai tidak dapat beroperasi kembali, dari segi pengaruhnya pada manusia, atau dari segi biaya yang dikeluarkan akibat adanya bahaya yang telah ditimbulkan tersebut. Selain itu, penentuan *consequences* dapat dilakukan berdasarkan *control chart* yang terbentuk oleh data proses pada masing-masing komponen (Kristianingsih, 2013; Zulfiana, 2013; Musyafa, 2012).

Untuk menentukan kriteria *likelihood* dan *consequence* digunakan tabel nilai kemungkinan dan nilai keparahan sesuai standard perusahaan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Standard Nilai Kemungkinan

Nilai Kemungkinan		
Tingkat	Kriteria	Penjelasan
5	Hampir Pasti	Suatu kejadian akan terjadi pada semua kondisi (90% terjadi). (selalu terjadi sampai 1 kali dalam satu minggu)
4	Mungkin Terjadi	Suatu kejadian akan terjadi pada hampir semua kondisi/cenderung untuk terjadi (60%-90% terjadi). (kurang 1 kali dalam satu minggu sampai 1 kali dalam satu bulan)
3	Sedang	Suatu kejadian akan terjadi pada beberapa kondisi tertentu/mungkin dapat terjadi (40%-60%). (kurang dari 1 kali dalam satu bulan sampai 1 kali dalam tiga bulan)
2	Kecil Kemungkinan	Suatu kejadian akan terjadi pada beberapa kondisi tertentu namun kecil kemungkinan terjadinya. (kurang dari 1 kali dalam tiga bulan sampai 1 kali dalam satu tahun)
1	Jarang Sekali	Suatu kejadian mungkin dapat terjadi pada suatu yang khusus/luar biasa/setelah bertahun-tahun. (kurang dari 1 kali dalam satu tahun)

Sumber : CCR Tuban III

Tabel 3.2 Standard Nilai Keparahan

Nilai Keparahan				
Tingkat	Dampak Keselamatan	Dampak Kesehatan	Dampak Lingkungan	Dampak Keuangan
1	Tidak ada cedera	Tidak mengganggu kesehatan & kenyamanan	Berdampak pada tempat kejadian	< 100 juta
2	Cedera ringan, P3K	Perlu pertolongan P3K, kasus rawat jalan, gangguan kenyamanan	Berdampak pada lingkungan unit kerja	100 juta - 1 milyar
3	Cedera sedang, perawatan medis	Memerlukan perawatan intensif di rumah sakit	Berdampak pencemaran terhadap lingkungan perusahaan	1 milyar - 10 milyar
4	Cacat permanen	Mengancam jiwa, menimbulkan kecacatan/penyakit kronis	Berdampak pencemaran terhadap lingkungan besar pada kawasan perusahaan dan masyarakat sekitar pabrik	10 milyar - 25 milyar
5	Menyebabkan kematian	Kematian	Berdampak pencemaran terhadap lingkungan besar pada kawasan perusahaan dan masyarakat luas	> 25 milyar

Sumber : CCR Tuban III

Analisis terhadap risiko dilakukan dengan cara mengalikan nilai kriteria *likelihood* dan *consequences* yang telah didapat dengan menggunakan *risk matrix* pada Gambar 3.5 sehingga nilai risiko pada titik pengukuran variabel proses yang digunakan dalam penelitian ini dapat diketahui.

NII AI/SCORF					
Peluang \ Akibat	1	2	3	4	5
5	M <sup>5</sup>	H <sup>10</sup>	H <sup>15</sup>	E <sup>20</sup>	E <sup>25</sup>
4	L <sup>4</sup>	M <sup>8</sup>	H <sup>12</sup>	H <sup>16</sup>	E <sup>20</sup>
3	L <sup>3</sup>	M <sup>6</sup>	M <sup>9</sup>	H <sup>12</sup>	H <sup>15</sup>
2	L <sup>2</sup>	L <sup>4</sup>	M <sup>6</sup>	M <sup>8</sup>	H <sup>10</sup>
1	L <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	L <sup>4</sup>	M <sup>5</sup>

\*) Peluang : Nilai Kemungkinan ; Akibat : Nilai Keparahan.

Gambar 3.5 Risk Matrix PTSI (CCR Tuban III)

Nilai *losses* yang diakibatkan oleh terjadinya risiko dapat dihitung melalui perkalian antara probabilitas kegagalan (P) dengan *consequence* yang dinyatakan dalam Rupiah (I) pada persamaan (3.7) berikut (Dumbrava, 2013).

$$Losses (R) = P \times I \quad (3.7)$$

Probabilitas kegagalan (P) didapatkan dari nilai MTTFs yaitu nilai MTTF dari setiap titik pengukuran pada tiap *node*. Karena titik pengukuran pada tiap *node* dipasang secara seri maka konfigurasi dari nilai MTTFs dapat dihitung melalui persamaan (3.8) berikut (Ebellling, 1997).

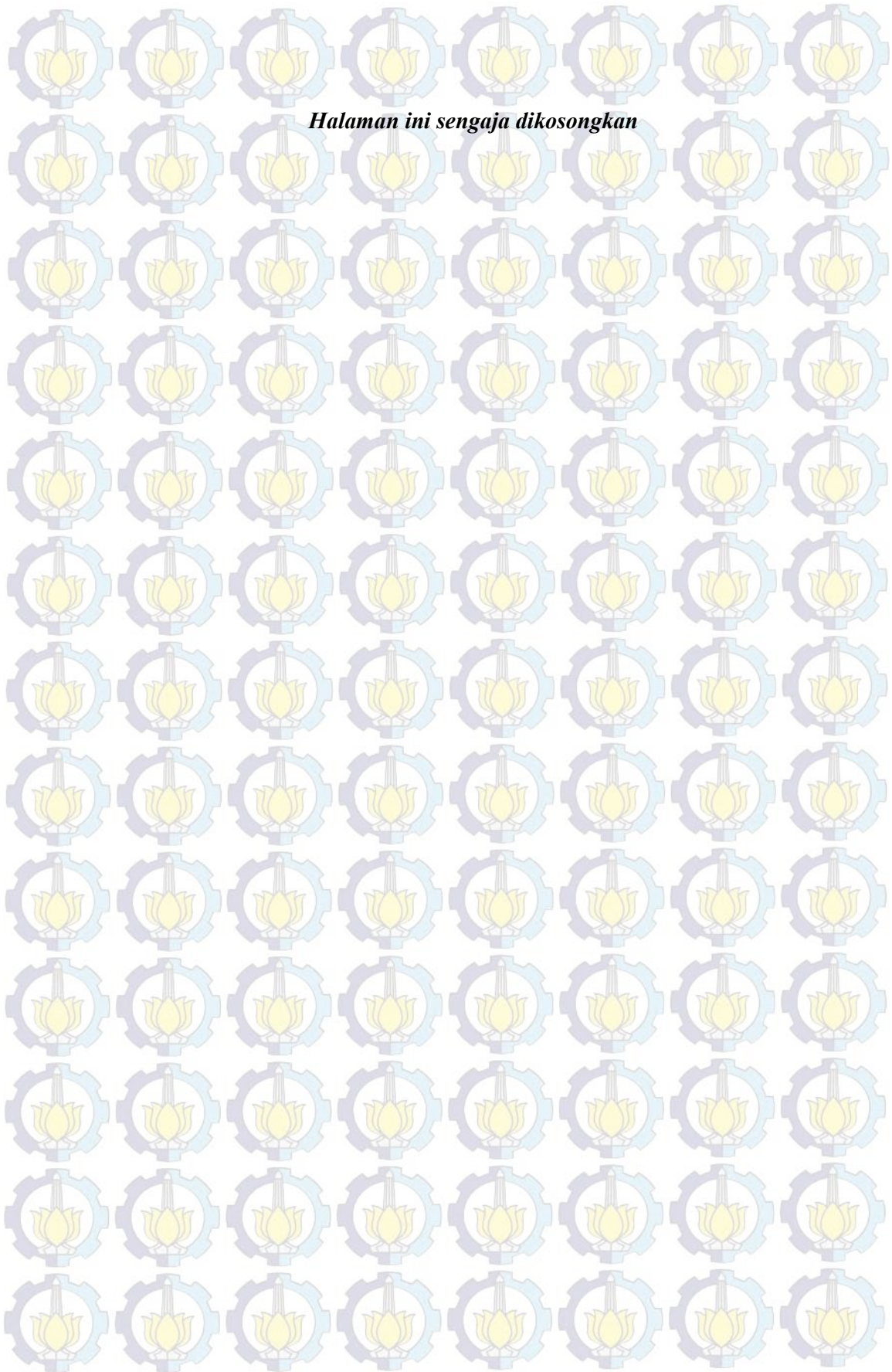
$$MTTFs = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.8)$$

$\lambda_i$  merupakan nilai laju kegagalan dari tiap titik pengukuran pada *node*.



### 3.5 Tahap Analisis *Safety System*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai SIL sebagai penilaian kuantitatif terhadap *safety system* dari sistem pemanas awal ILC – SLC pada Unit Kiln PTSI pabrik Tuban III. Nilai SIL merepresentasikan besarnya probabilitas kegagalan dari komponen *safety system*. Titik pengukuran pada masing-masing *node* sistem pemanas awal ILC – SLC merupakan satu *loop* yang tersusun dari transmitter serta sistem proteksi berupa alarm dan *interlock* (FLSmidth, 2014;CCR Tuban III, 2015). Nilai PFDavg masing-masing titik pengukuran dihitung melalui persamaan (2.5) sedangkan nilai PFD untuk tiap *node* didapat melalui persamaan (2.4).



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko dengan Metode HAZOP

Identifikasi bahaya pada sistem pemanas awal ILC – SLC dilakukan menggunakan metode HAZOP. Metode HAZOP dipilih karena mempunyai parameter untuk sistem yang bervariasi (Agrawal, dkk, 2013), menggunakan pendekatan yang sistematis terhadap munculnya masalah (Krzemien, dkk, 2013), menghasilkan suatu rekam data proses identifikasi bahaya yang detil dan bersifat *auditable* (Silvianita, dkk, 2014), serta merupakan metode identifikasi bahaya yang telah teruji digunakan selama lebih dari 40 tahun (Kotek, 2012).

Langkah awal dalam proses identifikasi bahaya pada sistem pemanas awal ILC – SLC Tuban III PTSI adalah penentuan *node* atau titik studi. Dalam penelitian ini, ditentukan *node 1* adalah ILC dan *node 2* adalah SLC. Berdasarkan variabel proses yang diukur pada CCR dan batas sistem pemanas awal ILC – SLC maka dapat diketahui komponen yang menjadi titik pengukuran pada tiap *node* dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1 Komponen titik pengukuran pada *node 1*

Titik Pengukuran	Deskripsi
443AN1AT409	ILC Preheater Exit O <sub>2</sub> Gas Analyser
443AN1AT410	ILC Preheater Exit CO Gas Analyser
443PH1PT473	ILC Preheater Exit Gas Temperature
443PH1PT433	ILC Calciner Stage IV Material Temperature
443FN1PT401	ILC Preheater Exit Pressure

Tabel 4.2 Komponen titik pengukuran pada *node 2*

Titik Pengukuran	Deskripsi
443AN2AT449	SLC Preheater Exit O <sub>2</sub> Gas Analyser
443AN2AT450	SLC Preheater Exit CO Gas Analyser
443PH1PT472A	SLC Preheater Exit Gas Temperature
443PH1PT432A	SLC Calciner Stage IV Material Temperature
443FN2PT441	SLC Preheater Exit Pressure

Selanjutnya data proses pada masing-masing komponen titik pengukuran digambarkan dalam bentuk *control chart* dengan tujuan untuk mengetahui deviasi proses dari tiap titik pengukuran seperti pada Lampiran B. Data proses tiap parameter pada *node 1* dan *node 2* yang digunakan untuk menentukan nilai *consequences* dicuplik dari data proses pada bulan Januari, Juni, Juli dan Agustus 2015 dengan mengeliminasi adanya kegagalan akibat sistem kiln yang berhenti beroperasi sehingga didapat data pada operasi normal sebanyak 100 buah data.



Gambar 4.1 *Control Chart Pressure Exit* sistem ILC

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa komponen titik pengukuran *Pressure Exit* pada ILC cenderung menunjukkan nilai yang tidak stabil dan di luar garis batas kontrol sehingga *guide word* yang dipakai adalah *high* dengan deviasi *high pressure* serta *low* dengan deviasi *low pressure*. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut menunjukkan *guide word* dan deviasi pada tiap *node*.

Tabel 4.3 *Guide word* Titik Pengukuran pada *node 1*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Guideword	Deviasi
443AN1AT409	ILC Preheater Exit O <sub>2</sub>	More	More Flow
		Less	Less Flow
443AN1AT410	ILC Preheater Exit CO	More	More Flow
443PH1PT426	ILC Preheater Exit Gas T	High	High Temperature
443PH1PT433	ILC Calciner Stage IV Material T	High	High Temperature
443PH1PDT400	ILC Preheater Exit Pressure	High	High Pressure
		Low	Low Pressure



Tabel 4.4 *Guide word* Titik Pengukuran pada *node 2*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Guideword	Deviasi
443AN1AT449	SLC Preheater Exit O <sub>2</sub>	More	More Flow
		Less	Less Flow
443AN1AT450	SLC Preheater Exit CO	More	More Flow
443PH1PT466	SLC Preheater Exit Gas T	High	High Temperature
443PH1PT473	SLC Calciner Stage IV Material T	High	High Temperature
		Low	Low Temperature
443PH1PDT440	SLC Preheater Exit Pressure	High	High Pressure
		Low	Low Pressure

#### 4.1.2 Penentuan *Consequence*

*Consequence* merupakan akibat dari suatu kejadian yang biasanya dinyatakan sebagai kerugian dari suatu risiko. *Consequence* bisa ditinjau dari segi kerusakan komponen sampai tidak dapat beroperasi kembali, dari segi pengaruhnya pada manusia, atau dari segi biaya yang dikeluarkan akibat adanya bahaya yang ditimbulkan (Ahmad, 2010; Kotek, 2012). *Consequence* dapat ditentukan melalui *control chart* yang telah terbentuk dari data proses pada masing-masing komponen. Misalnya pada Gambar 4.1 data proses melewati batas garis kontrol UCL maupun LCL, maka nilai konsekuensinya berdasarkan *control chart* dan standard nilai keparahan pada perusahaan pada Tabel 3.1 adalah 4 (Kristianingsih, 2013). Untuk *node 1* dan *node 2* nilai *consequence* dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.5 Nilai *consequence* pada *node 1*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Consequences
443AN1AT409	ILC Preheater Exit O <sub>2</sub>	3
443AN1AT410	ILC Preheater Exit CO	4
443PH1PT473	ILC Preheater Exit Gas T	3
443PH1PT433	ILC Calciner Stage IV Material T	3
443FN1PT401	ILC Preheater Exit Pressure	4

Tabel 4.6 Nilai *consequence* pada *node 2*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Consequences
443AN2AT449	SLC Preheater Exit O <sub>2</sub>	3
443AN2AT450	SLC Preheater Exit CO	4
443PH1PT472A	SLC Preheater Exit Gas T	3
443PH1PT432A	SLC Calciner Stage IV Material T	3
443FN2PT441	SLC Preheater Exit Pressure	4

#### 4.1.3 Perhitungan *Likelihood*

Nilai *likelihood* diperoleh dari perbandingan antara jumlah hari operasional terhadap nilai MTTF. Sistem kiln tidak pernah berhenti beroperasi sehingga dalam 1 hari kiln terus beroperasi selama 24 jam. Periode waktu yang dipakai adalah 6 bulan yaitu data kegagalan pada bulan Januari, Juni, Juli, Agustus, September dan Oktober seperti pada Lampiran C, sehingga *likelihood* dapat ditentukan melalui (Meeker, 1998) :

$$\text{Likelihood} = \frac{(180 \text{ days} \times 24 \text{ hours})}{\text{MTTF}} = \frac{4320 \text{ hours}}{\text{MTTF}} \quad (2.2)$$

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

$$\lambda = \frac{\text{total failures}}{\text{total hours}} \quad (3.6)$$

Untuk *node 1* dan *node 2* nilai *likelihood* dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Nilai *likelihood* pada *node 1*,

Titik Pengukuran	Deskripsi	Jumlah Kegagalan	Waktu kegagalan (jam)	MTTF	Likelihood
443AN1AT409	ILC Preheater Exit O <sub>2</sub>	8	400	50	86,4
443AN1AT410	ILC Preheater Exit CO	8	400	50	86,4
443PH1PT473	ILC Preheater Exit Gas T	16	973	60,812	71,038
443PH1PT433	ILC Calciner Stage IV Material T	11	1018,1	92,554	46,6752
443FN1PT401	ILC Preheater Exit Pressure	12	1176,8	98,066	44,0517

Tabel 4.8 Nilai *likelihood* pada *node 2*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Jumlah Kegagalan	Waktu kegagalan (jam)	MTTF	Likelihood
443AN2AT449	SLC Preheater Exit O <sub>2</sub>	8	407	50,875	84,914
443AN2AT450	SLC Preheater Exit CO	8	407	50,875	84,914
443PH1PT472A	SLC Preheater Exit Gas T	9	1039,4	115,48	37,4062
443PH1PT432A	SLC Calciner Stage IV Material T	9	1021,6	113,51	38,05795
443FN2PT441	SLC Preheater Exit Pressure	12	1195,4	99,616	43,36624

Berdasarkan standard nilai kemungkinan dan keparahan dari perusahaan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 maka kriteria *likelihood* dan nilai *consequence* dari masing-masing *node* ditunjukkan oleh Tabel 4.9 dan 4.10 berikut.

Tabel 4.9 Kriteria *likelihood* dan *consequence* pada *node 1*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Consequences	Likelihood
443AN1AT409	ILC Preheater Exit O <sub>2</sub>	3	3
443AN1AT410	ILC Preheater Exit CO	4	3
443PH1PT473	ILC Preheater Exit Gas T	3	5
443PH1PT433	ILC Calciner Stage IV Material T	3	5
443FN1PT401	ILC Preheater Exit Pressure	4	5

Tabel 4.10 Kriteria *likelihood* dan *consequence* pada *node 1*

Titik Pengukuran	Deskripsi	Consequences	Likelihood
443AN2AT449	SLC Preheater Exit O <sub>2</sub>	3	3
443AN2AT450	SLC Preheater Exit CO	4	3
443PH1PT472A	SLC Preheater Exit Gas T	3	5
443PH1PT432A	SLC Calciner Stage IV Material T	3	5
443FN2PT441	SLC Preheater Exit Pressure	4	5

#### 4.1.4 Perhitungan Risiko

Nilai risiko didapatkan dengan mengalikan nilai *consequence* dan *likelihood*. Tabel *risk matrix* yang digunakan sebagai acuan seperti pada gambar

3.4. Untuk masing-masing titik pengukuran pada *node* 1 dan *node* 2 nilai risiko ditunjukkan oleh Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.11 *Risk Matrix* titik pengukuran pada *node* 1

a. 443AN1AT409(ILC Preheater Exit O<sub>2</sub>)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

b. 443AN1AT410(ILC Preheater ExitCO)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

c. 443PH1PT473 (ILC Preheater Exit Gas T)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

d. 443PH1PT433 (ILC Calciner Stage IV Material T)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

e. 443FN1PT401 (ILC Preheater ExitPressure)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

Tabel 4.12 Risk Matrix titik pengukuran pada node 2

a. 443AN2AT449 (SLC Preheater Exit O<sub>2</sub>)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

b. 443AN2AT450 (SLC Preheater Exit CO)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

c. 443PH1PT472A (SLC Preheater Exit Gas T)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

d. 443PH1PT32A (SLC Calciner Stage IV Material T)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

e. 443FN2PT441 (SLC Preheater Exit Pressure)

LIKELIHOOD	CONSEQUENCE				
	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Almost Certain (5)	Medium	High	High	Extreme	Extreme
Likely (4)	Low	Medium	High	High	Extreme
Possible (3)	Low	Medium	Medium	High	High
Unlikely (2)	Low	Low	Medium	Medium	High
Rare (1)	Low	Low	Low	Low	Medium

Dari Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 di atas dapat diketahui bahwa nilai risiko pada titik pengukuran tiap node mempunyai nilai risiko yang sama yaitu satu nilai

risiko *Medium*, tiga nilai risiko *High*, dan satu nilai risiko *Extreme*. Nilai risiko yang didapatkan dari perhitungan *likelihood* dan *consequences* selanjutnya dapat ditabelkan pada lembar kerja HAZOP seperti pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Lembar Kerja HAZOP

HAZOP Worksheet Facility Unit : *node 1 ILC dan node 2 SLC*

Component	Deviation	Possible Causes	Consequences	Risk Matrix			Safe-Guards	Recommendations
				S	L	R		
443AN 1AT40 9(ILC Preheat er Exit O <sub>2</sub> )	<i>More Flow</i>	Kebocoran pada siklon atau pipa pemanas awal	Peningkatan konsumsi bahan bakar dan penyerapan panas dalam sistem	3	3	M	<i>Gas detector, automatic stop system, ILC O<sub>2</sub> analyser unit alarm</i>	Perawatan dan pemeliharaan peralatan, pengaturan komposisi bahan bakar antara batu bara dan IDO
	<i>Less Flow</i>	ILC coal feed tidak stabil, proses pembakaran tidak sempurna	Peningkatan kadar CO					
443AN 1AT41 0 (ILC Preheat er Exit CO)	<i>More Flow</i>	ILC coal feed tidak stabil, proses pembakaran tidak sempurna	Temperatur pembakaran ideal tidak dapat tercapai sehingga mempengaruhi kualitas klinker	4	3	H	<i>Gas detector, automatic stop system, ILC CO analyser unit alarm</i>	Pengaturan komposisi bahan bakar atau mengganti bahan bakar dengan kandungan karbon rendah
443PH 1PT42 6 (ILC Preheat er Exit Gas T)	<i>High Temp eratur e</i>	Kerja ID Fan tidak efektif, ILC coal feed berlebih	<i>Overtemperature gas</i> mempengaruhi masa pakai / <i>lifetime</i> peralatan	3	5	H	Safety, Protection & Operational Interlock	Pemeliharaan rutin 3 kali dalam sebulan seluruh TT dan PT pada ILC
			<i>Overtemperature gas</i> bereaksi dengan material umpan menyebabkan <i>coating</i> yang tidak rata					

Tabel 4.13 Lembar Kerja HAZOP (Lanjutan)

443PH1 PT433 (ILC Calciner Stage IV Material T)	<i>High Temp eratur e</i>	<p>Kerja ID Fan tidak efektif, ILC coal feed berlebih, <i>coating</i> pada siklon</p>	<p><i>Overtemperatu re</i> material berpotensi membentuk <i>clogging</i> pada kalsiner dan inlet kiln dan mempengaruhi kualitas klinker</p>	3	5	H	Safety, Protecti on, and Operati onal Interloc k	Pemeliha raan rutin 3 kali dalam sebulan seluruh TT dan PT pada ILC
		<p><i>Bottom calciner</i> atau inlet kiln tersumbat menyebabkan kiln berhenti beroperasi</p>						
443PH1 PDT400 (ILC Preheate r Exit Pressure )	<i>High Press ure</i>	Siklon tersumbat	Sistem pemanas awal dan kalsiner berhenti beroperasi akibat adanya siklon yang tersumbat	4	5	E	Safety, Protecti on, and Operati onal Interloc k	Pemeliha raan rutin minimal 3 kali dalam sebulan seluruh TT dan PT pada ILC, menjaga laju ILC <i>coal feed</i>
	<i>Low Press ure</i>	Terdapat lubang pada siklon	Pemisahan material dan gas tidak sempurna mempengaruhi kualitas klinker					
443AN1 AT449 (SLC Preheate r Exit O <sub>2</sub> )	<i>More Flow</i>	Kebocoran pada siklon atau pipa pemanas awal	Peningkatan konsumsi bahan bakar dan penyerapan panas dalam sistem	3	3	M	<i>Gas detector , automat ic stop system, SLC O2 analyse r unit alarm</i>	Perawata n dan pemeliha raan peralatan, pengatura n komposis i bahan bakar antara batu bara dan IDO
	<i>Less Flow</i>	ILC coal feed tidak stabil, proses pembakara n tidak sempurna	Peningkatan kadar CO					

Tabel 4.13 Lembar Kerja HAZOP (Lanjutan)

443AN1 AT450 (SLC Preheater Exit CO)	<i>More Flow</i>	ILC coal feed tidak stabil, proses pembakaran tidak sempurna	Temperatur pembakaran ideal tidak dapat tercapai sehingga mempengaruh i kualitas klinker	4	3	H	<i>Gas detector , automatic stop system, SLC CO analyser unit alarm</i>	Pengatura n komposis i bahan bakar atau menggant i bahan bakar dengan kandunga n karbon rendah
443PH1 PT466 (SLC Preheater Exit Gas T)	<i>High Temp eratur e</i>	Kerja ID Fan tidak efektif, ILC coal feed berlebih	<i>Overtemperat ure gas mempengaruh i masa pakai / lifetime peralatan</i> <i>Overtemperat ure gas bereaksi dengan material umpun menyebabkan coating yang tidak rata</i>	3	5	H	Safety, Protecti on, and Operati onal Interloc k	Pemeliha raan rutin 3 kali dalam sebulan seluruh TT dan PT pada SLC
443PH1 PT473 (SLC Calciner Stage IV Material T)	<i>High Temp eratur e</i>  <i>Low Temp eratur e</i>	Kerja ID Fan tidak efektif, ILC coal feed berlebih, <i>coating</i> pada siklon	<i>Overtemperat ure material berpotensi membentuk clogging pada kalsiner dan inlet kiln dan mempengaruh i kualitas klinker</i> <i>Bottom calciner atau inlet kiln tersumbat menyebabkan kiln berhenti beroperasi</i>	3	5	H	Safety, Protecti on, and Operati onal Interloc k	Pemeliha raan rutin 3 kali dalam sebulan seluruh TT dan PT pada SLC



Tabel 4.13 Lembar Kerja HAZOP (Lanjutan)

443PH 1PDT4 40 (SLC Preheat er Exit Pressur e)	<i>High Press ure</i>	Siklon tersumbat	Sistem pemanas awal dan kalsiner berhenti beroperasi akibat adanya siklon yang tersumbat	4	5	E	Safety, Protectio n, and Operatio nal Interlock	Pemelihar aan rutin minimal 3 kali dalam sebulan seluruh TT dan PT pada ILC, menjaga laju ILC <i>coal feed</i>
	<i>Low Press ure</i>	Terdapat lubang pada siklon	Pemisahan material dan gas tidak sempurna mempengaruhi kualitas klinker					

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisis Risiko

Berdasarkan hasil analisis pada lembar kerja HAZOP, didapatkan nilai risiko tiap titik pengukuran pada *node* 1 tidak jauh berbeda dengan *node* 2 yaitu titik pengukuran %O<sub>2</sub> bernilai *Medium* (Sedang), titik pengukuran %CO ; Temperatur *Gas Exit*; Temperatur *Material Exit* masing-masing bernilai *High* (Tinggi), dan titik pengukuran *Pressure Difference* bernilai *Extreme*. Sistem ILC – SLC merupakan sistem *feeder* bagi proses pada *rotary kiln*. Titik pengukuran *Pressure Difference* yang bernilai risiko *Extreme* dapat mengakibatkan risiko yang paling potensial pada sistem *feeder* ini. Dari hasil analisis lembar kerja HAZOP, akibat dari terjadinya deviasi terhadap proses operasional sistem ILC – SLC yaitu :

- a. Terjadi kebocoran yang menyebabkan *false air* atau udara luar yang masuk pada peralatan proses sistem ILC – SLC yang beroperasi pada keadaan vakum. *False air* ditandai dengan tingginya persentase kadar oksigen yang dideteksi oleh titik pengukuran %O<sub>2</sub> Preheater Exit. Kadar O<sub>2</sub> perlu dikontrol karena merupakan parameter yang sangat penting dalam penentuan kebutuhan bahan bakar dan udara pembakaran agar dapat dicapai reaksi pembakaran yang sempurna. Jika persediaan udara

berkurang akan mengakibatkan pembakaran tidak sempurna sehingga kadar CO akan meningkat dan panas yang dihasilkan akan berkurang. Namun jika persediaan udara berlebih akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena udara akan mendinginkan panas yang dibutuhkan di dalam sistem sehingga proses pemanasan dan pembakaran material menjadi tidak sempurna yang akan berpengaruh pada kualitas produk. Pada unit Kiln PTSI Tuban Plant III persentase O<sub>2</sub> pada Preheater Exit dijaga agar tidak lebih dari 3%.

b. Terjadi kenaikan kadar CO pada titik pengukuran %CO Preheater Exit mengindikasikan kualitas pembakaran yang tidak sempurna. Kadar CO yang tinggi akan menyerap panas di dalam sistem sehingga proses kalsinasi material dengan temperatur ideal tidak dapat tercapai. Hal ini berdampak pada pembentukan *clogging* karena temperatur material yang terlalu dingin sehingga dapat menyumbat siklon dan mengakibatkan terhentinya proses produksi klinker. Pada unit Kiln PTSI Tuban Plant III persentase CO pada Preheater Exit dijaga serendah mungkin tidak lebih dari 1%.

c. Aliran gas panas dengan temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan sehingga memperpendek masa pakai. Salah satu kerusakan yang sering terjadi yaitu korosi pada ujung *temperature* dan *pressure transmitters* akibat kontak dengan suhu yang panas terus-menerus. Temperatur gas yang tidak stabil juga mempengaruhi siklus alkali-klorin-sulfur pada sistem yang dapat membentuk *coating* yang menyebabkan distribusi panas yang tidak merata dan penyumbatan pada siklon. Hal ini dapat menyebabkan terhentinya proses produksi klinker. Pada unit Kiln PTSI Tuban Plant III temperatur gas pada titik pengukuran Gas Temperature Preheater Exit dijaga agar tidak lebih dari 450°C.

d. Temperatur material keluar dari kalsiner yang terlalu tinggi akan menyebabkan material tersebut menjadi lengket dan menempel pada *bottom calciner*. Hal ini berpotensi menyebabkan *clogging* atau penyumbatan pada saluran tersebut yang berakibat pada terhentinya proses

produksi klinker. Namun jika temperatur material terlalu dingin akibat proses pemanasan dan pembakaran yang tidak sempurna akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Pada unit Kiln PTSI Tuban Plant III temperatur material pada titik pengukuran Material Temperature ILC/SLC Stage IV dijaga agar tetap dalam nilai 830-870°C untuk ILC dan 840-890°C untuk SLC.

- e. Terjadinya perubahan nilai *pressure difference/drop* yang signifikan mengindikasikan adanya keabnormalan pada proses operasional produksi yaitu penyumbatan pada siklon pemanas awal maupun kalsiner yang menyebabkan terhentinya proses produksi klinker. Penyumbatan ini dapat diakibatkan suhu material yang terlalu panas atau terlalu dingin. Nilai *pressure difference/drop* yang terlalu rendah menyebabkan proses pemisahan material dengan gas pembawanya tidak berjalan sempurna sehingga dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Pada unit Kiln PTSI Tuban Plant III nilai *pressure difference/drop* pada titik pengukuran Preheater Exit Pressure disesuaikan dengan nilai ILC/SLC coal feed. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *pressure difference/drop* pada *outlet preheater* sangat bergantung pada kondisi proses pembakaran yang stabil.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa adanya kegagalan pada komponen titik pengukuran pada masing-masing *node* berpotensi menyebabkan risiko utama berupa terhentinya proses operasional pada unit Kiln dan ketidaksesuaian kualitas produk berupa klinker yang dihasilkan. Ketidaksesuaian kualitas ini dapat disebabkan karena suhu material terlalu panas atau terlalu dingin akibat dari proses pemanasan awal dan pembakaran yang tidak sempurna.

Terhentinya proses operasional pada unit Kiln mengakibatkan kerugian pada perusahaan (*losses*). Nilai *losses* yang diakibatkan oleh terjadinya risiko dapat dihitung melalui perkalian antara probabilitas kegagalan (P) dengan *consequence* yang dinyatakan dalam Rupiah (I) pada persamaan 3.7 berikut (Dumbrava, 2013).

$$\text{Losses (R)} = P \times I \quad (3.7)$$

Probabilitas kegagalan dihitung dari nilai laju kegagalan tiap titik pengukuran pada masing-masing *node* dengan cara menambahkan keseluruhan nilai laju kegagalan karena konfigurasi titik pengukuran pada *node* dipasang secara seri (Ebell, 1997). Dengan mengacu bahwa sekitar 60% proses kalsinasi dilakukan di luar *rotary kiln*, yaitu pada sistem ILC – SLC (Vlachos, dkk, 2006; Nielsen, 2012) maka dapat dikatakan sistem ILC – SLC mempunyai andil sebesar 60% dari proses produksi klinker.

a. Perhitungan nilai *Losses* pada *node* 1 ILC

Dengan menambahkan keseluruhan nilai laju kegagalan dari tiap titik pengukuran didapatkan nilai  $\lambda_s$  sebesar 0,23119897. Probabilitas kegagalan (P) didapat melalui perkalian antara  $\lambda_s$  dengan lama observasi yaitu 180 hari.

$$P = \lambda_s \times 180 \text{ hari} = 41.6158 \text{ hari} \sim 42 \text{ hari}$$

Nilai I ditentukan dari kapasitas produksi unit Kiln pada Tuban plant III per tahun yaitu sebesar 2,9 juta ton dikalikan dengan kontribusi sistem ILC dalam proses produksi klinker yaitu sebesar 60% dikalikan harga semen produksi PTSI per ton yaitu sebesar Rp. 978.149,00. (Wijaya, 2015).

$$I = (2.900.000 \text{ ton}/365 \text{ hari}) \times 60\% \times \text{Rp. } 978.149,00 = \text{Rp. } 4.662.836.283$$

$$\begin{aligned} \text{Losses (R)} &= P \times I = 42 \text{ hari} \times \text{Rp. } 4.662.836.283 \\ &= \text{Rp. } 195.839.124.000 \end{aligned}$$

Sehingga dalam waktu 42 hari unit Kiln berhenti beroperasi akibat adanya kegagalan pada *node* 1 maka perusahaan akan mengalami kerugian sebesar Rp. 195.839.124.000 atau setara dengan US\$ 13,9 juta.

b. Perhitungan nilai *Losses* pada *node* 2 SLC

Dengan menambahkan keseluruhan nilai laju kegagalan dari tiap titik pengukuran didapatkan nilai  $\lambda_s$  sebesar 0,122699. Probabilitas kegagalan (P) didapat melalui perkalian antara  $\lambda_s$  dengan interval data kegagalan yaitu 180 hari.

$$P = \lambda_s \times 180 \text{ hari} = 22.0858 \sim 22 \text{ hari}$$

Nilai I ditentukan dari kapasitas produksi unit Kiln pada Tuban plant III per tahun yaitu sebesar 2,9 juta ton dikalikan dengan kontribusi sistem

ILC dalam proses produksi klinker yaitu sebesar 60% dikalikan harga semen produksi PTSI per ton yaitu sebesar Rp. 978.149,00. (Wijaya, 2015).

$$I = (2.900.000 \text{ ton}/365 \text{ hari}) \times 60\% \times \text{Rp. } 978.149,00 = \text{Rp. } 4.662.836.283$$

$$\begin{aligned} \text{Losses (R)} &= P \times I = 22 \text{ hari} \times \text{Rp. } 4.662.836.283 \\ &= \text{Rp. } 102.582.398.200 \end{aligned}$$

Sehingga dalam waktu 22 hari unit Kiln berhenti beroperasi akibat adanya kegagalan pada *node* 2 maka perusahaan akan mengalami kerugian sebesar Rp. 102.582.398.200 atau setara dengan US\$ 7,3 juta.

Berdasarkan standard kerugian perusahaan yang tercantum pada Tabel 3.2, hasil perhitungan nilai kerugian yang disebabkan oleh kegagalan pada sistem ILC – SLC berada pada tingkat 5 atau *catastrophic*. Tingkat kerugian yang disebabkan kegagalan pada sistem ini sangat tinggi sehingga perlu dilakukan peningkatan nilai *Safety Integrity Level* (SIL). Untuk meningkatkan nilai SIL perlu dilakukan perhitungan nilai SIL sebagai penilaian performansi peralatan sistem proteksi khususnya pada komponen titik pengukuran variabel proses pada masing-masing *node* agar dapat menentukan langkah mitigasi untuk menurunkan nilai risiko tersebut.

#### 4.2.1 Analisis *Safety System*

Pada Unit Kiln PTSI pabrik Tuban III, peralatan yang digunakan dalam proses produksi klinker telah terintegrasi dengan sistem *interlocks* sebagai peralatan *safety system* (FLSmith, 2014). *Interlock* adalah peralatan pengaman keselamatan proses (*safety process safeguards*) yang diimplementasikan pada desain instrumentasi dan kontrol dengan tujuan mencapai atau mempertahankan kondisi aman pada sebuah proses dan dibutuhkan untuk menurunkan level risiko terhadap kondisi berbahaya tertentu (Summers, 2013). Sistem *interlocks* yang terdapat pada Unit Kiln PTSI yaitu (CCR Tuban III) :

- a. *Start-up Interlock*
- b. *Protection Interlock*
- c. *Safety Interlock*
- d. *Machines Interlock*

e. *Operational Interlock*

Peralatan pada Unit Kiln Tuban III hanya menggunakan *Protection Interlock* (kontrol pengaman pada tiap unit peralatan), *Safety Interlock* (kontrol pengaman antar unit peralatan) dan *Operational Interlock* (kontrol pengaman pada proses operasional). Perhitungan nilai SIL diperlukan untuk menilai performansi *safety system* pada sistem ILC – SLC. Langkah awal dalam menentukan tingkat SIL adalah dengan menghitung nilai PFD pada titik pengukuran tiap *node*. Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 berikut menunjukkan nilai PFD dan RRF yang dihitung menggunakan persamaan (2.4-6).

Tabel 4.14 PFD dan RRF pada *node* 1

Titik Pengukuran	Deskripsi	Laju Kegagalan	PFDavg	RRF
443AN1AT409	ILC Preheater Exit O <sub>2</sub>	0,02	0,167	6
443AN1AT410	ILC Preheater Exit CO	0,02	0,167	6
443PH1PT473	ILC Preheater Exit Gas T	0,0934	0,229	4,36
443PH1PT433	ILC Calciner Stage IV Material T	0,0876	0,167	6
443FN1PT401	ILC Preheater Exit Pressure	0,0102	0,25	4
PFD total			0,979	1,021
SIL Node 1 ILC			SIL 0	

Nilai PFD pada *node* 1 adalah 0,979 dengan nilai *risk reduction factor* sebesar 1.021 dan sesuai dengan standard penentuan pada Tabel 2.6 nilai SIL pada *node* 1 adalah SIL 0.

Tabel 4.15 PFD dan RRF pada *node* 2

Titik Pengukuran	Deskripsi	Laju Kegagalan	PFDavg	RRF
443AN1AT449	SLC Preheater Exit O <sub>2</sub>	0,0196	0,167	6
443AN1AT450	SLC Preheater Exit CO	0,0196	0,167	6
443PH1PT472	SLC Preheater Exit Gas T	0,039	0,167	6
443PH1PT432A	SLC Calciner Stage IV Material T	0,034	0,1875	5,34
443FN2PT441	SLC Preheater Exit Pressure	0,010	0,25	4
PFD total			0,9375	1,067
SIL Node 2 SLC			SIL 0	

Nilai PFD pada *node 2* adalah 0,9375 dengan nilai *risk reduction factor* sebesar 1,067 dan sesuai dengan standard penentuan pada Tabel 2.6 nilai SIL pada *node 2* adalah SIL 0. Semakin tinggi level SIL maka dampak kerusakan akibat kegagalan akan semakin besar sebanding dengan nilai *risk reduction factor*.

Kemampuan dari *safety system*, dalam hal ini sistem *interlock* untuk mencapai fungsi yang diinginkan guna menurunkan nilai risiko yang timbul bergantung pada performansi dari peralatan yang terpasang (Summers, 2013). Tiap titik pengukuran variabel proses pada *node 1* dan *2* merupakan satu *loop* yang telah terpasang dengan *safety controls*, alarm dan *interlocks* (atau disebut dengan SCAI). Pada Unit Kiln Tuban III SCAI diimplementasikan dalam peralatan *basic process control system* (BPCS) sebagai peralatan *safety system*. SCAI dapat diperhitungkan sebagai *independent protection layer* (IPL) jika mempunyai PFD sebesar 0,1/tahun dengan level SIL adalah SIL 1 (Summers, 2013).

Pada penelitian ini didapatkan kriteria risiko dengan dampak kerugian pada perusahaan yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan pada masing-masing *node* adalah *catastrophic* sedangkan nilai SIL yang didapatkan yaitu SIL 0. Hal ini berarti bahwa diperlukan langkah-langkah untuk meningkatkan nilai SIL guna menurunkan nilai risiko pada peralatan sistem ILC – SLC. Beberapa langkah yang dapat dilakukan dalam peningkatan nilai SIL dan menurunkan nilai risiko yang muncul antara lain (Berg, 2010;Pumfrey, 1999;Agrawal, dkk, 2014;Ebell, 1997) :


- a. Mengubah desain peralatan pada proses yang tidak bekerja secara maksimal sehingga dapat meningkatkan performansi peralatan. Salah satu langkah peningkatan nilai SIL sesuai standar IEC 61508 yaitu memasang komponen peralatan khususnya pada instrumen titik pengukuran variabel proses sistem pemanas awal ILC – SLC secara paralel agar lebih *redundant*.
- b. Meningkatkan frekuensi jadwal pemeliharaan atau *preventive maintenance* dan kalibrasi komponen pada sistem ILC – SLC khususnya transmitter suhu dan tekanan yang seringkali mengalami kerusakan pada elemen termal karena kontak dengan suhu gas dan

material yang tinggi terus-menerus. Kerusakan pada transmitter ini dapat menyebabkan kesalahan pembacaan suhu maupun tekanan sehingga mempengaruhi tindakan operator dalam menentukan laju bahan bakar sistem pemanas awal ILC – SLC yang memicu timbulnya bahaya akibat laju pembakaran yang tidak stabil. *Preventive maintenance* dijadwalkan untuk dilakukan selama tiga kali dalam seminggu namun tidak demikian pada praktek di lapangan disebabkan jumlah personil yang dibutuhkan tidak seimbang dengan tinggalkan pekerjaan yang ada.

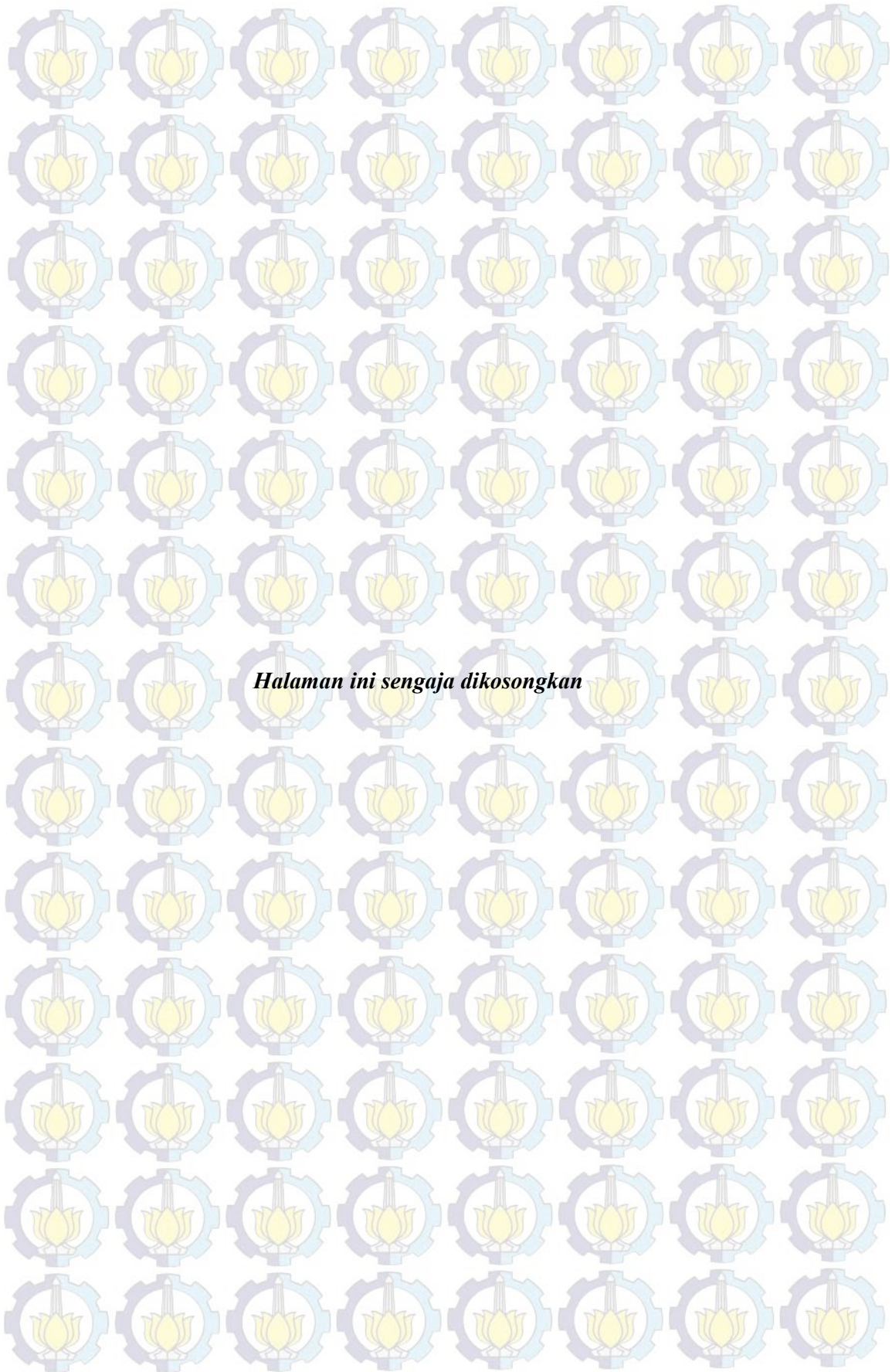
- c. Meningkatkan dan memperbaiki prosedur sistem operasional yang telah ada. Dalam hal ini berkaitan dengan tindakan yang harus dilakukan oleh operator telah sesuai dengan standard perusahaan dalam mengatasi skenario yang mungkin timbul selama proses operasional.
- d. Memberikan pelatihan yang lebih mendetil bagi operator berkaitan dengan sistem operasional khususnya dalam menentukan laju bahan bakar (*coal feed rate*) dan laju material umpan (*material feed rate*) pada sistem pemanas awal ILC – SLC. Seperti yang telah disebutkan dalam hasil analisis lembar kerja HAZOP bahwa penyebab utama dari bahaya yang timbul disebabkan proses pembakaran yang tidak stabil akibat laju bahan bakar yang tidak stabil. Selain akibat yang disebutkan pada sub bab sebelumnya, hal ini juga menjadi penyebab utama dalam memperpendek umur batu tahan api atau refraktori. Penggantian batu tahan api atau disebut *overhaul* pada unit Kiln sangat merugikan perusahaan karena kiln akan berhenti beroperasi dalam waktu yang cukup lama yaitu sekitar 14 hari serta menambah beban perusahaan dalam hal biaya pengadaan dan operasional penggantian batu tahan api.

Implementasi dari langkah-langkah di atas diharapkan dapat meningkatkan performansi dari peralatan pada proses operasional pembakaran klinker sebagai bahan baku utama dari pembuatan semen sehingga kestabilan dalam proses dapat dicapai agar dapat dihasilkan semen dengan kualitas akhir sesuai dengan standard





yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Performansi peralatan proses yang lebih stabil dan optimal seiring peningkatan performansi peralatan SCAI sebagai *safety system* akan meningkatkan nilai SIL sehingga dapat menurunkan nilai risiko paling potensial yang dapat terjadi yaitu kerugian akibat terhentinya proses operasional pemanasan awal dan kalsinasi pada sistem pemanas awal ILC – SLC yang akan berdampak pada proses pembakaran klinker pada peralatan selanjutnya yaitu *rotary kiln*.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

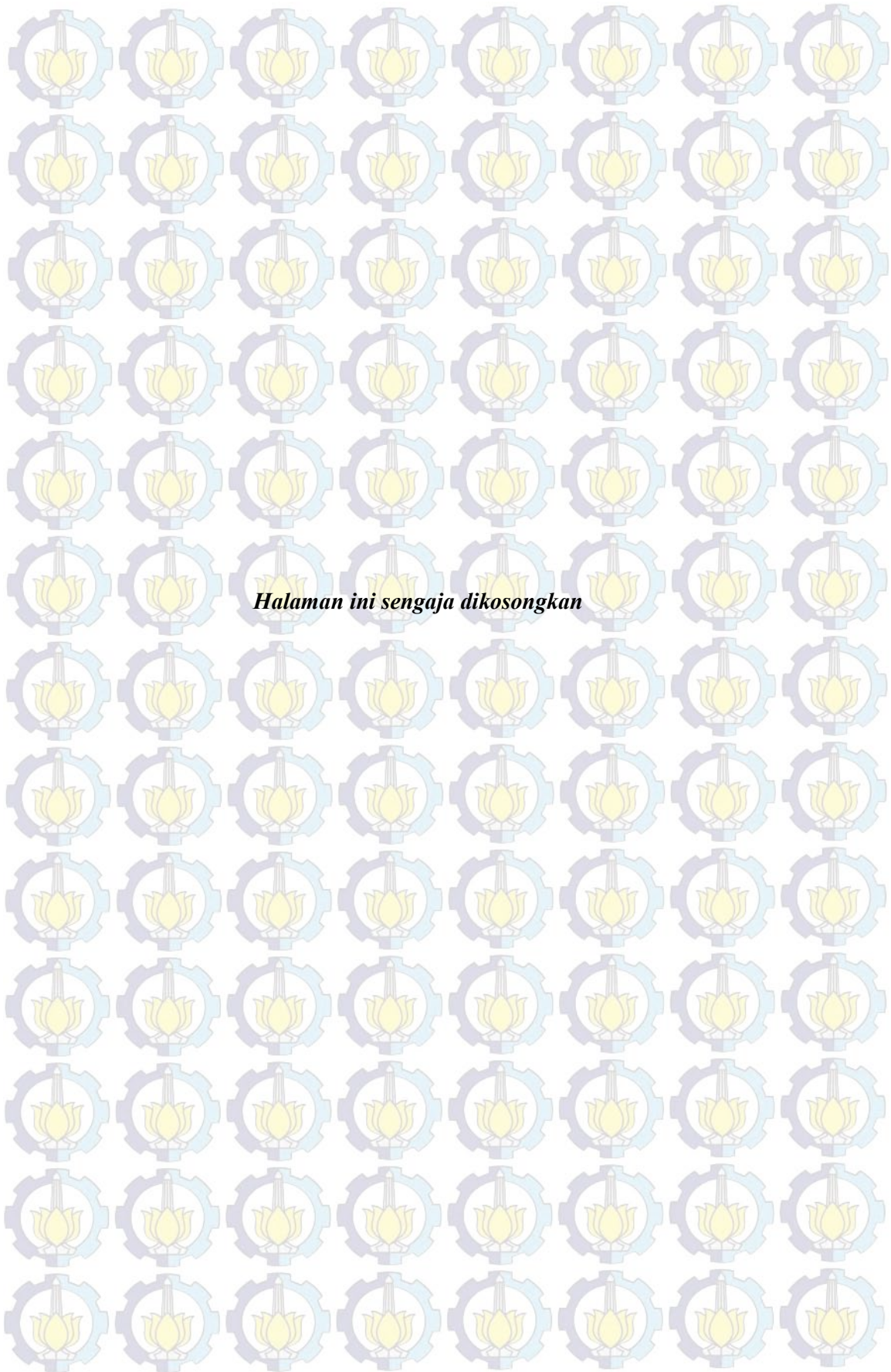
#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

- a. Terdapat tiga level risiko pada komponen titik pengukuran variabel proses masing-masing *node* yaitu *medium*, *high* dan *extreme*. Risiko bernilai *extreme* terjadi pada titik pengukuran *pressure difference preheater exit* pada kedua *node*. Kerugian perusahaan disebabkan kegagalan pada *node 1* berada pada level *catastrophic* yaitu sebesar Rp. 195.839.124.000 atau setara dengan US\$ 13,9 juta sedangkan pada *node 2* bernilai Rp. 102.582.398.200 atau setara dengan US\$ 7,3 juta.
- b. Tingkat SIL pada masing-masing *node* bernilai SIL 0 sehingga diperlukan beberapa langkah yaitu pengubahan desain peralatan khususnya komponen titik pengukuran variabel proses secara paralel; peningkatan frekuensi jadwal pemeliharaan preventif dan kalibrasi komponen titik pengukuran variabel proses khususnya transmitter suhu dan tekanan; peningkatan dan perbaikan standard prosedur operasional; serta pengadaan pelatihan bagi operator sebagai implementasi untuk meningkatkan performansi peralatan *safety system* dan menurunkan nilai risiko yang muncul.

#### 5.2 Saran

Penambahan interval waktu pada data kegagalan diperlukan agar hasil yang diperoleh dapat lebih baik lagi karena interval waktu kegagalan pada penelitian ini terbatas pada 180 hari atau dalam waktu 6 bulan disebabkan keterbatasan akses data. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya interval waktu dapat ditambah menjadi satu tahun atau lebih sehingga hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan bagi perusahaan.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN A

### DATA PARAMETER PROSES

#### 1. Data Proses Temperatur Material pada ILC Stage IV

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
875.784	884.713	893.642	857.926	848.997	840.068

Hari ke	Jam																								xbar	s
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6		
1	885	826	873	875	877	875	880	887	876	876	881	879	873	875	876	875	876	870	870	877	881	886	878	878	875.21	11.356
2	862	864	870	861	862	878	884	882	863	878	859	858	869	873	876	876	879	876	881	890	877	875	879	883	873.13	8.9361
3	886	878	878	871	872	881	875	872	873	874	875	873	875	874	869	873	874	874	873	878	883	876	882	882	875.88	4.2663
4	878	877	873	875	871	871	874	875	871	862	870	859	877	851	862	863	869	867	866	865	860	846	841	843	865.25	10.743
5	835	852	846	868	853	865	871	870	872	862	869	882	869	864	867	868	877	881	889	890	878	877	859	856	867.5	13.052
6	856	855	860	854	857	864	866	868	871	875	862	862	858	847	846	845	845	851	853	855	852	854	870	872	858.25	8.8477
7	878	868	879	866	870	868	856	863	864	869	856	855	861	862	858	857	856	855	861	857	863	857	863	859	862.54	6.7694
8	856	880	861	880	873	880	878	881	877	878	880	870	870	877	880	868	866	874	881	878	877	874	877	881	874.88	6.6549
9	878	864	874	878	877	870	873	880	871	870	872	875	871	871	874	876	870	890	888	876	881	883	878	870	875.42	6.0139
10	870	875	868	873	878	878	875	875	870	878	878	877	882	880	884	875	882	876	875	876	881	871	872	879	876.17	4.1354
11	876	878	873	876	873	887	887	880	879	879	875	874	875	880	892	873	882	882	869	873	871	872	870	873	877.04	5.8046
12	871	880	875	877	873	873	878	880	879	876	875	872	870	878	875	880	883	867	890	881	879	878	880	879	877.04	4.7866
13	879	880	877	877	876	870	875	878	886	886	884	886	870	885	878	877	885	884	881	880	880	871	878	881	879.33	4.8604
14	875	882	885	885	880	878	881	887	879	877	884	887	877	876	877	883	881	884	877	877	873	881	878	889	880.54	4.2424
15	887	882	884	878	890	888	883	886	898	886	884	899	899	897	882	881	867	858	876	877	873	875	881	878	882.88	9.8524

**Data Proses Temperatur Material pada ILC Stage IV (Lanjutan)**

16	874	896	875	877	884	882	872	877	876	890	885	884	894	881	887	885	886	887	875	875	878	885	881	885	882.13	6.3541
17	880	884	885	880	882	884	877	875	884	871	888	877	886	886	877	872	889	893	872	877	873	879	878	880	880.38	5.837
18	889	887	892	884	890	876	882	884	880	887	889	882	878	890	888	893	881	894	881	883	885	888	885	882	885.42	4.7449
19	878	877	886	883	889	894	887	884	878	882	877	888	878	890	880	878	887	885	887	887	884	894	887	885	884.38	5.0546
20	887	887	892	880	887	887	886	891	880	878	873	878	880	884	879	878	880	884	880	880	886	881	877	878	882.21	4.7729
21	885	882	878	878	881	879	886	868	884	885	880	881	880	882	874	875	877	868	854	852	858	847	840	857	872.13	13.437
22	840	848	864	865	864	845	868	875	874	877	881	878	882	884	877	860	882	870	887	868	886	889	871	878	871.38	13.101
23	897	879	877	855	842	869	870	852	874	879	875	870	865	877	889	880	887	885	885	885	881	885	878	881	875.71	12.446
24	891	882	886	883	863	844	873	877	874	885	880	888	887	882	887	881	894	888	881	885	882	884	883	873	880.54	10.211
25	866	868	873	882	885	885	880	884	883	856	864	882	877	882	884	880	881	898	889	890	881	887	870	886	879.71	9.3784
26	891	882	886	883	863	844	873	877	874	885	880	888	887	882	887	881	894	888	881	885	882	884	883	873	880.54	10.211
27	866	868	873	882	885	885	880	884	883	856	864	882	877	882	884	880	881	898	889	890	881	887	870	886	879.71	9.3784
28	873	877	868	875	878	882	878	878	880	875	871	868	866	871	861	874	865	865	866	871	866	860	860	860	870.33	6.7481
29	866	870	881	880	884	880	878	870	873	872	871	867	871	872	871	861	865	862	866	865	866	867	865	863	870.25	6.3742
30	872	867	869	882	877	870	871	875	869	866	869	871	881	865	867	868	862	862	865	866	865	866	863	861	868.71	5.5598
31	870	880	893	879	876	875	876	881	877	878	886	878	861	881	871	888	87	875	875	862	865	867	864	868	842.21	161.06
32	886	864	868	871	872	874	878	880	877	882	870	871	870	868	864	855	858	874	853	850	856	854	858	852	866.88	10.373
33	854	861	864	867	868	863	861	863	863	870	870	877	865	874	873	870	874	875	868	870	866	870	870	865	867.54	5.3323
34	866	870	868	871	875	865	870	874	870	868	866	867	868	864	870	861	868	870	872	871	881	861	868	871	868.96	4.3085
35	870	870	871	868	874	871	869	866	869	875	875	871	868	877	872	871	874	872	875	862	875	858	858	872	870.13	4.9984
36	872	868	870	870	865	864	870	868	864	864	861	864	865	865	865	866	865	868	868	870	870	868	876	874	867.5	3.5631
37	871	878	873	876	873	887	887	880	879	879	875	874	875	880	892	873	882	882	869	873	871	872	870	873	876.83	5.932
38	871	870	871	881	878	865	878	881	871	864	869	870	866	873	870	873	872	869	854	864	860	860	861	875	869.42	6.801
39	872	877	864	863	863	863	859	852	848	846	851	861	868	872	871	848	848	874	861	866	865	863	864	874	862.21	9.1887
40	871	866	876	874	871	864	866	868	865	824	872	870	872	868	872	869	869	865	871	868	865	871	881	841	866.63	11.477
41	861	868	867	874	880	880	868	861	863	860	865	868	864	865	863	861	861	860	860	867	861	862	864	860	865.13	5.7658
42	856	858	861	863	865	864	866	863	866	867	869	864	877	868	868	863	857	863	863	863	865	865	858	860	863.83	4.4786
43	862	867	869	864	867	880	870	873	871	876	872	870	865	870	870	877	871	869	869	871	861	861	878	881	870.17	5.4904
44	873	863	856	863	857	867	860	863	861	863	863	871	868	865	864	863	864	875	878	865	873	868	871	878	866.33	6.0048
45	868	885	886	880	873	875	865	861	873	875	866	871	869	871	874	876	872	873	878	891	870	878	872	888	874.58	7.3302

**Data Proses Temperatur Material pada ILC Stage IV (Lanjutan)**

46	885	887	876	854	853	860	867	865	863	869	870	870	865	872	868	871	868	863	870	878	871	873	882	892	870.5	9.4685
47	890	867	857	866	875	868	864	867	854	877	878	869	881	872	878	875	871	863	867	878	872	871	878	875	871.38	7.8674
48	875	875	882	862	863	868	893	883	874	865	873	876	865	879	865	878	875	875	870	873	877	872	881	867	873.58	7.2945
49	858	868	862	865	869	855	866	861	863	868	868	864	868	867	870	865	871	857	863	855	865	864	858	862	863.83	4.6219
50	850	861	864	867	871	866	871	870	861	857	851	856	857	857	862	853	850	864	862	863	862	881	886	862	862.67	8.8596
51	877	865	862	864	860	860	874	863	875	870	870	870	868	867	870	872	873	856	860	879	855	847	848	855	865	8.6728
52	862	869	863	865	865	865	865	867	866	860	865	868	871	870	875	875	876	872	875	872	873	875	867	868	868.71	4.639
53	860	871	876	876	871	867	872	860	863	863	866	869	863	860	863	857	858	868	865	870	863	866	871	865	865.96	5.279
54	868	870	880	878	872	867	860	866	875	876	865	868	868	869	867	868	868	868	866	861	875	866	868	875	869.33	4.9753
55	870	856	873	877	866	869	858	854	861	856	866	866	865	860	862	855	858	861	863	860	860	866	862	858	862.58	5.7929
56	876	881	878	891	884	879	881	878	874	859	889	874	866	864	859	855	865	871	874	882	871	866	874	877	873.67	9.2814
57	870	875	878	869	873	875	891	884	881	879	881	873	872	877	876	882	882	877	871	865	867	879	869	880	876.08	6.0714
58	855	861	868	877	866	868	849	865	866	858	864	869	869	861	861	864	861	865	865	866	864	860	865	862	863.71	5.3688
59	870	865	865	867	872	861	862	861	876	887	868	878	868	866	863	865	864	855	860	858	861	857	861	858	865.33	7.3228
60	859	862	867	859	868	870	864	864	868	868	863	864	863	869	870	871	873	867	870	868	877	878	871	863	867.33	4.8871
61	860	872	865	868	872	870	879	871	873	873	873	873	875	870	872	875	884	863	862	858	865	860	861	858	868.83	6.8504
62	864	871	863	877	874	870	871	868	871	869	865	861	867	854	865	867	874	875	873	869	870	865	863	865	867.96	5.1624
63	864	866	870	880	879	872	868	876	874	877	872	873	875	875	875	876	872	870	875	870	869	868	865	858	871.63	5.1314
64	858	870	880	880	869	877	873	877	868	864	882	878	881	871	864	865	866	864	865	871	863	864	866	865	870.04	6.8745
65	868	866	865	866	880	877	878	870	870	860	849	860	851	861	862	848	852	862	857	866	873	864	863	859	863.63	8.6417
66	858	863	867	863	858	865	861	858	890	872	859	870	855	859	851	857	853	855	846	845	864	858	864	848	859.96	9.42
67	857	880	867	864	866	869	863	865	868	866	854	848	875	862	864	872	853	866	864	858	867	860	867	858	863.88	7.0422
68	864	866	845	857	854	856	854	864	859	865	871	868	861	870	885	865	854	865	860	861	862	863	862	860	862.13	7.5832
69	856	875	857	856	868	880	859	868	871	875	868	871	870	866	868	868	854	861	845	866	850	856	859	850	863.21	8.9878
70	885	870	874	866	865	876	858	860	870	876	858	869	869	876	859	859	850	856	848	853	847	853	849	853	862.46	10.579
71	861	861	867	852	850	861	866	886	877	875	852	865	870	861	853	849	845	840	843	851	845	840	839	844	856.38	12.86
72	844	842	846	860	856	856	857	870	865	858	852	851	866	853	848	853	850	861	862	861	862	863	862	863	856.71	7.3454
73	858	852	870	876	870	866	874	868	862	862	861	873	873	873	884	874	886	868	868	867	869	869	862	863	868.67	7.6139
74	865	859	859	961	855	857	860	859	867	869	865	866	861	855	851	856	865	863	844	860	860	866	855	851	863.71	21.548
75	855	861	865	861	866	865	861	866	862	861	860	861	863	860	863	861	860	860	861	858	860	858	860	851	860.79	3.2966

**Data Proses Temperatur Material pada ILC Stage IV (Lanjutan)**

76	852	862	861	865	860	864	861	861	866	869	861	865	862	857	861	855	854	851	862	863	864	861	863	862	860.92	4.3431	
77	860	851	857	854	846	852	859	848	875	874	871	866	859	855	861	853	858	855	858	861	871	861	855	881	860.04	8.8636	
78	748.38	891.2	867	866.2	868.8	864.7	875.7	890.9	874.8																860.86	43.351	
79	875.5	861.5	846.9	847.9	848.8	845.6	852.7	846.3	856.9																853.57	9.8242	
80	842.46	853.9	846.7	859.4	854.8	852.3	848.2	851.7	853.4																851.44	4.9976	
81	857.3	859.2	852.1	852.5	843.2	838.7	836.5	845.5	846.1																847.89	7.9139	
82	845.63	849	851.7	858.1	859.4	878	870.1	858.2	856.1																858.46	10.147	
83	856.64	856.2	856.8	857.2	852.4	856.8	856.5	859	860.5																856.87	2.2013	
84	857.96	862.7	858.1	860.9	859.2	871.4	861.9	858	861																861.24	4.1948	
85	862.31	863.2	862.3	862.7	862.1	863.4	862.7	859.5	856																861.56	2.3902	
86	876.33	871.1	865.3	863.7	863.4	864.9	866.3	866.6	851.4																865.43	6.6878	
87	846.41	851.3	853.7	862.2	867.1	867	865.8	860.1	862.6																859.58	7.426	
88	866.16	865	865.9	864.9	865.1	864.4	866.2	863.2	861																864.64	1.6659	
89	861.19	867	865.8	864.1	861.6	859.6	855.2	850.3	852.6																859.69	5.8653	
90	852.84	846	844.1	845.1	851	854.6	855.3	858	858.8																851.77	5.5564	
91	863.2	860.8	860.1	854.9	857.6	844	849.9	864.7	857.1																856.92	6.5764	
92	855.04	853.3	851.6	849.3	851.8	851.4	849.3	846.9	845.9																850.5	2.9369	
93	845.45	844.2	853.7	855.6	848.3	859.4	868.8	871.5	878.6																858.39	12.198	
94	874.14	870.9	861.9	858	853.6	855.8	854.5	851.9	854.9																859.52	7.9374	
95	856.39	855	848.5	853.2	856.2	857.6	852.7	855.2	857.6																854.69	2.8938	
96	855.76	853.3	855.2	855.7	859.2	851.2	851.5	857.3	851.9																854.56	2.7854	
97	859.65	848.8	852.8	854.8	857.4	855.4	864.9	862.7	868.7																858.35	6.2704	
98	864.71	862.2	862.3	863	866.6	864.3	859.7	854.3	861.8																862.09	3.5324	
99	854.86	857.7	863.1	861.9	857.1	853.5	853	859.4	859.9																857.82	3.5749	
100	857.97	859.1	849.3	853.4	854.3	856.3	856.8	859.9	858.8																856.21	3.3863	
																									xbar	866.86	8.9289
																									sbar		0.8929



## 2. Data Proses Temperatur Gas pada ILC Preheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
416.264	418.193	423.212	403.136	398.117	393.098

Date	Jan																								x̄	s	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6			
1	46	47	42	41	47	45	49	46	49	49	48	49	43	43	40	40	41	41	41	43	40	43	40	40	41	42	1018
2	41	48	41	43	47	47	48	49	43	44	42	47	46	48	49	40	42	46	41	42	42	40	41	48	42	48	4686
3	44	44	44	43	43	42	42	40	40	47	47	46	47	47	46	46	47	40	49	49	48	46	49	41	49	48	2881
4	40	39	41	41	42	41	41	41	40	36	39	44	45	41	40	40	45	40	42	43	50	42	47	45	42	49	2909
5	42	46	40	46	43	42	40	40	40	47	43	44	46	44	48	43	42	49	44	41	43	49	44	46	42	47	10884
6	40	45	45	49	46	38	41	47	41	40	46	46	43	41	47	46	44	44	46	45	46	45	43	49	47	46	12606
7	46	45	47	49	48	44	46	42	43	47	49	49	40	47	48	48	48	49	40	49	48	40	45	46	42	49	5882
8	46	48	48	48	40	45	49	49	47	45	43	42	42	42	42	42	41	41	44	44	41	49	49	41	48	42	9057
9	49	49	46	48	40	43	43	40	46	45	43	44	45	46	47	49	48	48	48	39	32	31	32	46	37	42	4324
10	46	49	49	49	49	47	46	46	45	45	46	45	46	45	45	45	48	48	48	47	47	47	49	48	46	48	1523
11	49	47	47	49	47	48	47	45	41	41	41	41	42	41	45	48	49	45	43	47	42	48	46	46	44	47	4786
12	46	48	48	40	41	41	40	49	49	49	47	48	48	49	49	42	41	43	43	41	41	42	42	40	49	48	18228
13	49	48	47	44	44	40	36	44	47	47	46	48	44	42	41	43	47	46	46	45	46	45	45	44	44	47	2882
14	46	48	40	40	48	48	48	48	40	41	42	43	43	42	44	42	42	45	42	44	45	46	44	47	41	48	2982
15	47	43	41	41	42	43	43	44	41	42	42	44	43	44	46	44	46	43	46	47	47	47	46	47	44	42	2138

Data Proses Temperatur Gas pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)

16	418	417	412	412	410	409	410	414	410	413	410	109	414	414	414	414	414	414	413	413	413	413	413	400292	620809	
17	412	411	412	413	415	414	412	413	412	412	413	415	417	417	411	411	413	411	410	408	415	405	406	407	411.875	308309
18	416	416	409	409	408	408	405	408	405	405	407	406	405	408	409	408	406	407	405	404	406	407	406	405	407.417	303482
19	405	405	407	407	399	400	400	402	401	399	400	402	399	401	400	401	402	402	405	402	403	402	402	402	402	232192
20	402	401	403	401	401	401	399	400	398	398	398	399	398	398	399	399	400	401	399	400	399	400	401	401	399.833	140393
21	400	400	401	401	401	400	399	399	398	398	398	396	398	396	414	420	419	436	443	448	426	442	440	437	412.917	184907
22	438	430	435	434	435	434	433	417	414	404	400	400	399	400	402	401	421	421	421	422	428	438	430	436	420.542	144553
23	422	406	407	421	427	423	432	433	415	406	411	428	439	423	412	411	410	406	407	408	401	406	405	408	415.292	106831
24	409	408	408	418	429	439	418	407	405	408	408	408	409	408	405	408	408	401	406	405	401	406	401	405	409.5	870282
25	415	418	420	415	410	410	412	415	404	401	398	399	404	405	411	413	411	414	414	407	408	406	407	408	409.375	575449
26	410	411	411	411	410	410	410	410	411	410	410	408	411	406	402	408	411	407	403	405	404	404	403	402	407.833	32925
27	402	425	417	409	410	410	406	403	402	403	402	406	407	407	408	406	404	403	403	402	403	403	405	404	406.25	533447
28	404	409	408	410	411	405	402	404	404	402	401	401	402	400	399	348	400	401	402	402	401	400	400	401	400.708	11.7158
29	411	412	418	418	415	415	412	416	417	418	418	419	418	419	418	418	418	413	414	404	405	405	406	406	413.875	5.1102
30	405	406	408	406	407	416	417	418	415	415	417	416	416	414	412	412	404	415	416	413	416	415	417	415	412.958	439841
31	411	418	415	412	411	410	409	409	410	413	413	416	413	417	414	416	415	416	413	412	419	411	412	410	413.125	284853
32	408	408	409	410	409	408	411	411	411	411	410	410	412	410	412	411	412	414	414	411	414	412	412	412	410.917	1.7625
33	414	415	415	414	416	416	416	415	413	413	415	415	415	415	416	416	419	416	417	405	406	406	406	413	413.625	383136
34	413	411	412	410	410	409	415	414	415	413	413	412	413	413	414	414	412	413	414	412	412	414	421	418	413.208	250181
35	416	414	416	414	418	413	413	412	414	413	411	410	408	407	407	409	415	416	418	415	410	410	413	413	412.708	3.16886
36	418	419	415	408	407	405	407	405	403	390	387	391	381	391	391	385	385	395	398	406	408	407	407	407	400.667	10.8734
37	414	419	417	417	417	418	411	417	415	419	419	413	412	418	420	421	420	417	417	416	414	417	417	416	416.708	252774
38	416	416	418	420	421	415	416	416	414	420	421	420	421	421	421	420	420	417	417	417	417	417	417	417	418.125	221286
39	417	417	417	419	422	422	418	403	414	414	415	414	414	414	414	414	418	411	403	411	410	417	411	411	414.167	4.73348
40	409	410	411	411	412	413	413	411	413	414	414	415	421	416	415	413	408	413	413	413	412	411	403	408	412.167	3.35788
41	409	413	412	409	419	427	421	418	416	421	420	414	420	414	424	423	422	420	420	419	420	426	420	420	418.625	4.75315
42	425	416	407	405	402	406	406	407	405	405	409	406	407	405	404	402	400	408	405	410	407	408	401	408	406.833	505334
43	418	420	419	420	418	413	415	416	412	415	404	403	399	399	403	403	401	403	403	407	403	402	401	403	408.333	751088
44	412	410	402	393	389	388	393	397	396	397	398	389	398	395	898	391	395	395	395	402	405	407	410	411	419.417	102.195
45	411	405	405	405	413	411	409	405	407	411	411	408	408	407	408	407	407	408	407	409	408	409	400	411	407.917	2.78063

### Data Proses Temperatur Gas pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)

46	412	413	413	410	409	410	411	416	413	411	411	412	411	416	416	417	416	414	414	414	414	413	411	412,988	221613		
47	410	401	405	403	406	403	403	405	407	409	410	408	408	409	410	408	410	407	406	405	407	407	409	408	406,833	254809	
48	406	405	405	406	405	405	405	407	406	404	403	404	405	405	408	404	403	405	404	405	404	407	404	407	405,083	128255	
49	408	408	407	404	409	407	404	410	409	412	410	390	390	401	410	407	409	403	412	411	401	404	400	404	405,417	588969	
50	403	404	402	401	560	409	408	410	407	408	409	410	411	412	411	411	410	410	410	411	410	410	410	410	414,875	31,0586	
51	412	411	407	406	414	416	408	406	408	409	413	412	412	410	411	409	408	408	409	407	408	411	408	407	409,583	2,6196	
52	389	391	385	383	382	387	387	387	392	398	396	391	390	393	392	389	394	390	390	393	353	379	390	391	388	8,61243	
53	413	412	414	412	414	414	414	412	422	422	421	421	424	421	421	417	420	420	419	421	420	419	420	420	418,042	3,80479	
54	419	419	421	419	417	417	411	416	414	410	415	415	415	415	415	416	415	414	412	411	413	414	415	415	415,125	2,69157	
55	415	413	413	416	418	416	416	413	413	411	411	415	415	417	417	418	417	417	417	408	417	413	414	414	414,75	2,5238	
56	417	419	422	425	426	421	417	417	416	413	421	417	413	414	412	409	410	412	414	415	410	407	409	410	415,25	5,16047	
57	406	407	409	409	410	412	415	413	412	410	409	409	408	406	406	408	407	405	405	404	404	403	464	407	410,333	11,8199	
58	405	403	404	404	404	403	402	404	404	404	404	408	408	405	405	404	404	405	404	405	404	404	401	407	404,375	1,58286	
59	407	406	402	402	407	409	408	407	410	410	408	407	405	403	403	403	402	400	399	399	399	401	402	401	404,167	3,59549	
60	396	399	402	400	402	404	405	404	402	402	400	401	402	404	403	402	402	402	401	402	403	404	403	410	402,292	2,51049	
61	399	402	400	402	399	401	403	404	403	404	401	401	402	402	401	401	401	397	398	398	398	396	396	397	400,25	2,41823	
62	395	398	401	403	403	401	400	399	400	401	399	395	396	395	394	396	399	396	398	399	397	396	395	394	397,917	2,74918	
63	394	395	401	400	401	401	398	398	399	400	400	400	400	400	397	397	397	395	395	393	391	392	390	389	396,792	3,7181	
64	390	396	400	402	400	401	401	401	400	398	398	399	399	398	396	397	398	398	396	398	399	398	398	398	398,292	2,40433	
65	396	396	394	395	396	396	397	404	402	397	394	395	391	398	394	391	391	396	391	389	400	397	397	395	395,5	3,50155	
66	394	399	401	401	402	401	402	399	399	402	403	408	406	403	402	407	404	402	406	401	404	405	402	400	402,208	3,02136	
67	403	401	411	405	404	390	405	404	403	410	402	400	406	406	408	413	411	411	411	412	412	405	405	400	405,75	5,26886	
68	401	403	403	400	399	399	399	402	402	402	404	404	405	408	410	408	405	404	403	404	401	401	401	401	402,875	2,8789	
69	400	401	400	399	398	396	394	400	405	404	405	409	410	406	403	401	407	400	395	397	401	400	400	397	401,167	4,22895	
70	399	404	401	400	399	401	397	398	402	401	402	399	399	405	408	404	404	404	401	402	400	400	401	403	401,417	2,53526	
71	404	406	406	404	401	404	408	410	402	412	407	404	407	407	407	410	396	394	393	394	394	394	394	397	392	402,208	6,28994
72	392	392	388	390	395	394	393	393	398	396	392	391	392	394	392	392	393	398	398	397	396	396	396	396	393,917	2,68517	
73	394	395	398	401	400	398	398	398	399	397	397	400	401	400	401	403	404	393	394	394	391	396	394	394	397,5	3,38796	
74	400	398	396	394	392	391	391	395	396	397	396	395	394	394	392	393	392	393	388	392	392	395	396	393	393,958	2,61233	
75	391	393	395	398	395	393	395	393	393	395	394	395	395	395	391	395	395	390	388	390	390	390	390	387	392,75	2,75444	
76	387	393	395	393	395	393	394	397	397	398	396	396	396	394	392	391	389	390	390	391	392	389	389	390	389,042	18,367	
77	389	389	390	395	398	398	398	397	400	403	400	398	397	398	396	397	398	398	396	391	396	397	398	397	396,417	3,45048	
																								xtar2	408,1553	8,108333	

### 3. Data Proses %O2 pada ILC Preheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
4.05557	4.5902	5.12483	2.98631	2.45168	1.91705

Hari ke	Jan																								xbar	s
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6		
1	27	22	28	27	26	37	41	4	39	44	39	25	26	33	32	31	31	31	31	32	38	35	42	42	332917	062865
2	46	4	37	38	34	26	27	27	37	43	36	24	25	24	29	28	24	27	27	29	33	29	28	28	310833	06324
3	29	23	23	23	24	26	25	27	25	28	27	26	26	31	26	27	26	22	23	31	31	22	23	26	258333	027452
4	26	28	25	01	01	01	24	25	21	33	29	3	26	42	54	29	24	24	31	42	44	59	5	55	301667	157912
5	5	36	28	4	32	26	28	24	22	36	31	37	37	33	36	37	28	31	29	23	36	42	46	55	342917	08254
6	49	35	37	37	3	27	26	28	23	3	31	3	35	46	5	52	55	51	5	35	34	41	32	24	37	098245
7	21	2	21	3	2	19	38	31	32	33	36	36	34	35	34	31	36	39	37	37	34	37	35	33	31625	063985
8	37	31	3	3	3	31	24	31	3	32	29	31	25	3	23	27	24	33	31	24	23	26	23	25	283333	037955
9	26	28	29	23	24	22	25	21	35	25	25	43	27	38	5	49	38	36	41	01	01	02	06	36	27125	139169
10	38	23	41	39	26	4	35	23	37	33	4	45	29	25	26	39	31	4	41	35	35	39	32	31	342917	063484
11	34	33	26	28	24	35	31	32	29	24	25	27	3	41	35	32	31	29	38	35	38	35	34	32	315833	045293
12	27	31	38	33	33	32	3	37	24	23	27	31	28	29	27	26	29	27	29	3	27	26	28	29	292083	035872
13	3	33	28	39	33	25	34	29	29	36	37	32	25	28	27	28	25	3	29	28	24	28	23	3	295833	041275
14	26	31	26	28	34	35	3	31	3	28	31	25	25	27	3	31	27	25	34	31	27	24	27	25	286667	031714
15	24	23	25	23	23	27	27	22	3	26	28	26	27	26	21	21	28	23	22	24	24	25	27	26	249167	023941

**Data Proses %O2 pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)**

16	2.1	3.1	2.7	3.3	3.3	3.1	3.2	2.3	3.3	3.5	3.6	2.8	2.2	2.5	2.5	2.5	3.6	3.2	3.1	2.8	2.5	2.7	2.5	2.7	2.87917	0.44427
17	2.9	2.8	2.7	2.5	2.6	2.9	2.8	2.7	2.9	3.7	3.7	2.6	3.1	3.5	3.5	2.8	3.6	3.1	3.1	3.6	3	3.2	3.8	3.2	3.09583	0.39725
18	3.5	3.5	3.4	3.5	3.6	3.2	3.6	3.5	3	3.4	2.9	2.9	2.8	3.1	2.9	2.6	2.6	3.2	3.2	2.7	2.7	2.8	2.5	2.6	3.07083	0.36532
19	3.3	2.5	2.4	2.8	3	3	3	3.8	2.8	3.4	3.4	3.7	3.4	3	3.2	3.9	3.2	3.2	3.1	3.5	3.4	2.7	3.3	3.4	3.18333	0.37725
20	3.3	3.9	3.6	2.9	2.6	2.9	2.7	2.5	2.7	2.1	2.3	2.9	2.8	2.9	3.3	2.8	3.5	3.3	3.2	3.8	3.1	3.7	3.3	2.8	3.0375	0.46514
21	3.5	3.7	3.5	2.7	2.6	3.5	3.6	3.6	3.3	2.9	2.6	4	4.9	4.8	4.5	3.6	3.3	7.6	7.4	6.7	5.5	7	6.7	6.9	4.51667	1.65731
22	5.7	5.9	6.1	4.9	5.7	7.2	6.2	4.5	4.3	3.2	3.7	3.2	4.4	4.3	3.8	3.6	2.9	3.8	4.8	4.1	5.2	2.9	3.7	3.5	4.48333	1.16345
23	3.6	3.9	3.2	5	6.2	3.5	3.7	5.8	2.4	3.6	3.1	6	5.9	3.5	2.7	5.1	5.8	3	3.7	3.5	3.3	3.2	3.3	3.4	4.01667	1.16233
24	3.8	2.6	3.9	4.6	5.3	5.4	3	4.1	2.5	3.4	3.7	3	3.6	3.7	3.1	4.1	3.3	2.7	2.6	2.8	2.7	2.7	3	3.6	3.46667	0.81008
25	4.1	3.8	2.9	2.8	3.9	3.5	4.4	4.8	2.6	4.3	3.5	3.8	4.2	2.3	2.2	2.9	3.1	2.7	3.1	4	3.5	3.3	3.2	2.8	3.40417	0.69437
26	2.9	3.1	4.4	4.6	3.2	4.6	3.9	3.8	3.6	3.2	3.5	4.1	5.9	5.7	4.2	4.3	5.1	4	4.6	4.9	3.3	4.2	4.4	4.1	4.15	0.77516
27	4.6	3.7	3.7	3.3	2.9	4.1	4.1	3	3.8	2.8	3.7	2.6	2.9	3.8	3.4	3.3	3	3.7	3.8	4.2	3.1	3.2	3	2.9	3.44167	0.5208
28	3.1	3.9	3.4	2.9	2.9	2.5	3.6	2.9	3.4	4.6	3.9	3.1	3.2	3.2	3.4	3.2	4.1	3.3	3.5	3.5	3.1	3.4	4.1	2.9	3.37917	0.47455
29	3.3	3.5	4.2	3.6	3.6	2.8	3.4	3.8	3.7	2.8	3.2	3.1	3.4	3.7	3.4	4.2	4.1	3.5	3.6	3.6	3.6	3.1	4	3	3.50833	0.39112
30	3.1	3.9	3.3	3.4	3.7	3.6	3.1	2.8	2.9	2.9	3.5	3.4	3.7	3.9	3.6	4.4	4.5	3.8	4.3	5.1	4.4	4.1	4.1	5.3	3.78333	0.65784
31	4.4	4	3.9	4.1	4	3.7	2.9	3.1	2.9	3.1	3.5	4	3.5	3.3	4.1	3.2	3.7	3.1	2.9	3	3.9	3.6	2.9	4.1	3.5375	0.48077
32	3.2	3.4	3.6	3.5	3.1	2.7	2.9	2.9	3.4	2.8	3.5	4.4	3.2	4.4	3.4	3.3	3.3	2.6	3.3	3.4	2.8	2.7	2.8	3.1	3.2375	0.46233
33	3.6	4.1	2.6	3.2	2.6	2.4	3.3	3.2	4.2	2.6	2.8	2.9	3.4	3.2	3.1	3.5	2.6	2.6	2.7	3.6	3.6	4	4.1	4.3	3.25833	0.58823
34	4.5	3.7	2.6	3.5	2.6	3.5	2.5	2.5	3.4	3.7	2.8	2.9	3	3.1	3.5	4.8	3.5	3.6	2.6	3.5	3.6	3.2	2.7	3.8	3.29583	0.60107
35	3.2	3.4	3.2	3.4	3.6	3.1	3.2	3.4	3.1	2.6	3.6	4.4	2.7	2.8	2.7	3.3	2.8	5.2	3.3	4.1	3.6	3.6	3.7	2.7	3.3625	0.59331
36	3.6	2.9	3.6	4.4	3.9	4.6	5.5	3.6	3.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	4	4	4.1	3.9	3.8	3.9	4.1	3.7	2.6	3.55417	0.78185
37	2.5	2.4	3	2.4	2.4	2.6	2.8	2.5	2.6	2.5	4	3.9	2.5	2.6	2.5	2.6	3.6	4.1	3.6	3.1	2.9	2.7	4.3	2.8	2.95417	0.60933
38	4.1	2.9	2.7	2.5	2.9	2.7	3.8	2.7	4.2	2.4	2.5	2.6	2.7	3.1	3.5	4.1	4.3	5.3	5.4	5.1	5.3	5.4	5.4	5.1	3.77917	1.14131
39	3.2	3	3	4.9	4.8	4.4	4.5	3.1	3.1	3.3	4.4	4.2	3	3.2	3.3	3.4	3.5	3.9	4.56	4.1	3.7	3.9	3.1	5	3.77333	0.67761
40	5	4.1	4	4.4	4.5	4.7	4.9	3.1	3.5	5.4	4	3.5	3.5	4.2	4.4	3.9	4.1	3.4	4.1	4.7	4.7	3.9	3.7	4.3	4.16667	0.56466
41	3.1	3.1	3.5	3.7	3.9	3.9	3.7	3.8	3.5	4.1	4.4	4.5	3.8	3.4	3.3	2.8	3.6	3.1	3.1	3.6	3	3.2	3.8	3.2	3.54583	0.43836
42	3.6	4.1	3.8	3.1	3.3	3.5	3.7	3.5	3.5	3.4	3.5	5.7	5.8	4	4.1	5.5	5.9	4.5	4.5	4.1	4.2	4.3	4.8	4.1	4.1875	0.81844
43	4.7	3.8	3.6	3.8	4	4.1	4.1	3.5	3.6	3.1	3.1	3.5	3.2	3.7	3.1	3.4	3.3	3.4	3.7	3.7	4	3.4	3.1	3.8	3.6125	0.39377
44	3.4	4	3.1	4	4.3	3.7	3.3	4.1	3.5	3.2	3.6	3.7	4.1	4.2	4.1	3.5	6.1	3.1	3.5	3.1	3.3	3.1	3.1	3.2	3.67917	0.65473
45	2.9	4.3	5	4	4.2	4.1	4.1	3.9	3.7	3.5	4	4.4	4.2	4.3	4.8	4.1	4.8	4.1	5.7	5.8	5.9	5.7	5.8	5.7	4.54167	0.83454

**Data Proses %O2 pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)**

46	3.5	3.9	3.5	3.9	3.8	3.6	3.2	3.4	3.5	3.6	3.3	3.4	3.5	4.5	4.1	3.6	3.8	3.8	3.8	4.4	3.6	3.7	3.4	4	3.7	0.32168
47	3.7	3.2	4.1	3.4	3.2	4	3	3	2.9	3.3	3.7	3.7	3.1	2.7	3.3	3.2	3.1	4	3.7	4.1	3.8	3.6	4	3.2	3.45833	0.41485
48	4.1	3.8	3.5	5.7	5.8	5.7	3.9	3.8	3.8	4.1	3.8	4.1	3.4	4.4	3.4	4.2	4	3.6	3.2	4.1	4.1	4	4.1	4	4.10833	0.68962
49	3.6	4.1	3.8	3.5	3.5	4.1	3.5	3.5	2.9	3.2	3.6	3.8	3.7	3.8	3.9	3.7	3.9	4.3	4.2	4.3	4.6	4.4	4.4	4.5	3.86667	0.42902
50	3.1	3	2.8	2.7	2.9	3.1	2.8	2.8	3.1	3.3	3.8	3.1	2.8	3.1	3.5	3.2	3.1	3.7	3.4	3.2	3.1	3.1	4.1	3.8	3.19167	0.36226
51	4.4	4	3.5	3.8	3.8	3.2	3.5	3.4	2.7	3	2.8	2.9	3.8	3.2	3.5	3.8	3.6	3.3	3.6	3.7	3.2	3	3.4	3	3.42083	0.41176
52	3.8	3.4	2.7	2.8	2.1	3.2	3.1	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.9	4.1	4.2	4.1	4.2	3.7	3.3	3.4	3.5	3.7	3.2	3.1	3.44583	0.49605
53	3.6	3.4	2.8	3.2	2.9	3.3	3.2	3.3	2.5	2.8	3.4	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.2	3	2.7	2.9	3.5	3.7	3.22917	0.31551
54	3.7	4	3.1	3.4	4	3.4	4.4	4.4	4.1	4.1	3.8	3.8	3.7	4.1	4.2	4.1	3.8	4.1	4.1	4.1	4.2	3.8	3.9	4.3	3.94167	0.32021
55	3.2	3.3	3.2	3.1	3.4	3.7	3.5	3.3	3.5	4	2.9	3.7	3.8	4	4.2	3.9	3.6	3.1	3.1	2.9	2.6	3.2	3.1	2.3	3.35833	0.4577
56	3.3	3.5	3.2	3.5	3.7	3.4	3.3	3.1	3.2	3.1	3.1	3	4	3	3	3.1	3.4	3.3	3.7	3.7	3.2	2.9	3.4	3.1	3.3	0.27505
57	4.4	4.1	3.8	3.6	3.8	3.9	3.8	3.7	3.8	3.9	3.8	3.7	3.8	3.9	3.8	4.4	4.5	3.6	3.7	3.4	3.8	4.1	4.2	3.8	3.8875	0.26916
58	3.5	4.1	3.7	3.6	3.2	4.4	4.2	3.7	3.1	2.9	2.9	3.5	3.3	3.8	3.5	3.6	3.5	4.2	4.1	4.2	4.1	4	4.1	4.1	3.72083	0.43537
59	3.5	3.5	3.7	4	3.2	3.5	3.1	3.5	2.9	3.4	3.5	3.3	3.4	3.2	3.4	3.1	2.7	3.4	3.1	3.1	3.1	2.9	3.8	3.5	3.325	0.29964
60	3.5	2.8	3.1	3.3	2.9	3.4	2.6	2.8	3	2.9	2.7	2.6	2.7	3.4	3.5	3.1	3.1	3.4	3.6	3.2	3.7	3.4	3.9	4.1	3.19583	0.40911
61	2.9	3.2	3.6	4.4	2.9	3.4	3.5	2.9	2.8	4.5	3.2	2.9	4.7	4.5	4.5	4.1	2.8	3.9	3.8	4	3.9	3.8	3.8	3.7	3.65417	0.60933
62	4.9	4.2	3.3	3.9	2.5	4.4	3.9	3.6	3.8	2.6	3.7	3.6	3.6	3.5	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.1	3.2	3.1	3.1	3.1	3.47083	0.53769
63	2.8	3.3	2.4	3.8	3.5	2.6	2.6	2.6	4.1	4.4	2.6	2.7	2.8	2.7	3.2	3.2	3.1	3.7	3.2	3.4	2.9	2.8	3.1	3.2	3.1125	0.51017
64	3.6	3.6	3.7	3.8	2.4	2.7	3.3	3.3	3.3	3.5	4.6	3.5	3.1	4.1	4.2	4.1	4.2	4.4	3.3	2.9	2.9	3.2	3.7	3.3	3.52917	0.5481
65	3.2	2.7	3.4	3.6	3.2	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	3.4	3.3	3.8	3.8	3.5	4.8	3.4	4.4	4.6	4.5	3.7	3.7	3.9	4.3	3.58333	0.591
66	4.9	4.1	4.4	4	3.5	4.8	3.6	2.9	3.2	3.9	3.3	4.3	3.6	4.1	3.9	4	4.6	4.1	4.2	4.1	4.1	4.5	4.6	4.2	4.0375	0.49766
67	4.3	3.4	4.8	3.6	4.4	4.4	4.7	3.9	4.5	4.1	3.9	3.1	3.5	3.1	2.9	3.5	4.7	3.9	3.7	3.6	3.8	4.2	4.1	4.3	3.93333	0.53134
68	4.1	4	3.9	4.2	4.1	4.2	4.2	3.9	4.1	4	3.8	4.1	3.9	3.7	3.8	3.3	3.4	3.8	2.8	3.3	3.5	3.8	3.8	4.9	3.85833	0.40851
69	3.1	3.8	3.6	3.5	2.8	2.5	4.1	2.9	2.4	2.4	3.3	3.3	3.8	3.4	4.4	3.9	4	4.6	5.1	4.2	5.2	4.8	6	4	3.79583	0.92147
70	3.6	4	4.1	4.9	4.3	4.5	3.5	3.2	3.6	3.6	4.7	4.4	3.6	3.4	3.6	4.4	4.7	5.4	5	4	4.3	4.9	5.7	4.4	4.24167	0.65998
71	4.9	4.9	4.8	4.1	3.8	4	3.7	2.7	3.1	3.7	4.4	3.7	3	3.7	4.5	4	3.9	3.5	3.5	3.6	4.1	4.2	4.1	4.1	3.91667	0.55769
72	5	4.2	3.3	3	3.5	3.5	3.1	2.9	3.4	2.9	3.9	2.9	3.3	3.4	2.4	3	3	3.4	3.5	3.6	3.1	3.4	3.8	3.4	3.37083	0.51455
73	3.6	4.1	3.8	3.9	3.9	3.8	3.3	3.3	3.6	3.5	3.6	3.4	3.5	4.3	4.1	4	3.4	3.9	4.3	3.8	4	3.6	3.7	4	3.76667	0.29291
74	4.4	3.8	3.3	3.4	3.5	3.9	3.2	3.5	3.3	3.2	3.1	3.2	3.3	3.7	3.5	3.6	3.7	4.1	4.1	3.7	3.5	3.5	3.5	4.4	3.6	0.36356
75	4.3	4	3.5	3.2	3.3	3.4	3.1	3.2	2.9	3.3	3.7	3	3.1	4.6	4.1	4.8	4.5	4.1	4.2	4.3	4.2	3.6	3.6	3.6	3.73333	0.55534
76	3.9	4.5	5.4	5	5.4	4.7	4.9	5.5	4.4	3.6	4.1	4.4	4	4.1	4.8	4.1	4.4	4.4	4.2	4.3	3.8	4.1	4.2	3.8	4.41667	0.52309

**Data Proses %O2 pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)**

77	4.4	3.9	5.7	6.2	5.7	6.2	6	5.3	6.1	6.2	4.5	4	3.9	4	2.6	3.3	3.7	3.4	3.1	3.2	3.5	3.5	3.2	3.6	4.38333	1.19698	
78	3.37	3.29	3.42	3.19	3.26	3.12	3.06	2.87	3.17																	3.19444	0.16756
79	4.63	4.1	4.56	4.73	3.92	4.23	3.88	3.45	4.23																	4.19222	0.41079
80	4.34	4.91	5.3	5.57	4.86	4.59	4.14	4.35	3.96																	4.66889	0.53657
81	4.51	4.06	4.23	3.99	3.74	3.86	4.04	3.55	3.75																	3.97	0.28775
82	3.75	4.01	3.69	3.85	4.25	4.41	4.46	4.12	4.17																	4.07889	0.27629
83	3.7	3.5	3.4	3.33	3.84	3.22	3.36	3.41	3.25																	3.44556	0.20507
84	3.15	3.16	3.31	3.57	3.93	3.74	3.14	2.95	3.28																	3.35889	0.32072
85	2.98	3.26	3.52	3.8	5.06	3.13	3.85	4.05	4.1																	3.75	0.63358
86	4.02	4.08	4.02	3.84	3.93	3.62	3.74	4.19	3.73																	3.90778	0.1878
87	3.21	3.18	2.86	2.83	3.13	3.14	2.9	3.1	3.26																	3.06778	0.16115
88	3.75	3.13	3.11	2.99	2.81	2.97	3.11	4.37	3.82																	3.34	0.51836
89	3.06	3.48	3.56	3.51	3.35	3.34	3.13	3.32	3.65																	3.37778	0.19466
90	3.86	3.61	3.43	3.41	3.08	2.85	3.02	2.88	2.8																	3.21556	0.37587
91	3.2	3.63	3.83	3.68	3.22	2.73	2.77	3.11	2.99																	3.24	0.39626
92	2.95	2.99	2.81	2.87	3.28	4.1	3.25	3.54	3.67																	3.27333	0.42933
93	3.01	3.2	3.64	4.18	3.57	3.03	3.22	3.3	3.22																	3.37444	0.3696
94	3.4	3.77	3.74	3.38	4	3.37	3.12	2.88	2.98																	3.40444	0.3773
95	3.02	2.69	3.08	2.88	2.85	2.68	2.76	3.25	2.95																	2.90667	0.18921
96	3.04	3.26	3.71	3.05	2.87	2.92	3.61	3.11	2.87																	3.16	0.3102
97	3.14	3.26	3.16	2.84	4.89	4.66	4.18	3.5	4.54																	3.79667	0.77201
98	3.58	4.37	3.55	3.48	3.31	3.44	3.29	3.7	3.41																	3.57	0.32673
99	3.52	3.65	3.45	3.41	3.05	2.9	2.96	3.59	3.28																	3.31222	0.2799
100	3.75	3.22	3.08	3.23	3.03	3.09	2.78	3	3.08																	3.14	0.26401
																								CL	3.52094	0.53463	

#### 4. Data Proses %CO pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
0.04388	0.06004	0.07619	0.01157	-0.0046	-0.0207

Hari ke	Jan																								xbar	s	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6			
1	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00875	0.00741
2	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.04	0	0.01	0.02	0.00875	0.01035	
3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.07	0.03	0	0.01	0.02	0.01	0	0.01375	0.01377		
4	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0.00875	0.00741	
5	0	0	0.02	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00375	0.00711	
6	0	0	0	0	0.01	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.00667	0.01167	
7	0.04	0.05	0.03	0	0	0.04	0.04	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.01125	0.01597	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00458	0.00779		
9	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01958	0.01197	
10	0.01	0.03	0	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01375	0.01056	
11	0.02	0.01	0.03	0.06	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0125	0.01359	
12	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.04	0	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01667	0.01341	
13	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0	0.01	0	0.04	0	0.02	0.02	0.01167	0.00917	
14	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0	0	0.00958	0.00624	
15	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0	0.03	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01292	0.01197	
16	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01292	0.0116	
17	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.02	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.0078	
18	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.04	0.01	0.01042	0.01233	
19	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0.00667	0.00482	
20	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0	0.00792	0.00932	



Data Proses %CO pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)

21	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0	0.01	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.00708	0.01488	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00333	0.00702	
23	0	0.01	0.03	0	0	0	0	0.02	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00834	
24	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0.02	0.04	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.07	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.0175	0.017	
25	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.01	0	0	0.02	0.03	0	0.03	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00833	0.00917	
26	0.04	0.02	0	0	0.02	0.03	0	0.03	0	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0.01167	0.01373	
27	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	0	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.6	0.0425	0.11939	
28	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.2	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.01	0.03042	0.03906	
29	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0.03	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0	0.01	0.00917	0.00974	
30	0.02	0	0.01	0	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00792	0.01351	
31	0	0	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.01	0.04	0	0.02	0	0	0.01	0	0	0.02	0	0	0.01	0.01	0	0.01333	0.01465	
32	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.02	0.01	0.04	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01333	0.01404	
33	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01083	0.00654	
34	0	0	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0	0.02	0.01	0.02	0.04	0.04	0	0.01	0.01	0.01	0.01792	0.01318	
35	0	0	0.01	0.04	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0.01319	
36	0.02	0.04	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0.00708	0.00999	
37	0.01	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0.005	0.0059
38	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.00542	0.00721
39	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00667	0.01341	
40	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.05	0.09	0	0.02	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01125	0.02112	
41	0	0	0.02	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00583	0.00584	
42	0.03	0.01	0.03	0.03	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01625	0.01135	
43	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01083	0.0106	
44	0	0.02	0.19	0.14	0.08	0.05	0.02	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0.02542	0.04709	
45	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0.00333	0.00482	
46	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.00375	0.00495	
47	0	0	0	0	0.02	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00375	0.00647	
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00125	0.00338	
49	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00042	0.00204	
50	0	0.2	0.01	0.04	0.01	0	0.02	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01583	0.04032	





5. Data Proses *Pressure Difference* pada ILC Preheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
661.167	698.302	735.437	586.897	549.762	512.627

Hari ke-	Jam																								xbar	s
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6		
1	78	73	70	79	74	64	65	65	64	59	60	62	73	71	72	72	71	72	71	74	74	74	74	74	725.833	48.0413
2	78	73	75	73	76	77	78	74	618	618	696	679	686	684	687	674	763	780	826	800	787	789	823	811	737.708	59.349
3	822	791	971	795	795	800	800	794	794	806	807	799	794	820	801	824	789	793	796	801	810	808	855	831	812.333	37.1327
4	827	841	838	838	836	843	843	871	842	841	739	746	699	860	736	758	774	778	662	608	549	508	506	506	743.708	122.87
5	513	518	602	636	693	630	766	785	792	731	702	697	684	691	700	737	755	733	712	808	714	684	680	615	690.75	75.5883
6	631	692	636	636	668	717	742	756	747	815	820	814	755	649	629	614	544	514	508	601	591	589	649	728	668.542	90.7831
7	801	807	802	699	553	537	526	509	507	510	495	492	494	492	490	490	491	492	491	491	484	479	477	470	543.292	107.19
8	478	428	426	469	494	495	467	500	501	516	523	521	523	523	520	523	523	747	780	795	831	821	789	807	583.333	142.514
9	802	805	800	801	800	808	807	806	804	801	795	820	819	824	826	818	826	815	810	816	816	827	816	827	812.042	100.108
10	817	823	823	817	846	817	817	808	812	832	812	813	839	820	818	809	817	810	810	821	822	811	827	813	818.917	9.43129
11	815	815	821	821	814	829	812	821	826	850	829	828	825	800	792	800	806	790	594	834	833	826	827	827	809.792	48.0462
12	826	872	838	852	829	827	839	859	830	837	838	841	859	860	860	839	839	823	828	823	819	816	836	824	838.083	15.0648
13	816	828	842	867	861	852	853	840	870	851	858	852	864	889	857	842	863	861	874	852	868	848	850	875	855.542	15.6204
14	852	862	847	860	850	850	852	861	838	857	868	837	834	821	831	851	829	841	824	835	839	830	825	835	842.875	13.3557
15	842	814	828	814	840	818	814	813	820	820	821	822	822	823	828	827	890	867	829	824	825	822	825	826	828.083	17.4054
16	812	830	855	820	825	827	826	827	839	840	826	831	819	819	819	820	846	842	846	812	843	842	843	843	831.333	12.0818
17	824	825	822	821	817	819	825	828	843	811	822	822	807	800	816	816	810	820	835	815	810	825	820	827	820	9.06019
18	842	829	829	850	838	824	843	817	811	844	840	838	829	837	831	822	815	826	819	821	82	823	821	822	798.042	152.864
19	806	810	814	800	843	821	823	823	801	822	815	843	823	822	821	815	817	818	818	833	818	812	817	823	819.083	10.4045
20	823	818	836	813	800	813	813	808	802	794	798	838	803	840	818	816	814	834	811	810	815	822	802	815	814.833	12.5583

**Data Proses *Pressure Difference* pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)**

21	842	821	822	817	817	821	849	499	834	816	803	805	818	829	593	528	601	592	510	496	498	479	481	479	685.417	155.965
22	480	442	476	465	470	483	437	729	775	816	852	852	827	821	747	488	493	490	475	481	470	480	478	465	583	161.027
23	733	833	816	522	523	505	505	501	679	689	679	525	515	762	815	851	859	821	850	850	836	837	838	837	715.875	143.037
24	817	819	821	745	615	599	713	825	826	842	828	866	839	885	840	836	860	841	861	788	811	821	781	764	801.792	71.4587
25	629	660	658	695	710	725	710	703	680	691	690	714	727	818	815	823	812	825	829	850	850	862	841	820	755.708	74.8625
26	737	742	737	731	723	723	722	720	718	726	725	722	727	691	680	675	622	613	667	672	689	687	699	696	701.833	34.3266
27	700	715	742	745	739	746	748	747	748	751	775	775	782	778	773	777	779	791	785	789	780	782	775	781	762.625	23.9906
28	784	788	788	780	751	724	746	743	750	743	741	742	741	751	750	752	756	750	760	762	752	760	761	758	755.542	15.8772
29	694	748	762	754	746	746	764	754	734	753	748	741	747	798	747	746	740	751	758	761	747	760	798	756	752.208	19.6158
30	762	762	766	768	762	662	661	658	685	702	747	747	743	751	635	603	592	565	578	590	589	584	580	504	666.5	82.4895
31	596	598	693	750	759	763	763	759	777	776	788	787	781	744	778	771	773	756	756	758	760	778	745	764	748.875	50.54
32	756	759	798	796	750	752	752	749	742	748	750	745	748	761	756	756	754	752	761	751	761	781	761	781	759.167	14.9278
33	756	750	755	761	751	747	752	771	749	749	748	747	750	749	751	743	745	747	747	744	741	729	729	722	747.208	10.0908
34	722	706	712	738	748	746	739	754	741	747	751	770	841	740	743	741	733	737	738	738	738	745	741	732	743.375	24.4359
35	734	735	736	736	741	725	771	781	771	754	748	748	749	747	750	735	702	609	605	620	636	636	693	720	715.917	53.5894
36	748	747	728	709	713	712	494	453	451	424	421	422	421	422	421	422	421	443	441	435	444	444	439	435	508.75	129.458
37	434	435	436	434	437	435	460	473	475	471	474	420	488	488	492	486	486	490	492	492	493	495	492	495	469.708	25.7166
38	490	443	444	492	492	480	475	478	484	501	500	494	488	501	498	497	494	494	494	494	494	494	494	494	487.875	15.2267
39	495	497	497	491	491	474	476	476	481	486	477	477	481	481	481	481	481	493	495	487	481	485	491	491	485.25	7.29055
40	489	487	485	485	485	483	480	484	484	482	486	489	471	493	495	504	521	527	529	531	522	530	543	543	501.167	22.6114
41	538	541	568	581	591	549	598	614	605	593	598	641	652	648	641	638	648	653	653	653	653	636	636	636	615.167	38.1025
42	669	724	727	740	763	750	728	723	729	729	731	735	741	744	748	750	750	774	775	774	775	775	775	776	746.042	25.3574
43	728	716	716	716	720	716	725	725	725	725	726	730	730	745	740	737	740	743	750	749	754	748	753	761	734.083	13.8279
44	644	648	662	564	571	599	593	592	590	588	588	588	588	581	588	588	588	585	581	580	599	593	602	599	595.792	23.2379
45	594	599	600	602	593	604	600	396	603	603	599	594	594	594	594	594	594	598	594	594	598	594	594	596	588.542	41.1645
46	598	599	597	605	602	594	597	597	597	597	596	597	576	592	591	592	592	594	594	594	593	595	590	568	593.625	7.57463
47	551	547	544	545	537	544	542	544	555	555	554	551	551	553	553	555	553	556	571	559	562	407	559	564	546.333	30.6462
48	559	550	543	540	550	539	545	533	535	534	567	534	534	534	536	534	538	536	536	538	538	538	538	538	540.292	8.46722
49	529	527	535	529	527	530	530	537	530	529	530	545	548	537	530	533	539	531	534	531	531	530	530	530	532.583	5.28259
50	529	531	539	538	555	566	568	569	564	568	565	577	575	571	570	575	576	575	576	575	575	575	577	578	565.292	15.2529
51	555	574	577	575	574	571	552	549	549	562	556	561	558	561	557	550	549	562	560	559	558	558	560	561	523.792	22.7691

**Data Proses *Pressure Difference* pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)**

52	562	560	563	562	563	542	542	532	507	507	502	501	506	508	508	508	517	521	516	508	506	511	512	507	512.458	6.71131
53	509	516	505	507	505	509	511	510	505	507	506	507	511	510	511	510	511	515	522	515	521	525	526	525	521.833	4.31042
54	526	529	517	520	517	523	526	524	522	522	521	522	522	515	515	517	516	516	527	526	525	523	526	527	516.25	4.3364
55	520	518	525	521	517	516	515	516	524	518	509	511	511	514	509	514	515	520	512	512	518	521	518	516	528.042	4.7501
56	521	524	523	521	528	522	531	527	528	528	525	524	528	530	530	535	526	525	530	538	537	527	535	530	522.458	8.02702
57	536	541	538	537	515	521	517	519	515	518	518	528	526	526	515	517	521	526	516	518	518	517	518	518	487.375	17.4874
58	520	528	506	509	501	498	444	494	480	497	490	485	478	466	481	480	479	483	483	482	481	477	477	478	481.458	3.13437
59	483	481	483	482	480	481	481	487	477	485	479	478	482	483	478	485	483	483	480	483	477	485	474	485	469.125	30.9056
60	484	481	485	484	487	478	485	481	480	476	476	476	476	402	402	402	402	488	486	486	483	486	485	488	474.542	6.63966
61	483	485	485	478	477	479	479	478	474	454	466	469	468	474	467	476	474	474	477	475	471	474	477	475	469.958	5.59875
62	473	475	471	470	472	471	469	462	467	464	462	462	464	462	469	469	469	468	475	471	481	478	475	480	467.083	16.8985
63	480	480	476	474	478	474	478	473	477	482	478	479	478	478	454	456	456	459	465	420	465	461	420	469	466.333	4.73348
64	471	473	473	471	469	472	466	456	458	460	465	465	461	465	467	468	468	470	465	467	460	463	469	470	433.583	16.4447
65	468	468	465	458	428	436	440	416	420	430	438	432	434	432	402	437	432	426	427	421	423	421	425	427	425	24.0308
66	522	429	430	427	431	469	415	421	423	418	425	418	415	415	421	413	417	417	417	419	417	406	405	410	413.167	3.05979
67	407	408	416	413	415	417	413	415	415	408	411	412	415	417	408	412	411	416	417	412	416	414	414	414	405.708	5.68353
68	411	410	415	408	411	410	403	410	408	411	412	411	408	410	397	397	401	400	395	400	403	404	401	401	408.583	11.3288
69	398	395	399	401	398	398	400	400	394	396	400	400	404	418	420	425	421	419	417	416	420	426	421	420	418.458	4.99547
70	420	421	424	423	425	424	421	418	423	423	423	425	421	420	410	413	414	415	410	413	413	412	417	415	417.917	2.43018
71	416	420	416	421	414	418	417	415	414	416	420	417	417	416	421	422	423	419	419	420	417	418	417	417	415.75	2.95252
72	419	421	413	412	412	411	413	421	416	420	419	419	417	417	414	414	412	416	416	416	416	416	414	414	418.292	3.29003
73	418	418	421	415	425	424	424	421	416	418	420	413	415	414	418	417	413	418	420	418	416	419	417	421	473.042	20.4992
74	431	427	422	438	478	485	481	477	479	478	477	475	478	480	480	480	480	489	489	489	481	489	489	481	492.875	5.47177
75	486	490	488	479	485	490	489	490	490	495	497	492	489	499	497	499	501	497	490	498	497	497	497	497	540.792	20.8847
76	497	508	554	550	554	550	546	553	549	550	550	591	561	540	526	530	580	527	527	528	527	527	527	457.833	29.5601	
77	504	480	449	454	449	404	443	427	413	413	436	448	476	495	490	492	491	491	448	446	448	444	446	501	498.416	98.699
78	244.2	502.2	580.6	559.2	523.1	505.2	511.8	525.3	534.1																498.416	98.699
79	534.9	536.8	539.9	537.3	553.5	563.4	560.9	562	562.5																550.141	12.6394
80	567.9	568.5	568.8	567.7	573.1	566.4	563.1	564.3	568.2																567.546	2.86248
81	571.4	571.9	571.8	574	571.4	549.1	546.5	546.5	564.1																562.97	12.0222
82	598.8	607.7	606.8	630.8	568.4	522.5	524.5	529.4	539.9																569.859	42.0919

Data Proses *Pressure Difference* pada ILC Preheater Exit (Lanjutan)

83	5806	5901	5895	5925	616	6174	6157	6044	6045	601.193	13.5679	
84	605.1	607	6138	598	5049	6053	665.1	6642	6659	614371	50233	
85	6634	6594	6586	6637	6668	6644	664	5732	5032	665.183	57.7463	
86	5444	5734	5922	6274	663	667.1	665.6	6684	660	629047	47.5144	
87	659.5	587.3	559.7	5494	5496	5486	5589	5327	6163	573.539	40.7012	
88	661.1	6625	661	6637	6546	647.6	665	6925	715.1	668.126	21.5789	
89	711.1	7072	7095	7133	741.5	8238	805.1	7727	7706	750.519	44.4706	
90	749	7729	7778	7699	765.6	7627	757.6	709	7114	755.737	26.5716	
91	761.7	7592	7588	7687	780	785.1	714.1	6664	557.1	726.79	75.1398	
92	6028	6214	5844	537.7	531.1	633.6	7334	7027	6625	623.264	68.7797	
93	665.5	6629	5799	5794	5973	5219	491.3	491	495.1	563.802	67.9426	
94	501.6	5193	5353	5686	6688	7287	731	7303	7429	666.274	108.313	
95	771.4	7685	767.6	765.1	784.1	8107	8197	7964	7952	786.524	20.0981	
96	793.8	714	7195	7304	7082	6442	6474	6714	725.8	706.066	46.6222	
97	7492	6329	689	6894	643.7	5993	6952	7194	7443	684.712	50.8911	
98	7666	7754	778	7772	7782	7797	7797	7824	7782	777.264	44.3762	
99	779	776	7739	7807	743.9	722.1	715.2	7359	7396	751.798	25.8092	
100	7422	745	7083	7138	709.1	6374	673.1	6964	7672	710.267	39.315	
										CL	624082	37.135

6. Data Proses Temperatur Material pada SLC Stage IV

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
884.7	897.4	910.2	859.17	846	833.7

Hari ke-	Jam																								xbar	s
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6		
1	875	856	832	836	849	853	865	870	866	853	843	846	849	845	860	845	840	840	850	840	840	851	850	845	849.96	10.88
2	840	847	861	840	840	854	874	861	875	873	840	857	858	861	864	871	853	846	858	934	877	875	864	857	861.67	19.5
3	887	849	891	875	875	860	865	866	866	845	850	852	877	868	851	861	904	858	857	885	876	858	858	872	866.92	14.77
4	870	905	840	891	844	450	847	845	836	845	848	839	869	834	832	857	862	836	835	847	861	852	836	847	834.5	83.86
5	836	847	852	852	856	850	848	865	856	838	863	890	870	906	898	852	870	868	858	861	848	859	843	850	859.83	17.44
6	840	840	840	865	841	851	851	856	850	862	830	833	830	825	835	832	832	841	855	858	860	848	846	850	844.63	11.37
7	856	830	848	840	830	859	857	858	850	855	854	854	835	845	852	857	843	847	850	846	875	841	839	844	848.54	10.17
8	830	873	865	876	843	852	848	843	860	854	884	870	858	863	880	862	856	887	898	886	883	875	875	862	865.96	16.5
9	863	864	849	858	849	859	860	857	849	849	860	863	854	846	861	864	862	883	887	891	884	891	881	860	864.33	14.04
10	875	876	867	894	882	872	863	872	857	865	867	904	875	897	907	889	905	888	891	881	901	881	865	888	881.75	14.62
11	877	869	876	863	890	903	937	877	835	873	878	873	866	871	896	849	866	914	875	862	916	863	890	891	879.58	22.31
12	845	850	889	887	902	902	911	879	907	865	878	901	874	887	868	889	859	888	882	890	868	894	860	875	881.25	17.73
13	854	880	873	859	860	865	904	902	885	899	904	901	859	912	857	899	933	914	894	900	859	877	865	874	884.54	22.25
14	864	875	913	868	870	869	873	900	892	864	880	932	865	882	863	887	916	854	873	901	882	865	856	890	880.58	20.02
15	873	884	864	886	878	914	897	909	899	866	886	899	898	880	881	887	840	852	875	877	875	868	875	877	880.83	16.91
16	869	880	864	875	880	878	859	875	850	866	889	867	889	875	867	845	858	890	881	863	861	865	881	871	870.75	11.81
17	855	871	861	854	856	847	861	880	875	849	865	864	905	846	850	857	876	909	855	873	855	861	860	856	864.21	16.09
18	899	887	910	863	908	862	857	860	868	852	869	808	870	880	912	842	856	884	846	851	855	861	845	842	866.13	24.73
19	848	866	903	846	851	873	856	859	848	862	888	901	873	856	847	873	875	877	883	869	866	945	948	885	874.92	27.22
20	916	885	883	855	888	865	878	899	858	839	847	864	852	864	867	881	904	904	878	890	896	870	860	880	875.96	19.73



**Data Proses Temperatur Material pada SLC Stage IV (Lanjutan)**

21	908	887	881	874	881	886	885	886	889	880	860	861	895	860	894	873	844	861	847	859	861	850	848	863	872.21	17.43
22	911	863	873	870	931	830	921	890	874	865	899	891	865	865	880	850	862	880	841	880	835	846	858	866	872.75	25.38
23	948	856	861	854	827	890	877	842	874	865	866	870	835	863	892	861	874	876	855	865	860	858	860	881	867.08	22.99
24	865	863	884	890	883	877	861	863	854	858	856	872	884	855	878	864	931	876	921	888	887	888	868	875	876.71	19.09
25	876	861	858	866	872	881	884	892	900	849	865	876	865	876	887	872	891	899	909	917	870	886	882	870	879.33	16.36
26	868	870	868	875	888	898	889	897	891	885	878	866	870	865	866	881	875	845	868	893	870	868	848	851	873.88	14.46
27	820	892	902	866	898	903	876	865	863	865	867	863	864	877	871	855	850	856	864	838	861	863	857	853	866.21	19
28	867	857	861	872	862	864	866	868	866	860	865	871	881	863	868	871	854	858	861	863	861	867	858	855	864.13	6.117
29	877	873	886	865	861	872	859	864	874	870	878	880	882	883	884	892	891	880	878	864	867	869	870	875	874.75	9.061
30	873	868	871	859	864	868	871	881	825	879	863	866	865	867	864	864	870	885	860	859	864	871	868	862	866.13	10.96
31	863	854	871	878	866	875	864	866	865	874	872	875	860	875	875	871	874	878	862	869	873	876	876	876	870.33	6.404
32	874	873	878	880	877	871	882	886	886	887	887	884	887	880	883	861	870	877	878	875	871	888	880	878	878.88	6.739
33	870	874	875	878	875	883	877	873	879	883	880	883	825	871	879	881	886	887	885	881	885	865	875	890	876.67	12.52
34	890	878	887	884	865	869	884	874	868	866	861	871	866	864	871	869	859	868	868	864	864	873	875	883	871.71	8.539
35	869	871	878	878	881	881	868	867	871	866	868	877	867	878	873	871	876	881	869	821	860	860	863	889	870.13	12.69
36	886	900	877	868	879	870	850	854	844	850	873	868	878	873	871	871	871	868	863	866	864	861	871	878	868.92	12.04
37	871	894	870	877	879	882	865	869	862	865	857	852	858	894	877	875	868	852	858	862	858	866	869	865	868.54	11.28
38	865	855	863	866	859	852	844	852	850	858	865	862	863	865	866	862	856	853	853	860	860	862	861	862	858.92	5.83
39	850	866	867	873	882	876	865	854	849	855	863	865	862	861	865	868	868	868	873	879	865	877	873	870	866.42	8.551
40	861	865	877	880	871	865	869	859	860	866	866	872	886	872	873	866	854	864	859	874	869	870	861	862	867.54	7.384
41	873	875	878	872	878	887	828	868	871	884	862	864	861	869	865	863	861	864	871	868	855	896	891	891	870.63	14.1
42	880	875	880	886	877	883	868	869	878	883	884	893	897	888	882	884	885	886	878	893	881	885	886	891	883	6.966
43	870	910	910	900	876	876	876	878	881	891	880	884	882	871	875	892	887	892	893	894	875	890	875	907	886.04	11.99
44	890	887	874	850	853	868	882	881	869	879	893	898	878	881	891	882	885	878	880	877	883	879	889	897	880.17	11.66
45	899	861	865	872	885	886	874	872	858	902	902	894	897	898	897	898	891	878	890	889	878	883	884	891	885.17	12.96
46	888	888	891	859	870	890	891	888	875	861	882	881	883	886	887	886	887	884	879	878	880	886	899	877	882.33	9.187
47	867	879	879	876	881	856	868	866	878	882	880	869	881	876	892	887	895	871	888	870	887	881	871	876	877.33	9.063
48	872	861	885	878	880	888	881	885	875	868	873	861	870	856	865	860	855	882	881	885	884	885	854	887	873.79	11.27
49	937	879	885	875	863	875	888	863	869	875	889	872	871	888	878	888	894	870	885	865	868	871	865	865	878.25	15.63
50	900	880	878	876	869	870	859	863	872	870	863	870	891	898	895	888	962	891	897	898	871	881	885	878	883.54	20.77
51	870	867	871	872	874	882	863	868	877	865	877	885	890	878	883	881	865	865	865	856	870	881	864	872	872.54	8.356

**Data Proses Temperatur Material pada SLC Stage IV (Lanjutan)**

52	872	891	897	897	892	892	885	869	864	865	878	883	875	859	886	877	869	871	880	873	875	882	881	880	878.88	10.33
53	880	881	894	893	878	868	877	871	891	880	867	881	876	880	882	883	884	880	884	828	881	891	878	884	878.83	12.8
54	886	856	900	910	889	883	873	859	870	859	865	865	865	860	868	867	868	868	887	885	880	890	882	870	875.21	13.89
55	844	858	893	901	913	884	881	893	890	859	933	902	879	891	879	876	882	867	890	911	882	889	882	883	885.92	18.8
56	880	890	881	875	878	877	890	881	899	888	902	892	899	902	900	907	902	889	881	870	874	903	858	917	888.96	13.87
57	857	877	881	897	880	878	859	865	869	859	869	888	884	880	882	845	890	888	881	883	884	880	876	881	876.38	12.13
58	885	899	877	885	886	887	850	854	881	924	928	901	888	895	890	891	901	878	877	880	881	877	881	882	886.58	17.07
59	886	883	887	881	890	891	874	889	887	871	865	866	880	893	901	899	886	897	887	883	898	919	896	885	887.25	11.8
60	870	890	875	892	889	900	889	876	878	883	880	880	883	884	883	885	884	879	875	869	878	864	869	861	879.83	9.145
61	880	902	888	907	893	877	878	879	884	869	866	883	887	857	872	889	909	875	887	881	878	884	881	880	882.75	11.94
62	880	884	899	897	910	875	880	897	905	911	895	892	891	893	895	914	974	910	890	888	878	875	873	870	894.83	21.17
63	874	883	901	899	888	887	885	902	875	890	910	891	888	898	885	886	885	884	881	878	866	873	875	884	886.17	10.39
64	891	883	877	886	900	889	819	889	885	889	881	878	871	877	881	871	872	887	875	876	888	884	877	873	879.13	14.77
65	871	873	879	881	871	865	880	865	910	871	858	877	883	887	883	869	872	889	853	864	884	881	865	867	874.92	11.88
66	874	884	877	875	873	873	867	902	901	890	870	866	911	875	862	892	855	859	870	872	872	860	868	872	875.83	14.16
67	875	873	859	859	873	868	868	873	871	877	859	868	875	884	904	888	875	880	891	885	881	883	884	885	876.58	10.71
68	877	891	868	880	878	898	871	880	877	878	881	869	875	874	873	898	867	883	863	876	864	851	877	856	875.21	11.16
69	923	880	927	900	865	888	860	874	876	843	871	877	875	869	873	860	872	883	869	867	864	864	876	865	875.88	18.6
70	879	888	881	881	872	884	872	907	900	916	862	855	867	882	862	856	865	861	862	878	851	863	864	868	874	16.47
71	875	856	862	882	862	865	865	890	880	895	861	852	869	853	857	872	859	869	869	869	871	881	885	881	870	11.66
72	863	855	875	886	867	856	880	863	872	873	864	860	873	870	904	913	928	889	889	885	886	890	875	875	878.79	17.73
73	875	865	857	880	868	872	861	869	874	840	865	864	858	866	868	867	888	881	865	875	888	902	859	860	869.46	12.54
74	847	866	860	871	892	888	865	865	871	865	866	880	877	880	871	878	878	878	861	877	881	881	885	860	872.63	10.47
75	865	875	878	871	875	877	866	875	875	877	859	869	859	857	869	871	854	863	868	867	870	878	894	890	870.92	9.454
76	886	855	857	880	863	847	864	857	853	866	878	880	878	880	861	859	865	860	871	888	878	881	891	870	869.5	12.23
77	873	894	865	848	838	836	843	922	833	845	869	871	875	865	879	870	867	856	870	866	870	883	876	904	867.42	21.12

**Data Proses Temperatur Material pada SLC Stage IV (Lanjutan)**

78	829	905	879	877.6	874.97	872	879	891	883.9	876.79	20.59	
79	886	877	863	867.1	868.8	865	870.4	863	872.8	870.37	7.604	
80	861	868	863	873.5	867.77	866.4	862	864.6	865.8	865.82	3.805	
81	869	871	863	865.7	857.48	849.1	848.4	859.4	861	860.34	7.817	
82	862	866	865	869.6	868.49	879.7	874.7	866.1	863.9	868.4	5.604	
83	866	866	865	864.8	861.28	865	866	871.1	869.5	866.03	2.808	
84	870	871	866	866.9	866.89	877.2	872.4	867.7	868.8	869.61	3.576	
85	870	870	870	870.1	869.73	870	869.9	865.9	861.6	868.55	2.933	
86	878	874	873	872.9	871.66	873.3	874.2	874	862.8	872.62	4.015	
87	857	860	862	869.1	873.52	873.2	871.9	867.7	870.9	867.27	6.104	
88	874	874	874	874.1	873.62	873.7	874.2	874.4	873.7	874.03	0.281	
89	874	878	877	875.3	871.96	869.3	863.8	859.6	861.4	870.11	6.96	
90	863	858	856	857	860.88	863.4	864.9	866.6	868.2	861.94	4.356	
91	873	871	870	865.4	867.88	856.2	859.3	872.7	865.4	866.76	5.872	
92	864	864	862	859.8	860.02	861.7	859.5	857.3	855.1	860.49	3.091	
93	854	852	862	862	853.82	864.1	871.5	875	879.5	863.75	9.785	
94	877	880	868	865.8	863.75	865.6	864.1	861	864.2	867.78	6.45	
95	865	864	859	863.3	866.71	869.2	866.2	865.5	867.2	865.11	2.952	
96	865	862	864	864.4	867.86	860	860.4	865	861.9	863.45	2.569	
97	871	857	861	862.2	863.95	860.9	869	866.2	871.1	864.71	4.888	
98	869	865	865	865.5	870.02	869.7	866.3	859.6	866.4	866.26	3.153	
99	859	864	871	868.5	865.5	862	863.7	866.5	868.2	865.37	3.721	
100	865	866	857	862.3	862.33	862.9	863.5	867.6	864.2	863.49	2.937	
										CL	871.92	12.75

7. Data Proses Temperatur Gas pada SLC Preheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
405.792	411.497	417.201	394.383	388.679	382.974

Date	Jan																								x̄	s
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6		
1	416	415	417	418	419	411	412	415	419	419	420	415	412	412	413	414	414	413	413	412	414	416	417	417	413.488	352604
2	414	420	424	418	415	414	416	418	424	428	418	412	419	421	422	419	419	414	415	417	414	412	410	413	4165	501318
3	418	415	415	413	413	419	419	417	417	417	417	417	414	416	417	420	419	416	418	416	416	411	416	413	416208	222592
4	415	425	422	422	423	423	425	425	418	415	417	432	448	416	428	428	419	426	418	430	430	429	433	436	441.792	867244
5	426	430	420	430	428	433	437	422	416	430	438	441	438	439	436	432	427	411	422	426	426	424	424	425	425875	969676
6	419	430	420	423	411	420	421	425	424	413	411	426	420	419	414	428	412	411	417	419	428	411	417	419	413667	736423
7	425	426	426	412	419	411	416	413	411	412	411	411	428	419	412	412	412	410	419	417	418	428	419	419	41025	302526
8	427	419	425	424	393	401	425	427	426	426	427	424	424	424	427	423	423	416	413	418	413	418	414	417	427667	60964
9	418	415	419	426	427	425	421	399	395	395	399	422	422	399	426	425	423	423	423	421	395	396	421	421	42275	571991
10	421	424	423	424	424	422	419	422	397	424	424	422	423	424	428	427	422	420	420	420	399	420	426	420	424375	87283
11	394	420	422	421	424	423	424	427	426	421	421	421	421	427	420	421	420	420	429	427	427	427	425	425	424222	39953
12	423	428	416	416	417	415	413	428	411	429	411	424	415	424	411	413	412	410	412	428	412	428	426	424	411083	37686
13	424	427	410	410	410	411	426	427	423	418	420	420	418	420	420	419	418	417	416	424	416	415	417	415	416222	55908
14	413	424	412	416	412	417	412	411	416	416	412	413	410	416	419	410	416	412	411	410	412	412	410	410	412583	241223
15	410	428	413	424	412	424	411	413	410	429	429	410	412	413	424	424	422	399	415	416	416	416	415	416	411708	424755
16	416	415	412	424	424	416	412	416	412	411	413	413	411	411	411	411	410	410	410	410	419	410	410	410	412375	251625
17	411	411	410	428	428	410	429	429	428	428	411	411	411	424	426	429	421	424	416	413	429	410	428	411	429417	30634
18	419	418	417	416	417	416	415	418	412	413	413	415	416	418	416	410	410	410	420	421	420	395	395	420	410833	78261
19	422	417	415	417	425	429	424	428	411	416	415	424	412	415	424	412	413	413	415	412	417	417	417	424	429333	82678
20	418	418	416	411	413	411	413	416	411	412	423	423	417	418	416	420	422	424	422	426	425	422	421	423	418375	47829

**Data Proses Temperatur Gas pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)**

21	423	424	421	422	422	422	421	421	418	421	417	418	414	417	432	422	418	424	436	436	425	428	429	429	423.333	5.77601
22	433	410	428	435	432	428	425	424	425	415	410	410	406	406	416	416	425	427	426	428	427	428	425	422	421.958	8.6098
23	417	404	411	425	421	427	427	419	414	423	422	431	436	410	411	410	409	409	407	400	398	400	400	400	413.792	10.9305
24	407	408	410	428	417	434	405	400	405	405	406	409	407	400	408	409	849	847	397	398	398	397	407	407	444.083	124.712
25	404	408	404	389	394	400	415	416	410	401	412	405	401	410	413	406	416	416	411	413	403	411	407	402	406.958	7.01848
26	388	392	385	395	395	394	387	392	393	394	392	393	390	392	390	396	402	388	397	402	401	395	391	392	393.167	4.38046
27	392	416	404	395	405	402	396	395	392	393	396	395	395	398	398	387	390	388	388	389	390	391	389	390	394.75	6.71306
28	391	387	388	390	391	394	390	393	385	382	392	392	392	392	393	398	390	391	392	392	390	391	391	390	390.708	3.07131
29	385	386	383	382	391	390	399	379	384	385	387	388	381	381	381	490	408	387	386	381	391	391	392	393	391.708	2.19178
30	392	387	388	391	389	390	388	389	385	385	381	383	384	384	390	384	392	400	390	392	396	397	395	391	389.292	4.7501
31	395	398	397	395	394	391	392	390	390	390	390	390	387	391	388	393	392	392	387	391	390	391	391	392	391.542	2.75016
32	391	390	390	394	393	392	395	395	396	395	391	392	397	391	394	385	394	383	388	381	388	388	381	388	390.5	4.53968
33	389	391	393	393	394	392	394	392	392	394	392	394	395	395	394	395	396	395	395	392	392	394	391	404	393.667	2.76101
34	404	399	404	400	393	394	396	391	393	392	393	392	393	393	392	391	390	394	396	394	394	396	396	396	394.833	3.70272
35	389	395	396	396	396	390	392	391	391	388	393	396	395	396	394	393	393	394	389	390	389	389	389	394	392.417	2.79622
36	398	393	390	388	398	387	389	393	397	390	403	403	401	401	402	399	399	398	390	388	386	386	385	383	393.625	6.4391
37	383	388	384	386	385	384	373	370	372	375	370	368	373	386	381	381	377	370	373	376	371	376	376	377	377.292	6.09689
38	373	357	374	374	374	358	367	371	367	372	372	373	373	371	371	371	369	369	369	369	369	369	369	369	369.583	4.28259
39	366	376	377	375	378	376	370	367	367	369	376	376	371	376	372	371	371	375	406	380	406	379	380	377	376.542	9.95634
40	471	328	377	377	375	373	371	368	370	369	371	372	379	367	369	368	356	369	367	379	377	380	371	377	374.208	23.0915
41	384	383	385	381	382	384	381	374	371	377	373	370	370	373	373	369	368	369	399	369	369	383	383	381	377.125	7.67442
42	373	381	393	388	386	381	376	379	381	381	380	380	379	380	379	381	382	380	381	381	381	382	381	382	381.167	3.76097
43	384	385	389	387	381	380	381	381	382	382	379	382	374	377	377	381	381	380	380	383	376	370	377	377	380.25	4.08869
44	381	380	376	376	370	370	384	379	382	378	381	388	381	381	381	381	381	382	386	385	387	388	389	390	381.542	5.2335
45	390	383	382	388	393	389	390	384	379	393	393	392	392	392	392	392	392	391	391	390	391	388	390	391	389.5	3.77636
46	394	394	392	385	388	391	389	389	377	375	383	387	388	388	381	382	381	384	381	380	379	384	389	388	385.375	5.1904
47	386	389	389	386	387	381	381	383	388	385	388	382	385	388	390	389	390	387	390	384	392	397	387	388	387.167	3.60756
48	389	390	392	392	392	392	391	390	390	384	387	385	392	392	392	384	388	392	393	391	393	394	398	398	390.875	3.54244
49	404	380	396	392	391	393	394	390	391	392	395	398	396	398	399	400	400	400	400	400	400	392	398	395	395.583	5.02962
50	406	396	391	390	368	385	383	382	384	386	389	390	393	392	393	393	384	379	370	394	394	395	392	392	388.375	8.22939
51	387	384	382	381	387	386	382	383	384	383	388	389	386	384	385	388	384	384	382	380	385	390	387	385	384.833	2.58199

Data Proses Temperatur Gas pada SLC Preheater Exit

52	38	35	36	35	36	39	39	36	32	35	31	37	30	39	32	30	38	30	31	31	38	31	32	30	390488	341326
53	39	39	32	38	38	35	39	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	35	38	39	39	39	39	392417	448104
54	39	30	45	46	48	43	38	37	32	37	34	35	34	34	38	39	32	39	45	47	43	45	43	37	396417	826684
55	40	41	44	42	45	41	39	39	35	39	47	47	43	44	43	44	43	42	42	45	38	34	38	40	401125	394872
56	36	37	36	38	38	40	39	40	39	36	38	37	44	45	45	45	43	36	35	32	39	42	35	45	3875	467417
57	37	41	41	44	44	41	39	35	38	37	42	46	41	41	45	42	42	44	41	42	41	40	40	40	400792	302136
58	45	49	39	48	45	48	35	40	44	40	48	42	41	45	44	43	42	40	40	40	41	39	39	39	43167	768374
59	38	43	45	46	43	47	40	44	37	40	38	40	38	37	38	39	40	37	39	40	42	47	44	39	400875	323449
60	36	44	37	43	39	40	40	35	34	37	36	36	36	39	39	39	39	38	34	32	37	34	32	39	396625	344916
61	35	40	37	42	36	35	38	38	32	37	30	38	38	37	38	35	42	40	35	39	36	37	35	34	395167	412486
62	35	38	40	40	39	30	35	34	38	40	40	40	40	40	42	42	42	40	38	35	35	32	32	30	397375	375109
63	30	38	40	40	36	38	38	41	38	32	39	39	38	38	34	34	34	35	35	36	35	34	35	36	395988	280495
64	37	35	37	40	44	39	44	43	42	41	41	30	39	38	39	40	44	40	35	39	39	40	40	399542	500081	
65	40	38	40	39	40	41	44	39	47	39	34	38	43	45	47	39	40	43	39	38	45	44	41	38	400542	378761
66	42	43	47	45	46	49	42	45	43	42	30	32	44	39	38	47	39	38	39	38	38	36	36	41	402542	11252
67	41	39	38	39	36	39	40	40	41	42	43	45	47	47	48	45	41	46	45	41	46	48	48	48	43042	372394
68	46	40	49	48	40	42	44	41	40	48	45	48	40	41	42	46	32	48	44	44	37	35	41	41	405083	556321
69	46	45	42	40	39	39	38	39	42	40	40	40	41	39	40	38	42	42	40	38	39	40	41	39	401625	463271
70	42	46	46	42	41	44	41	45	45	42	43	32	38	47	45	39	45	44	42	47	47	46	43	45	43208	342598
71	46	39	36	45	34	34	38	42	41	45	35	32	38	39	37	36	38	38	41	41	41	41	41	41	398222	445733
72	38	34	46	46	40	35	45	39	39	40	40	39	39	39	43	47	47	41	42	43	44	44	41	40	401292	349808
73	41	40	39	45	40	42	38	39	39	40	35	35	39	39	39	40	40	43	30	40	46	47	38	36	39925	401356
74	37	35	38	41	38	39	39	30	38	30	39	38	30	39	39	30	39	30	30	30	39	39	32	35	391208	347637
75	35	34	35	37	38	38	35	34	32	32	39	37	32	35	36	37	34	37	37	37	37	39	41	41	3875	714599
76	41	34	39	38	34	34	34	40	39	40	38	34	38	35	37	30	34	39	38	39	35	32	38	39	395625	326798
77	374	42	49	44	42	41	41	44	48	40	47	38	38	37	36	35	38	37	36	35	36	36	37	34	392042	175338
																								CL	400088	921588

8. Data Proses %O2 pada SLC Preheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
5.70557	6.47427	7.24297	4.16816	3.39946	2.63075

Hari ke-	Jam																								xbar	s
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6		
1	72	32	33	33	37	41	58	61	7	41	34	36	37	36	36	36	34	4	4	43	6	61	81	81	472083	1.61137
2	47	42	72	72	83	74	84	8	78	97	89	66	9	8	81	71	6	61	62	74	84	83	84	66	741667	1.32129
3	77	61	62	67	61	61	61	61	51	7	7	66	85	87	58	77	74	76	64	64	77	44	72	46	663333	1.08694
4	43	83	61	61	01	01	4	4	61	6	6	49	66	61	77	52	73	71	61	8	4	87	7	8	574167	2.21201
5	72	3	61	42	58	67	5	5	61	1	7	63	97	8	55	58	67	61	51	25	61	82	81	85	59875	1.97116
6	72	62	66	72	69	65	78	65	55	8	77	62	84	71	62	84	74	59	61	65	55	57	43	62	666667	0.99156
7	53	54	54	7	53	47	63	67	78	66	78	78	86	81	71	72	76	8	76	76	65	75	75	6	689167	1.06767
8	59	56	57	52	67	58	45	45	61	45	36	4	44	4	42	37	32	37	37	7	36	69	71	76	505	1.33742
9	31	38	41	61	39	41	44	31	85	31	43	47	36	35	33	39	36	41	36	31	32	31	32	31	39375	1.19339
10	39	4	39	37	37	38	38	34	33	34	3	53	55	56	41	56	41	38	32	35	35	41	61	45	411667	0.86208
11	54	4	36	38	35	33	4	36	36	42	42	4	41	41	51	53	34	29	31	56	34	71	51	39	417917	0.96863
12	44	36	32	32	29	29	33	37	32	36	32	34	33	35	31	29	25	29	27	36	37	3	33	33	326667	0.39746
13	31	36	29	21	27	34	28	38	46	47	44	49	38	41	36	39	33	42	42	39	35	29	33	31	361667	0.69699
14	4	33	37	37	34	36	32	37	41	37	44	36	37	33	39	41	35	51	54	53	44	57	41	47	406667	0.7069
15	36	35	3	32	29	28	21	29	34	35	33	37	38	34	27	27	31	38	28	29	24	31	32	33	312917	0.43186
16	3	35	36	35	35	31	32	33	38	53	44	43	43	47	43	42	42	41	42	5	51	57	51	51	41875	0.76061
17	45	5	4	41	39	5	47	49	51	55	52	52	5	67	64	53	66	45	45	59	6	59	6	5	520417	0.78932
18	62	72	72	49	46	7	5	65	48	52	48	51	5	52	51	5	45	46	36	46	41	42	41	38	509583	1.01574
19	62	61	46	75	7	63	5	59	55	48	49	51	55	48	57	49	56	44	55	57	48	53	51	6	550833	0.75349
20	57	61	47	64	4	41	1	56	52	6	52	65	67	69	59	57	8	64	66	66	6	6	64	61	574167	1.33674

**Data Proses %O2 pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)**

21	6	7	6.5	6.1	6.1	5.3	6.1	6.2	5.3	6.4	5.7	4	4.7	5.5	6.6	6.6	4.6	8	7.8	7.1	7.1	7.1	4.6	4.7	6.04583	1.05582	
22	5	4.6	6.2	6.2	6	8	6.3	7	5.4	5.1	5.1	5.2	5.7	5.4	4.8	5.1	6.3	6.1	7.1	8	8.5	8	7.1	6.1	6.17917	1.13175	
23	6.4	6.1	5.1	5.1	9.7	6.9	7.9	9.9	4.3	6.5	4.7	6.5	7.1	4.5	4.4	6	4.7	5.6	5.6	7	4.1	4.2	3.8	3.7	5.825	1.6871	
24	5	5.1	6.2	6.7	7.1	8	4.9	7	7	6	8	4.6	6.6	6.7	5.1	4	4.4	4.1	5.2	8.8	8.7	9.8	8.7	5.3	6.375	1.6572	
25	4.4	4	4.7	5.4	4	4.3	4	3.4	4.9	4.3	4.4	4.2	4.1	4.7	4.2	5.7	4.7	4.6	4.7	4.8	4	5	5	4.6	4.50417	0.50345	
26	5	3.8	3.6	4.9	3.9	4.4	4	4.3	4.1	4.1	4	4.6	4.5	4.1	4.3	5.3	3.7	4	4	3.9	3.8	4	3.7	3.7	4.15417	0.43935	
27	3.8	4.2	4.3	4.1	3.9	4.5	4.1	3.8	4.5	4.9	4.1	4.2	4.3	4	4.1	4.1	4.3	4.2	4.1	4	4.1	4.2	4	3.8	4.15	0.24672	
28	4.1	4.3	5.2	5.5	5	4.4	5.8	4.7	4.4	4.5	4.1	4.2	4.3	4.2	4.1	4.1	4.1	4	4.2	4.3	3.7	3.6	3.9	3.4	4.3375	0.564	
29	3.5	4.4	3.7	3.3	3.4	3.6	3.7	3.7	4	4.4	4.6	4.7	4.3	4.4	4.5	4.4	7.4	5.9	6.1	6.5	5.5	5.7	4.3	6.2	4.675	1.10974	
30	4.6	4.5	4.2	4	3.9	3.8	3.7	3.6	4.5	3.8	3.4	3.7	3.4	4.4	4.8	3.5	3.8	3.9	4.6	3.9	3.7	3.6	3.5	3.5	3.92917	0.42475	
31	3.3	3.3	3.4	3.2	3	5	3.7	3.5	3.2	3.5	3.8	3.8	4	3.9	4.1	3.9	4.3	3.6	3.6	3.1	3.2	3.1	3.4	3.1	3.58333	0.46594	
32	4	3.5	3.9	4.2	4.8	4.7	4.1	4.1	4	3.7	3.8	3.5	3.6	3.1	3.9	3.5	3.5	3.7	3.7	3.6	3.6	4.2	4.1	4	3.86667	0.38636	
33	3.7	4.7	4	3.9	4.2	4	3.8	4.1	4.1	4.5	4.5	4.1	3.8	4	4.1	4.2	4.2	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	4.0125	0.27396	
34	4.4	4.2	3.6	3.6	3.7	4	3.1	3.8	3.8	4.4	4	3.5	3.4	3.7	3.7	3.5	4.9	4	4.6	4.4	4.4	4.4	4.8	3.5	3.975	0.47663	
35	4.1	3.4	4.1	4.4	5.4	5.8	6	6.8	6.6	6.8	6	6	6.1	5.7	5.7	5.6	5.6	4.8	3.8	4.1	4	5.8	5.7	5.6	5.32917	0.9884	
36	3.7	3.8	4.5	4.9	4.8	4.7	4	3.6	4.7	3.7	3.8	3.2	2.8	4.8	4.2	5.3	4.1	4.9	5.4	5	5.8	4.6	4.4	5.5	4.425	0.75195	
37	4.5	5.3	4.9	4.6	5.2	5.6	5.8	5.3	6.2	3.7	5	5.5	5.7	5.9	4.1	4.4	4.1	6.1	6.1	6.2	6.1	6.2	6.1	6.1	5.41739	0.75115	
38	4.5	4.8	4.8	4.4	4	4.1	4.5	4.7	5.6	4.9	4.5	4.5	4.4	4.2	4.3	4.2	4.1	3.3	4.4	4.9	4.9	3.4	4.9	5.8	4.50417	0.56065	
39	6	3.7	4.1	3.9	4.3	4.5	4.7	7.2	4.4	4.2	4.3	3.8	3.5	3.9	5.4	5.7	6	6.5	5.9	6.7	4.8	4.7	6.9	7.7	5.11667	1.23488	
40	4	4.1	4.5	5.4	5.1	5	4.8	4.5	5.5	5.3	6.5	4.2	6.8	4.4	5.7	7.2	5.7	5.1	6.1	5.3	5.3	6.2	6.1	6.1	5.37083	0.863	
41	5.9	5.7	4.8	4.5	3.7	4.1	4.2	4.1	4.1	3.3	4.1	3.3	3.7	3.5	3.8	3.9	4.1	3.9	3.9	3.8	3.1	3.8	3.1	3.2	3.98333	0.70072	
42	4	4.3	4.2	4.1	5.1	5.4	5.2	5.2	5.1	5.1	4.1	3.8	4.2	4.2	3.7	3.4	3.7	4.1	3.6	4.3	4.1	4.2	4.4	3.9	4.30833	0.57021	
43	4.3	3.7	3.5	5.7	5.3	4.6	4.7	4.9	5.5	4.5	4	4.1	5.1	5.1	6.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.1	4	3.9	4.50417	0.66364
44	3.7	4.6	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.9	4.7	4	3.5	3.95	3.95	3.93	3.94	3.95	3.96	3.6	3.8	3.9	4.1	4.8	3.3	3.4	4.0325	0.40872	
45	3.6	4	4.7	6.1	4.6	4.5	3.8	4.2	5	5	4.1	4.2	4.1	4.9	4.7	4.8	4.2	4.6	4.3	4.9	4.7	4.4	4.3	4.8	4.52083	0.50732	
46	5.4	4.8	4.7	5	4.7	6	5.2	5.5	4.7	5	4.9	5.4	4.6	5.1	4.4	4.4	4.4	5.1	4.8	5.6	4.4	4.7	5	5.2	4.95833	0.41902	
47	5	4.9	4.7	6	5.7	5.8	5.1	5.9	5.8	5.6	7	7.1	7.3	7.5	6	4.9	4	6.1	6.2	6.1	6.2	5.7	5.8	6.1	5.85417	0.83769	
48	7	5.9	7	5.6	6.4	4.9	6.8	5.4	5.5	7.6	7	4.6	5	4.7	4.8	5.1	6	6.7	6.1	5.1	5.4	7.5	7.6	6.1	5.99167	0.97219	
49	6	6.8	5	4.4	5.8	5.3	6.3	5.7	7.6	4.9	4.9	5.1	4.7	5.4	6.5	4.4	4.5	7.2	7.1	7.6	8.1	7.1	6.1	6.1	5.94167	1.11469	
50	6.6	5.3	5.2	7.9	7	8.1	7.7	5.7	8.4	7.5	7.4	7.1	6.1	6.7	6.5	6.9	6	5	5.7	4.7	6.1	5	5.2	5.2	6.375	1.10188	



**Data Proses %O2 pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)**

51	43	61	74	72	44	48	41	42	75	84	68	5	49	39	44	5	73	52	41	57	46	73	45	75	5.60833	1.42155
52	47	38	38	3.7	3.1	46	46	42	5	52	5.3	5.3	62	5.7	48	5.7	5.8	4.7	42	3.5	42	43	41	39	46	0.80325
53	48	48	4	44	46	48	43	45	3.5	3.9	6.9	6.9	3.7	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.5	3.9	3.8	41	48	5.4	44	0.91462
54	52	48	3.1	3.1	4	41	48	5.3	4.2	4.4	4.1	5.3	6.1	4.6	4.2	4.7	4.8	4.7	3.9	3.1	3	3	3.5	4	4.25	0.83249
55	3.8	3.8	3.9	3.7	3.7	4.1	4.3	4.4	4.1	5.7	3.1	3.5	3.6	4	3.5	3.4	3.2	3.8	3.2	3.7	3.6	3.1	3.4	3.4	3.75	0.54613
56	3.2	3.4	4.1	3.9	4.2	4.3	4.2	4.1	4.2	4.1	3.3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.6	4.3	4	4.3	4.3	3.9	6	3.6	3.95417	0.55949
57	5.1	4.4	3.9	3.8	5	48	4.5	4.7	4.8	4.4	4.5	4.6	4.3	4.3	4.2	4.1	4	4.5	4.2	4.3	4.4	4.7	4.1	3.2	4.34783	0.40996
58	4.2	3.8	4.3	3	3.2	5	3.7	4.6	4.1	3.5	3.9	4	4.1	4.8	4.3	4.2	4.2	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.5	4.20833	0.49862
59	4.5	4.3	4.4	4.4	4.1	4.9	5.2	3.7	4.5	4.1	5.9	4.2	4.1	4.5	4.1	4.5	4.5	3.5	4.4	4.7	4.1	4.1	4.7	4.4	4.40833	0.47815
60	4.9	4.6	5.1	4.6	4.5	4.3	4.6	5.3	5.3	4.7	4.5	4.5	4.4	4.1	4.2	4.1	4.2	4.6	4.8	5	5	5.7	5.4	5.6	4.75	0.46532
61	4.6	4.5	4.5	6.5	5.5	5.4	5.4	5.2	5.3	6.1	5.5	4.1	4.4	4.8	4.7	4.1	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4	3.8	4.62917	0.81799
62	3.9	3.8	4.1	4	3.5	5.2	4.6	4.7	3.8	4.1	4.1	4.2	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.3	4.2	4.2	4.2	4.1	4.2	4.4	4.175	0.32737
63	4.3	4.3	4	4.3	4.6	4.9	4.5	3.4	4.5	3.4	3.7	3.8	3.4	3.6	4.1	4.2	4.1	4.3	4.2	3.9	3.9	4.1	3.9	4	4.05833	0.38777
64	3.1	3.6	3.5	3.6	3.2	3.5	4.5	4.4	5.3	4.4	6	5.6	6.2	6.2	4.7	4.6	4.6	4	4	4.4	4.2	4.2	3.7	4.1	4.4	0.89637
65	4.1	3.8	4.3	4.1	4.1	4.5	3.9	4.4	4	5.9	6.5	5.7	4	4.1	4.3	5.2	5.2	4	5.2	4.8	4.4	3.7	4.4	4.5	4.54583	0.71929
66	4.5	4.4	4.6	4.1	4.4	4.8	4.6	5.8	4.2	4.4	4.6	4.5	3.8	4.6	5.6	5.1	5.7	6.7	6.1	6.5	6.4	5.5	5.6	4.1	5.025	0.84352
67	4.7	5.3	5.8	6.1	4.3	3.3	5.6	5.4	4.7	4.5	4.1	4.4	4.9	4.5	4.3	4.5	3.8	4.3	4.2	4.2	4.7	4.3	4.2	4.3	4.6	0.64336
68	4.5	4	4.1	3.9	5.7	3.8	3.6	3.7	4.1	3.9	4.5	4.1	4.9	4.2	6.8	3.6	5.3	4.6	4.7	4.4	4.2	6.6	5.7	5.8	4.6125	0.91381
69	3.6	5	4.3	4.2	5	6	5.6	5.4	5.9	5	5.4	3.9	3.7	5.8	5.6	6.5	5.3	5.4	5.6	5.9	5.5	6.5	5.7	6.2	5.29167	0.82194
70	5.9	5.2	5.7	5.8	5.9	5.5	6	5.2	5.2	5.4	6.3	7.8	5.8	5.1	5.9	6.1	5.4	4.9	4.8	4.8	4.9	5.2	5.2	4.5	5.52083	0.67758
71	4.5	5.1	5.2	5.1	4.1	5.1	5	4.1	4.8	3.7	4.9	5.3	4.9	5.4	4.8	4.5	4.9	4.9	4.1	4.2	4.1	4.1	4.2	4.1	4.62917	0.48766
72	4	4.4	4.1	5	5.4	6	3.9	4.8	4.3	4.7	5.3	4.8	4	4	4.4	4.2	3.8	4.2	4.1	4.7	4.1	3.6	4.6	4.2	4.44167	0.56562
73	4.3	5	5.4	5	5.6	4.9	5.5	4.2	4.6	4.3	5.2	5	5.5	4.9	4.7	4.6	4	4.6	5.5	4.7	4.1	3.6	3.7	5.2	4.75417	0.57708
74	6.4	5.5	5.7	4.6	4.5	5.1	5.3	5.1	4.9	5	5.1	5.2	5.4	4.5	4.6	4.5	4.5	4.2	4.1	3.9	3.2	3.9	3.9	4.6	4.7375	0.69708
75	4.5	4.7	4.8	4.9	4.9	4.5	4.1	4.8	5.3	5.2	5.7	4.7	6.4	6.3	5.7	5.5	6.6	5.1	6.1	5.4	5.2	4.8	4.8	4.8	5.2	0.65075
76	5.3	6.3	6.6	5.8	6.9	6.8	6.4	6.2	7.4	6.9	5.5	5.7	5.9	6.3	6.1	6.5	6	6.7	6.2	6.1	5.8	5.1	5.8	5.2	6.14583	0.57708

**Data Proses %O2 pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)**

77	5.2	6.1	8.9	7.8	7.8	7.7	8.1	7.2	4.3	8.8	6.6	5.4	4.9	5.1	6.4	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.5	5.2	4.2	4.1	6.04583	1.46168		
78	8.79	4.76	3.58	3.66	4.39	4.91	4.8	4.26	4.16																	4.81222	1.56484	
79	3.91	3.75	3.68	3.68	4.61	5.24	5.14	5.32	4.91																	4.47111	0.71219	
80	4.75	4.65	4.57	4.51	4.63	4.74	5.52	5.32	5.59																	4.92	0.4298	
81	5.1	5.54	5.47	5.48	5.25	5.12	5.01	5.6	5.31																	5.32	0.21342	
82	4.46	3.97	4.26	4.24	4.62	4.38	4.28	4.8	5.01																	4.44667	0.31808	
83	4.63	4.46	4.44	4.45	4.02	4.08	4.31	3.86	4.68																	4.32556	0.28187	
84	4.36	4.76	4.96	5.87	7.67	6.31	5.54	5.08	5.44																	5.55444	0.98714	
85	5.4	5.26	5.01	5.35	5.53	5.37	5.31	6.53	7.05																	5.64556	0.67609	
86	5.53	5.34	4.99	5.03	5.24	5.12	5.2	5.29	4.24																	5.10889	0.36478	
87	4.99	6.8	6.28	5.39	5.72	6.26	5.99	6.7	5.66																	5.97667	0.59764	
88	5.3	5.43	5.4	5.37	5.3	5.1	4.98	4.25	3.66																	4.97667	0.61496	
89	3.57	4.45	4.41	5.15	5.19	5.04	4.65	5.02	5.11																	4.73222	0.52978	
90	5.41	4.67	4.53	4.5	5.88	5.79	5.75	6.31	6.23																	5.45222	0.71566	
91	6.05	6.21	6.14	5.2	5.6	4.74	4.95	6.58	6.85																	5.81333	0.73328	
92	5.34	5.66	6.22	6.37	5.91	4.95	4.09	4.39	4.29																	5.24667	0.85905	
93	4.19	5.15	6.1	5.9	6.21	6.74	7.11	6.9	7.12																	6.15778	0.97997	
94	6.95	7.14	6.64	5.54	5.22	4.96	4.49	4.86	4.92																	5.63556	1.00399	
95	4.59	4.48	4.62	5.01	5.07	4.85	4.71	4.44	4.69																	4.71778	0.22004	
96	4.82	5.32	5.69	5.47	5.79	4.67	4.44	5.29	5.4																	5.21	0.46444	
97	5.32	6.76	6.27	6.45	5.73	5.31	5.68	5.06	5.25																	5.75889	0.60101	
98	4.85	5.05	4.9	4.89	4.86	4.79	5.21	5.05	4.77																	4.93	0.14414	
99	4.81	5.02	5.05	5.37	4.91	4.99	4.82	4.81	5.08																	4.98444	0.17917	
100	5.08	4.62	4.63	4.3	4.53	5.19	4.92	5.09	4.66																	4.78	0.30191	
																										CL	4.93686	0.7687

9. Data Proses %CO pada SLC Preheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
0.04598	0.05957	0.07315	0.01881	0.00523	- 0.0084

Hari ke-	Jam																							
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
1	0.02	0.03	0.04	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.04	0.02
3	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01
4	0	0	0	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0	0
5	0	0.02	0.01	0.03	0.05	0.02	0.06	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0
6	0.01	0	0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.01
7	0.04	0.03	0.05	0	0.01	0.02	0.01	0	0.04	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
9	0.03	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11	0	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.02	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0
13	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
14	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
15	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.05	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0	0.01	0.02	0	0.02	0.03	0.01	0.02
16	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03	0.01	0.03	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01
17	0.02	0.01	0.04	0	0	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
18	0	0	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0	0.01	0.04	0.04	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.04	0.06	0.06	0.01	0.06
19	0	0	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
20	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01
21	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
22	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0.01

**Data Proses %CO pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)**

23	0.01	0.04	0.06	0	0	0	0	0	0.02	0.03	0.02	0	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01583	0.01586
24	0.01	0.01	0.03	0	0	0	0.01	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01625	0.01056
25	0.01	0.01	0	0	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0.01	0.04	0.01	0	0.01	0	0	0.02	0.03	0	0.01	0.02	0.03	0	0	0.01167	0.01167	
26	0.01	0.02	0.01	0	0.05	0.02	0.02	0.05	0.05	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.01	0.03	0	0	0	0.02	0.02	0	0.01	0.01875	0.01597	
27	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05	0.03	0	0.05	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.0275	0.01327	
28	0.05	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02083	0.01176	
29	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.05	0.01375	0.01313	
30	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01583	0.0153	
31	0	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02167	0.01204	
32	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02042	0.01122	
33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01208	0.00509	
34	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01667	0.00917	
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01125	0.01076	
36	0.01	0.03	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.00722	
37	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.0059	
38	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00583	0.00504	
39	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.07	0.07	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0.01417	0.02283	
40	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0	0.05	0.07	0.08	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.01083	0.02244	
41	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00708	0.00464	
42	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01022
43	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01083	0.00504	
44	0.01	0.02	0.18	0.08	0.09	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02333	0.03975	
45	0.2	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01542	0.03967	
46	0.01	0	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00375	0.00495	
47	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.0025	0.00442	
48	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083	0.00282	
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.00333	0.00482
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00042	0.00204
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.00083	0.00282
53	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.00792	0.01215	

Data Proses %CO pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)

53	0	001	001	001	001	001	001	001	001	001	0	0	0	005	0	0	0	0	001	001	001	0	0	001	000792	001215	
54	0	001	001	001	0	0	0	0	001	001	001	001	001	001	001	001	001	002	001	003	001	001	001	001	000917	000654	
55	001	0	0	002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	0	0	0	0	0	000167	000482	
56	001	001	001	001	001	001	0	0	0	0	001	001	001	002	001	0	0015	0	001	0	0	0	001	003	000771	000752	
57	001	001	0	0	001	0	0	002	0	001	001	002	0	001	001	0	001	0	0	0	0	0	0	0	0005	000659	
58	0	0	001	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	001	0	001	001	001	001	001	001	001	000458	000609	
59	0	0	0	001	001	0	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	000125	000338	
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	0	0	0	0	0	0	000042	000204	
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	001	001	0	001	001	001	001	001	001	000333	000482
63	001	001	0	0	001	0	0	0	001	0	0	0	0	0	001	001	001	0	0	0	001	0	0	0	000333	000482	
64	0	001	0	0	0	0	0	001	0	001	001	001	001	001	001	001	001	001	001	0	001	001	001	001	000667	000482	
65	001	0	001	001	002	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	0	0	0	0	0	0	0	000292	00065	
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
67	0	0	0	0	0	002	0	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	001	001	001	001	001	001	000417	000684
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	0	0	0	0	0	0	001	0	001	0	0	0	0	0	0	001	0	0	0	0	0	0	0	0	000125	000338	
70	0	0	0	0	0	0	0	0	005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	000208	001021	
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	001	001	001	001	001	0	00025	00042	
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	001	0	0	0	0	0	000042	000204	
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Data Proses %CO pada SLC Preheater Exit (Lanjutan)**

78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
79	002	002	002	002	002	002	002	002	002	004																										00222	000667	
80	005	008	02	015	011	008	009	01	013																										011	004472		
81	012	015	017	018	012	008	008	008	009																										011889	000983		
82	011	01	009	011	011	011	007	008	006																										009333	001936		
83	009	007	008	008	008	009	009	007	009																										008222	000833		
84	012	017	014	015	014	016	015	011	01																										013778	002333		
85	013	015	013	012	015	016	013	023	012																										014667	003428		
86	013	012	012	009	005	007	009	012	01																										009889	002667		
87	01	011	013	011	01	011	011	007	006																										01	002179		
88	008	009	01	011	01	011	01	01	015																										010444	001944		
89	011	007	007	01	008	007	007	007	01																										008222	001641		
90	013	012	012	012	013	012	013	018	03																										015	000937		
91	031	016	016	017	011	011	015	011	011																										015444	003666		
92	009	012	012	012	009	009	009	008	007																											009667	001871	
93	007	007	007	01	009	016	012	006	005																											008778	003456	
94	008	007	006	005	006	01	017	015	014																											009778	004466	
95	015	008	005	006	008	005	005	005	005																											006889	003296	
96	005	005	006	009	009	01	012	01	012																											008667	002739	
97	015	015	015	01	01	011	011	015	012																											012667	002291	
98	011	011	009	009	008	013	013	01	015																										011	002291		
99	01	007	008	007	011	013	011	017	016																										011111	003655		
100	027	026	029	03	031	027	02	029	031																											027778	00342	
																																				CL	00324	001358

10. Data Proses *Pressure Difference* pada SLC Preeheater Exit

3-sigma control chart					
UCL1	UCL2	UCL3	LCL1	LCL2	LCL3
866.951	914.526	962.101	771.802	724.227	676.652

Hari ke-	Jam																								xbar	s	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6			
1	952	953	956	958	953	903	909	899	815	771	790	882	951	956	956	956	956	953	953	958	946	946	944	944	923.333	55.3123	
2	941	918	924	938	950	954	957	936	871	828	904	907	925	921	922	933	939	946	945	930	946	938	944	948	927.708	28.4765	
3	952	938	938	945	945	946	946	942	942	942	942	946	925	932	931	939	926	926	912	920	923	939	948	934	936.625	10.193	
4	932	916	931	931	931	931	938	937	948	922	917	868	848	811	722	809	854	862	864	722	695	640	602	599	838.75	113.857	
5	614	650	662	800	818	882	898	827	832	798	786	779	784	780	795	833	839	828	814	815	823	809	809	725	791.667	67.3509	
6	725	780	770	780	896	900	904	925	933	942	945	943	856	764	712	715	610	891	584	589	588	621	749	897	792.458	127.671	
7	922	942	934	863	760	733	692	673	679	673	670	670	664	661	671	675	670	674	674	674	667	670	669	668	718.667	93.3547	
8	677	628	625	620	637	633	630	634	641	665	684	688	689	640	688	689	640	688	689	693	921	926	930	947	704.25	106.7	
9	962	960	958	950	945	955	948	950	858	948	939	948	963	968	967	963	964	961	961	962	962	962	961	972	953.625	21.9343	
10	962	970	972	960	977	960	962	955	978	983	981	971	983	979	974	978	983	980	980	983	983	986	984	986	975.417	9.32932	
11	995	982	985	993	993	980	980	985	971	987	968	985	967	963	962	974	973	976	726	982	982	980	980	980	968.708	52.4458	
12	983	972	979	989	976	985	973	965	962	967	979	975	985	975	985	979	974	960	961	977	973	975	925	921	970.625	16.6049	
13	927	949	910	908	908	907	898	893	903	900	889	892	926	919	953	950	944	947	958	954	955	952	958	961	927.542	25.5666	
14	949	964	960	960	963	963	965	971	859	960	975	968	870	968	961	956	962	965	962	966	970	973	970	973	956.375	28.9404	
15	969	946	950	959	962	957	955	955	955	969	959	966	966	966	966	966	966	966	966	966	965	968	966	967	969	963.417	8.38174
16	924	976	971	959	953	955	955	955	966	955	955	952	946	953	956	957	957	957	957	957	969	969	969	969	958.5	10.624	
17	967	957	961	966	965	961	966	959	965	959	951	951	940	967	966	960	947	948	948	942	942	935	934	934	953.792	11.3979	
18	829	827	832	849	829	833	830	891	922	920	932	927	932	882	881	882	893	853	827	820	821	822	823	823	861.667	41.5354	
19	871	812	812	835	831	838	843	870	879	877	825	845	861	866	870	859	858	857	859	867	874	850	853	855	852.792	19.215	
20	852	852	861	863	856	847	877	879	866	860	906	912	919	923	921	923	905	911	911	909	900	915	911	918	891.542	27.4337	
21	912	919	936	938	938	908	909	904	905	907	911	882	915	905	734	642	670	616	579	563	571	545	565	557	784.625	160.782	
22	553	555	554	544	541	550	553	709	821	883	893	893	878	873	843	626	615	615	578	570	570	580	575	615	666.125	138.433	

**Data Proses *Pressure Difference* pada SLC Preeheater Exit (Lanjutan)**

23	787	884	857	623	852	617	620	620	783	879	879	601	600	822	870	888	890	889	907	907	917	918	917	918	810.208	121.573	
24	899	905	905	813	713	696	781	899	905	913	917	919	910	922	911	926	914	914	914	921	923	911	881	847	881.625	65.0544	
25	712	719	720	735	740	735	752	765	772	771	768	778	795	878	895	885	875	863	881	885	881	886	870	873	809.75	68.2261	
26	1000	997	1000	998	995	992	990	991	987	987	980	990	992	935	928	918	856	834	940	935	847	948	855	952	951.958	54.1676	
27	952	973	996	1000	991	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	997	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	996.208	11.0216	
28	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	918	1000	1000	1000	1000	1000	1000	996.583	16.7382	
29	886	987	1000	996	1000	995	999	1000	991	991	990	991	992	993	994	954	954	976	968	1000	1000	1000	1000	999	985.667	25.196	
30	1000	1000	1000	1000	1000	864	845	844	861	882	995	996	999	999	861	862	742	787	792	794	785	786	786	789	886.208	95.0323	
31	848	862	947	981	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	999	997	995	1000	984.542	41.5033
32	1000	998	1000	999	998	995	993	992	998	997	1000	1000	1000	1000	1000	1000	995	995	995	997	997	991	991	911	993.417	17.8104	
33	1000	1000	995	996	996	991	997	999	995	992	992	995	991	995	992	989	985	988	988	997	998	965	965	974	990.625	9.69003	
34	974	977	977	970	393	985	936	979	987	985	987	988	982	985	987	984	985	982	977	979	979	980	976	977	954.625	120.068	
35	986	981	980	981	982	970	971	972	971	1000	1000	1000	995	997	1000	993	993	790	795	880	880	880	990	969	956.5	62.5932	
36	990	991	999	1000	997	994	821	741	723	719	670	678	671	678	678	680	680	575	579	566	559	560	558	538	735.208	167.902	
37	536	537	544	540	542	537	575	575	575	577	576	584	620	650	624	628	628	650	633	633	635	629	650	626	596	41.6768	
38	613	616	619	612	620	616	623	616	616	608	610	615	617	601	605	602	646	593	493	593	593	593	931	531	615.917	73.8205	
39	599	598	597	593	591	591	590	589	593	594	585	585	586	589	587	588	581	594	600	604	606	609	612	617	594.917	9.21679	
40	617	617	613	615	617	621	615	614	616	616	616	615	607	619	618	629	632	653	628	712	711	712	721	727	640.042	41.182	
41	720	725	750	738	748	725	748	777	759	753	762	831	829	854	827	871	856	843	843	843	841	828	828	821	796.667	50.156	
42	832	999	990	995	997	1000	998	1000	994	994	998	1000	1000	998	1000	1000	1000	999	999	998	997	998	999	999	991	33.9565	
43	965	974	978	978	950	950	950	950	950	950	985	991	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	982.125	21.3731	
44	864	871	873	864	864	855	852	853	852	847	845	845	855	855	855	861	871	875	835	826	827	825	826	816	850.5	16.9424	
45	827	819	822	811	816	821	816	821	827	816	816	813	813	813	813	813	813	815	811	813	815	816	815	814	816.208	4.45245	
46	817	817	847	855	853	845	828	828	821	823	816	816	816	819	818	818	819	825	827	380	820	814	822	816	806.667	91.686	
47	822	818	815	814	813	817	814	814	812	812	811	816	818	814	807	816	816	821	836	824	819	821	822	835	817.792	6.76294	
48	811	817	815	820	821	815	821	825	817	821	816	817	910	922	911	926	914	914	914	921	923	911	881	847	862.917	48.4848	
49	805	806	806	795	802	799	804	806	807	809	801	801	807	805	799	811	809	801	800	801	798	798	798	798	802.75	4.29611	
50	796	810	812	818	819	829	831	826	824	821	825	822	829	825	820	821	819	836	826	827	828	827	824	824	822.458	8.01617	
51	832	828	830	828	821	825	828	827	825	823	821	819	837	833	825	831	850	831	827	827	814	822	827	831	729.75	47.2222	
52	809	806	807	806	807	769	769	746	704	704	643	701	702	706	697	701	711	702	706	701	711	701	705	700	727.292	20.0921	
53	702	708	646	726	723	735	737	734	731	724	733	734	726	726	726	740	735	738	735	740	741	744	745	769.542	9.16505		



Data Proses *Pressure Difference* pada SLC Preeheater Exit (Lanjutan)

53	702	708	646	726	723	735	737	734	731	724	733	734	726	726	726	740	735	738	735	740	741	744	745	709542	91605		
54	741	750	766	762	769	776	784	777	774	776	768	768	768	773	773	778	771	773	767	764	764	775	776	776	7725	631079	
55	764	766	765	781	779	769	775	774	785	781	762	771	779	768	772	764	764	776	772	771	778	774	776	774	766417	777973	
56	774	769	775	776	771	785	788	775	781	776	769	769	770	780	785	788	791	794	800	799	795	771	808	405	731833	129958	
57	800	788	801	792	781	773	774	728	773	792	782	701	781	779	781	781	791	792	791	792	791	400	400	400	747208	783631	
58	785	787	769	756	752	770	757	754	742	740	747	751	809	756	782	747	751	400	754	754	754	752	752	752	751222	38162	
59	751	749	750	751	747	754	758	760	746	751	748	758	747	751	750	748	751	752	758	753	748	749	750	751	717167	114125	
60	748	754	755	749	755	742	750	754	752	739	747	747	747	747	747	347	347	751	756	750	751	756	761	760	726125	22004	
61	755	753	755	748	747	752	747	748	745	753	737	704	704	710	715	711	702	705	708	704	705	707	708	704	721917	449073	
62	711	722	718	711	722	722	722	723	724	718	727	727	727	727	720	720	721	721	727	725	726	722	725	718	711708	587166	
63	727	714	714	713	720	716	716	713	716	712	715	716	715	715	706	705	706	706	705	711	705	706	705	704	671875	143233	
64	696	696	700	690	691	694	672	676	670	674	665	661	667	661	668	669	669	661	664	667	661	665	668	660	6165	224015	
65	662	665	669	644	668	611	606	593	615	605	613	611	608	602	606	610	613	605	607	603	596	600	602	602	575583	433589	
66	522	607	608	605	578	630	590	586	583	590	545	583	584	542	598	401	596	587	581	587	581	579	576	575	578391	419674	
67	576	579	576	580	583	584	582	581	580		578	585	588	580	572	578	574	578	578	576	576	573	573	573	509667	36094	
68	592	578	567	580	578	581	567	580	581	580	592	575	580	580	562	572	577	564	404	574	571	583	578	576	579222	489435	
69	566	575	573	576	580	578	575	577	578	575	581	579	586	585	585	589	580	578	579	579	581	585	583	580	577542	362334	
70	575	576	575	576	582	577	576	573	575	575	581	577	580	590	582	579	578	576	576	574	576	575	580	577	57975	612372	
71	579	585	586	586	584	582	580	573	576	575	575	580	574	577	574	584	587	586	587	586	579	561	579	579	579167	319873	
72	583	581	578	574	581	583	572	578	579	580	583	580	581	580	573	575	577	582	582	582	582	577	578	579	582988	40682	
73	578	583	580	575	588	589	585	584	583	582	590	588	586	582	584	582	581	581	582	581	577	576	587	587	624	785743	
74	627	611	602	611	625	627	619	612	624	628	627	625	628	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	69667	26743
75	635	635	630	633	628	640	633	635	631	639	635	635	665	693	689	691	690	685	681	683	681	687	689	689	703167	26503	
76	689	691	716	729	717	722	725	714	706	720	714	713	725	791	677	680	678	681	682	681	682	681	681	681	600583	492411	

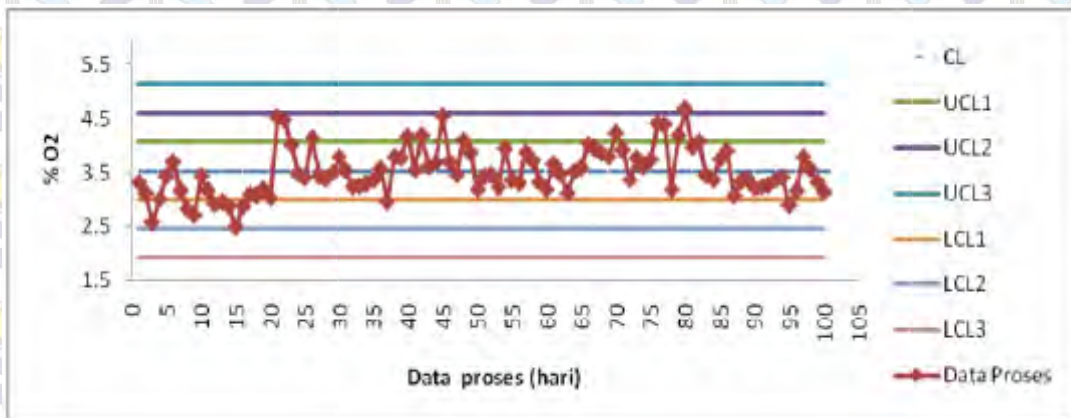
Data Proses *Pressure Difference* pada SLC Preeheater Exit (Lanjutan)

77	623	655	646	604	599	401	603	570	554	558	576	588	606	621	616	624	623	620	625	624	623	619	617	619	870473	221.473	
78	2863	9325	1000	9846	9473	9034	9008	9384	941.1																870473	221.473	
79	9549	9527	9505	9432	9258	9068	902	9028	897.2																926211	243735	
80	901	9004	8995	8956	9048	8882	8842	8867	891.9																89469	72748	
81	8979	9025	9062	9044	8927	8526	845	8548	876.2																881362	246921	
82	9234	9166	9228	9244	8484	8129	8021	8449	908.1																87817	507366	
83	977.1	9962	9982	9945	990	9893	987.7	999.6	1000																992497	737812	
84	9999	9998	9999	966	7784	951	9889	986.1	990.5																962284	709415	
85	9867	9833	9816	9852	9936	991.1	987.6	875.5	824.2																95653	61.9279	
86	831.7	8459	871.8	9109	988.1	984.2	996.3	997.8	997.9																936072	707832	
87	9948	9092	8564	8547	881.7	873.3	876.5	813.5	937.3																888598	528089	
88	9938	9964	997	9902	9489	9502	9583	986.2	999.5																980056	21.2143	
89	1000	9999	9999	1000	996	997.6	980.7	948	940.2																984699	239064	
90	990	913.5	918.7	911.2	914.5	918.6	910.1	846.2	846.9																901.07	31.4497	
91	908.9	901.3	902.6	910.3	912.6	908.9	830.9	754.4	688.2																853.114	90.1115	
92	765.1	746.4	697.5	632	636.3	730.7	851.3	830.8	787.2																735253	77.6298	
93	794.3	776.8	681.6	689.7	695.6	618.1	596.8	600.4	599.3																672508	75.7187	
94	600.4	618.7	635.7	627	781.1	815.1	820.9	888.2	888.3																739018	110.105	
95	885.9	913.4	916.5	915.4	941.2	960.8	959.7	955.2	966.9																935	28.1616	
96	971.3	899.3	942.1	951.5	898.2	776.5	763	799	837.6																870943	79.085	
97	873.3	824.2	888.6	887	780.4	691.8	808.9	867.3	910.9																836919	69.0159	
98	919.3	921.2	925.3	924.9	926.6	925.2	922.9	920.6	923.5																923277	246336	
99	925.4	941.2	947.2	962	944.5	940.7	930.5	925.1	928.7																938368	12.1638	
100	931.5	929.8	906.2	908.4	904.6	786.5	853.3	882.6	924.2																891874	466016	
																									CL	819376	47.5749

## LAMPIRAN B CONTROL CHART

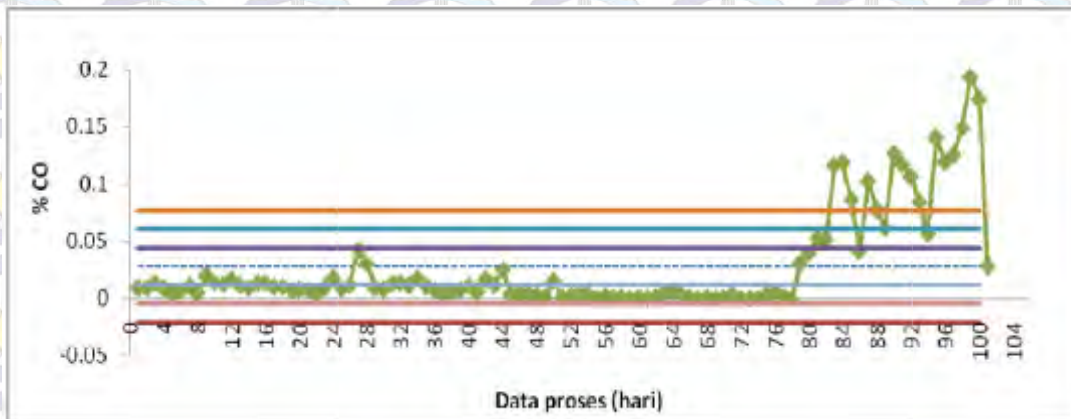
### Node 1 ILC

#### 1. Control Chart 443AN1AT409



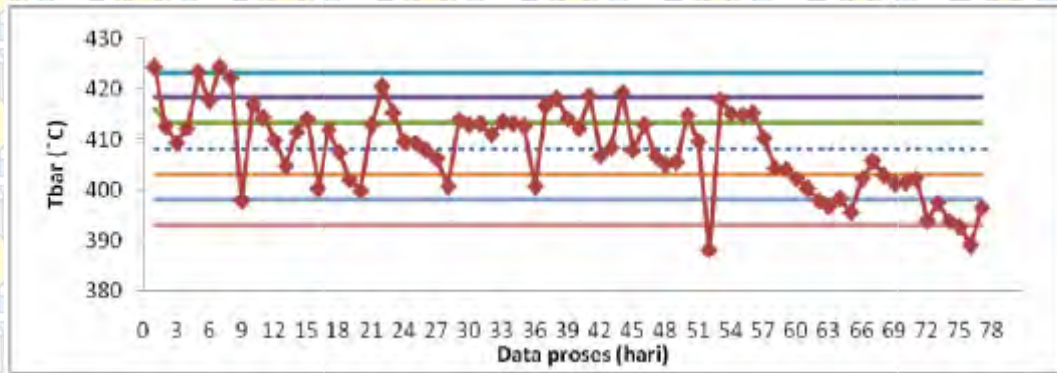
Gambar B-1. Control chart persentase O2 pada ILC Preheater Exit

#### 2. Control Chart 443AN1AT410



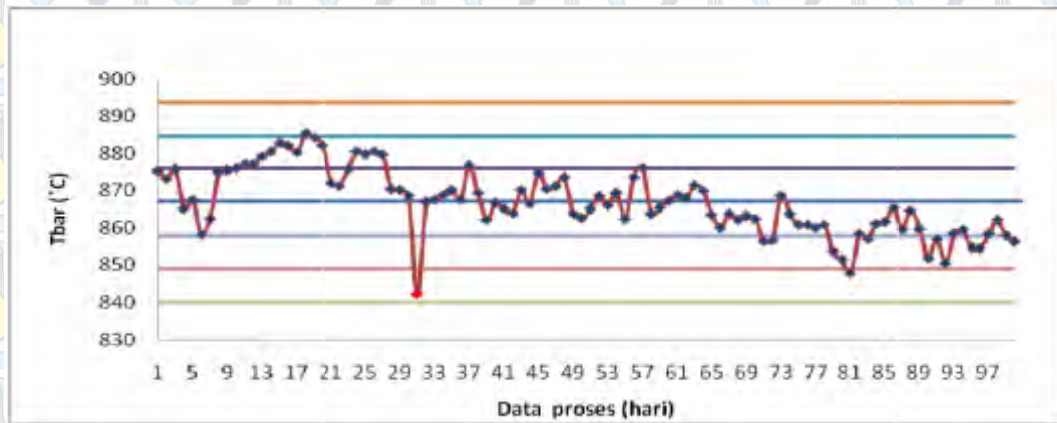
Gambar B-2. Control chart persentase CO pada ILC Preheater Exit

### 3. Control Chart 443PH1PT473



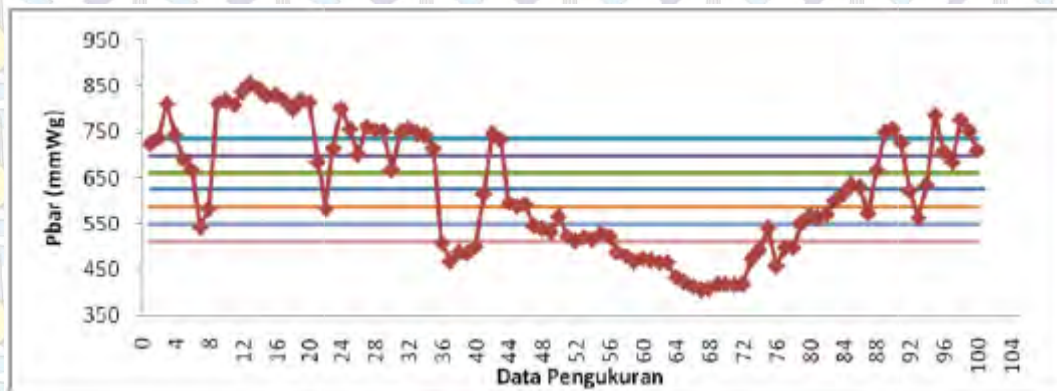
Gambar B-3. Control chart temperatur gas pada ILC Preheater Exit

### 4. Control Chart 443PH1PT433



Gambar B-4. Control chart temperatur material pada ILC Stage IV

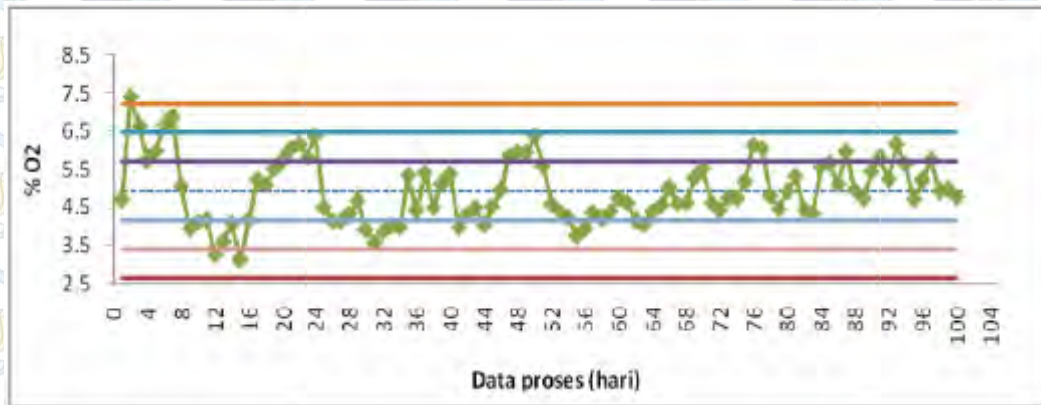
### 5. Control Chart 443FN1PT401



Gambar B-5. Control chart pressure drop pada ILC Preheater Exit

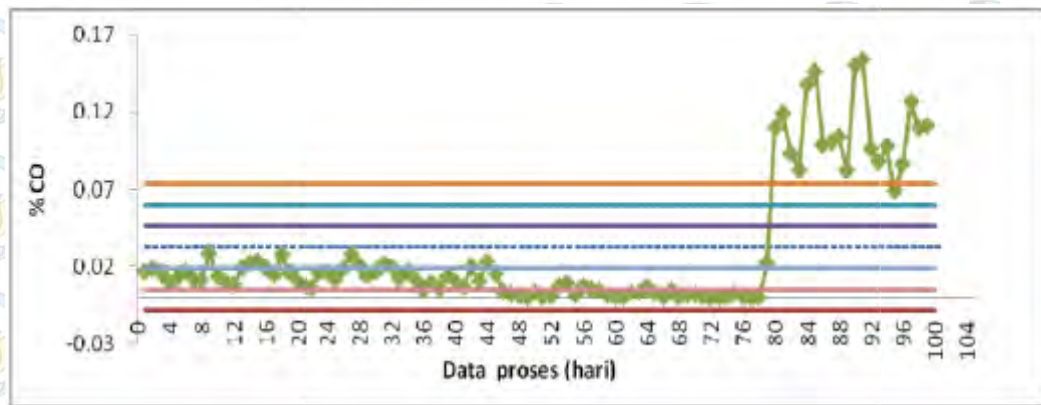
Node 2 SLC

1. Control Chart 443AN1AT449



Gambar B-6. Control chart persentase O2 pada SLC Preheater Exit

2. Control Chart 443AN1AT450



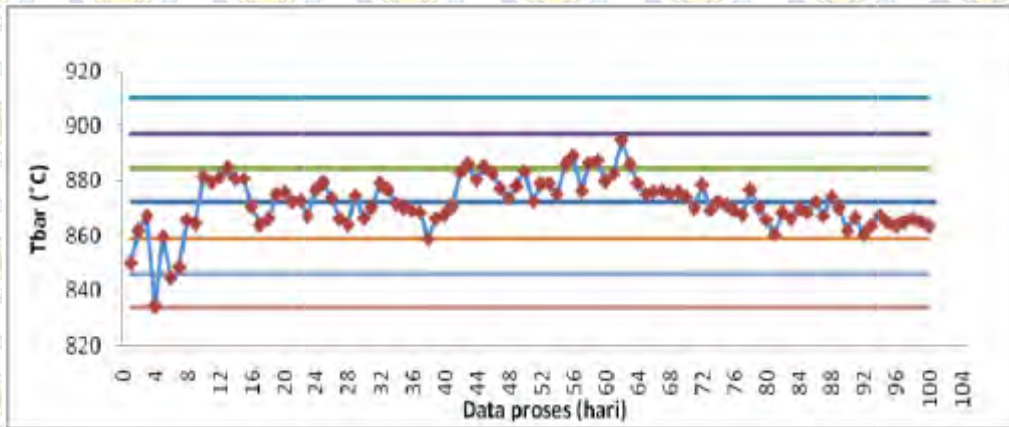
Gambar B-7. Control chart persentase CO pada SLC Preheater Exit

3. Control Chart 443PH1PT472



Gambar B-8. Control chart temperatur gas pada SLC Preheater Exit

4. Control Chart 443PH1PT432A



Gambar B-9. Control chart temperatur material pada SLC Stage IV

5. Control Chart 443FN2PT441



Gambar B-10. Control chart pressure drop pada SLC Preheater Exit

## LAMPIRAN C

### DATA KEGAGALAN PADA SISTEM ILC SLC

#### Node 1 ILC

Tabel C-1. Data Kegagalan 443PH1TT473 (Temperatur Gas pada ILC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	6
7	28/7/2015	8:00	40
8	26/7/2015	8:00	168
9	2/9/2015	13:20	24
10	4/9/2015	21:20	2.4
11	5/9/2015	13:20	4.4
12	6/9/2015	18:40	13
13	7/9/2015	10:40	264
14	18/9/2015	5:20	2.4
15	18/9/2015	10:40	285.6
16	21/10/2015	5:20	133.2
		Total jam	973

Tabel C-2. Data Kegagalan 443PH1TT433 (Temp. Material St.IV pada ILC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	6
7	28/7/2015	8:00	40
8	27/8/2015	0:00	253.2
9	6/9/2015	18:40	15.3
10	7/9/2015	16:00	546.6
11	21/10/2015	13:20	127
		Total jam	1018.1

Tabel C-3. Data Kegagalan 443AN1AT409 (%O<sub>2</sub> pada ILC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	6
7	28/7/2015	8:00	40
8	16/9/2015	13:20	324
Total jam			400

Tabel C-4. Data Kegagalan 443AN1AT410 (%CO pada ILC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	6
7	28/7/2015	8:00	40
8	16/9/2015	13:20	324
Total jam			400

Tabel C-5. Data Kegagalan 443FN1PT401 (Pressure Drop pada ILC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	6
7	28/7/2015	8:00	40
8	1/8/2015	0:00	21.2
9	25/8/2015	10:40	880.2
10	19/10/2015	18:40	197
11	28/10/2015	10:40	2.4
12	28/10/2015	21:20	0
Total jam			1176.8



**Node 2 SLC**

Tabel C-6. Data Kegagalan 443PH1TT472 (Temperature Gas pada SLC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	4/6/2015	8:00	2
3	19/6/2015	13:00	13
4	21/6/2015	11:00	8
5	23/7/2015	14:00	13
6	28/7/2015	8:00	40
7	26/8/2015	13:20	165.2
8	2/9/2015	13:20	672
9	21/10/2015	16:00	125.2
Total jam			1039.4

Tabel C-7. Data Kegagalan 443PH1TT432A (Temperature Material pada SLC St.IV)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	19/6/2015	13:00	13
4	23/7/2015	14:00	13
5	28/7/2015	8:00	40
6	26/8/2015	13:20	162.2
7	2/9/2015	13:20	21.2
8	3/9/2015	16:00	642.8
9	21/10/2015	16:00	122.4
Total jam			1021.6

Tabel C-8. Data Kegagalan 443AN1AT449 (%O<sub>2</sub> pada SLC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	13
7	28/7/2015	8:00	40
8	16/9/2015	13:20	324
Total jam			407

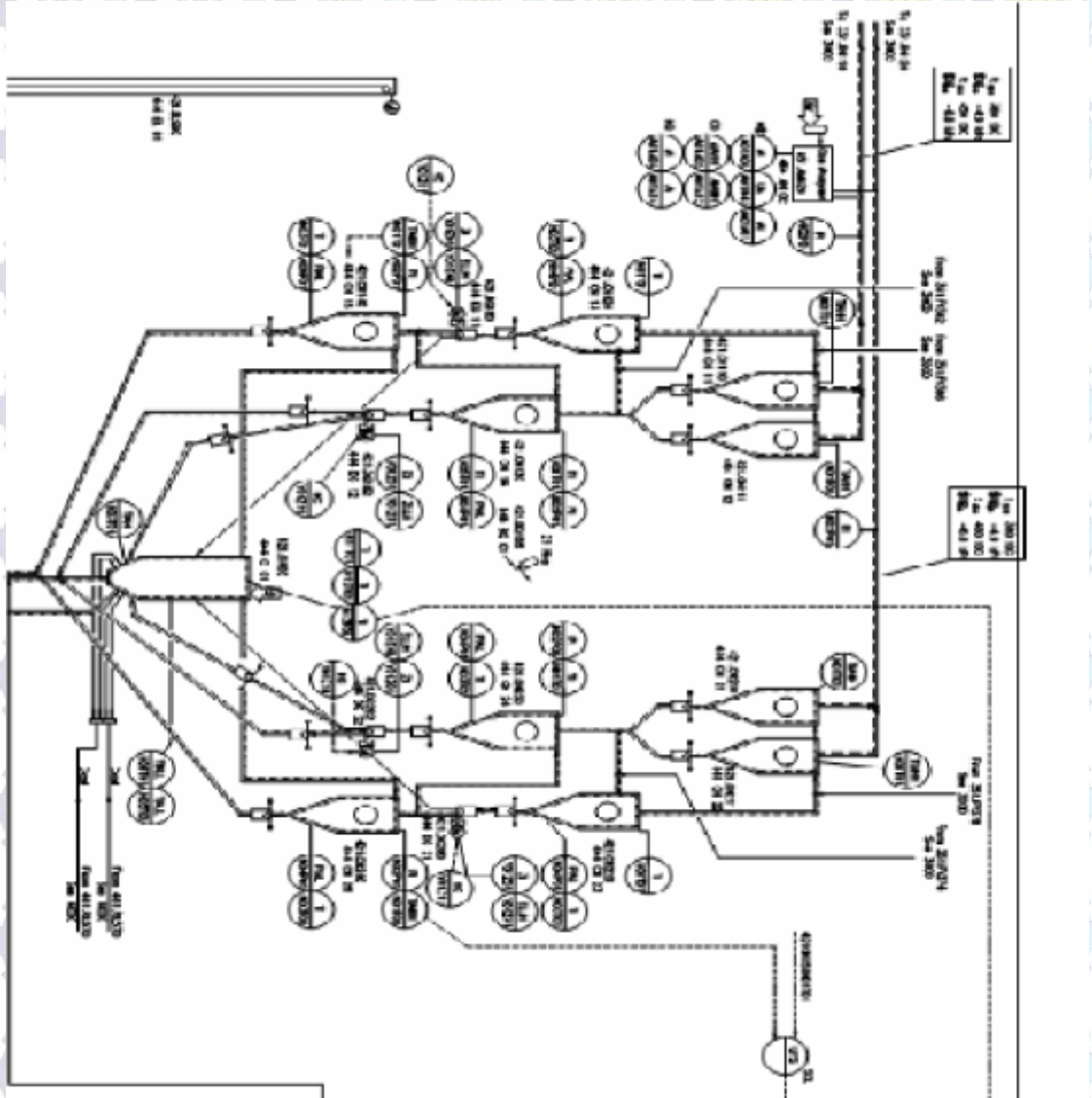
Tabel C-9. Data Kegagalan 443AN1AT450 (%CO pada SLC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	13
7	28/7/2015	8:00	40
8	16/9/2015	13:20	324
Total jam			407

Tabel C-10. Data Kegagalan 443FN2PT441 (Pressure Drop pada SLC Preheater Exit)

No	Tanggal	Pukul	Durasi (jam)
1	18/1/2015	5:00	1
2	19/1/2015	7:00	6
3	4/6/2015	8:00	2
4	19/6/2015	13:00	13
5	21/6/2015	11:00	8
6	23/7/2015	14:00	13
7	28/7/2015	8:00	40
8	1/8/2015	0:00	21.2
9	25/8/2015	10:40	885.2
10	19/10/2015	18:40	200
11	28/10/2015	10:40	6
12	28/10/2015	21:20	0
Total jam			1195.4

LAMPIRAN D  
P&ID SISTEM ILC SLC



Gambar D-1. P&ID Sistem ILC - SLC

## DAFTAR PUSTAKA

Agrawal, N., Jain, N.K., Patel, Praveen. (2014), "Evaluation of Hazards in Crusher and Material Handling of Cement Industry", *International Journal on Emerging Technologies*, Vol.5, No.1, hal. 17-21.

Ahmad, Arsyad (2010), "Fundamental of HAZOP Studies", Faculty of Chemical Engineering. UTM Malaysia.

API 14C (2002), *Recommended Practice for Analysis, Design, Installation and Testing of Basic Surface Safety System for Offshore Production Platform*, Exploration and Production Department, American Petroleum Institute.

API 14J (2002), *Recommended Practice for Analysis of Offshore Production Facilities*, Exploration and Production Department, American Petroleum Institute.

Armstrong, Thomas (2013), "An Overview of Global Cement Sector Trends", *Global Cement Report 10<sup>th</sup> Edition*. International Cement Review. Lima.

Berg, Heinz-Peter (2010), "Risk Management : Procedures, Methods and Experiences". *RT&A #2*. Vol.1, No.17.

Boateng, A.A. (2008), *Rotary Kiln : Transport Phenomena and Transport Processes*, Butterworth-Heinemann. Elsevier, Inc.

Budi, S. (2007), "Implementasi Metode HAZOPS untuk Penanggulangan Risiko pada Departemen Kiln di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk", *Jurnal Tugas Akhir Teknik Industri FTI-ITS*.

Cement Industry Federation (2013), *Industry Report*, Australia.

CEMBUREAU (1999), *Best Available Technique for the Cement Industry*, European Cement Industry.

Center Chemical Process Safety (2001), *Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment*, Second Edition. American Institute of Chemical Engineering, New York.

Deolalkar, S.P. (2009), *Handbook for Designing Cement Plant*, BS Publication, Hyderabad.

Duda, Walter H. (1984), *Cement Data Book*, International Process Engineering in the Cement Industry, 2<sup>nd</sup> Edition, McDonald and Evan, London.

Dumbrava, V., Iacob, V.S. (2013). "Using Probability – Impact Matrix in Analysis and Risk Assessment Projects", *Journal of Knowledge Management*, Economics and Information Tech.

Dutta, Debabrata (2011), *Utilization of Blast Furnace Slag as a Raw Material for the Manufacture of Portland Cement Clinker*, Thesis M.T, National Institute of Technology, Rourkela.

Ebelling, Charles E. (1997), "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering", The Graw-Hill Companies, Inc., Singapore.

FLSmith (2014), "Rotary Kiln for Cement Plant", ROTAX-2 Brochure, [www.flsmidth.com](http://www.flsmidth.com).

Jacob, J.K., Sreejith, P.S. (2008), "Process Control Using Reliability Based Control Charts", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 31, Issue 2, pp. 498-504.

Kotek, L., Tabas, M. (2012), "HAZOP Study with Qualitative Risk Analysis for Prioritization of Corrective and Preventive Actions", *Procedia Engineering*, ELSEVIER, Vol. 42, hal. 808-815.

Kristianingsih, L., Musyafa, A. (2013), "Risk Management and Safety System Assesment from Power Plant Steam Boiler in Power System Unit 5, Paiton-Indonesia". *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 7, No.11, hal. 349-356.

Krzemien, A., Wieckol-Ryk, A., Duda, A., Koterak, A. (2013). "Risk Assessment of A Post-Combustion and Amine-Based CO<sub>2</sub> Capture Ready Process", *Journal of Sustainable Mining*, Vol. 12, No. 4, hal. 18-23.

Maragasi, I., et al. (2009), *Guidance on Hazard Identification, Safety Management System and Safety Working Culture*.

Meeker, W.Q., Escobar, L.A. (1998), *Statistical Methods for Reliability Data*, John Wiley & Sons, Inc. USA

Montgomery, Douglas (2009), *Introduction to Statistical Quality Control*, 6<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA.

Musyafa, A., Adiyagsa, H. (2012), "Hazard and Operability Study in Boiler System of the Steam Power Plant". *IEESE-IJSTE*, Vol.1 No.3.

Neelkanth Lime Limited (2014), "Proposed Rotary Kiln : Environmental Impact Assessment", Zambia Environmental Management Agency.

Nielsen, Anders (2012), *Combustion of Large Solid Fuels in Cement Rotary Kilns*, Thesis Ph.D, Technical University of Denmark, Denmark.

Peray, Kurt (1979), *Cement Manufacturer Handbook*, Chemical Publishing Co, Inc., New York.

Pumfrey, David (1999), *The Principled Design of Computer System Safety Analyses*. Thesis, University of York, London.

Semen Indonesia (2014), *Annual Report 2014*, PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk.

Semen Indonesia (2014), *Sustainability Report 2014*, PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk.

Silvianita, Khamidi, M.F., Rochani, I., Chamelia, D.M. (2014), "Hazard and Operability Analysis (HAZOP) of Mobile Mooring System", *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol 14, hal. 208-212.

Standard Association of Australia (1999), *Australia Standard : Risk Management AS/NZS4360*. Australia.

Summers, Angela E. (2013), *Safety Controls, Alarms, and Interlocks as IPLs*, SISTECH Solutions, Houston.

UNIDO (1994), *Cement Industry Handy Manual*, Seminar on Energy Conservation in Cement Industry, Bangladesh.

Vlachos, N.S., Fidaros, D.K., Baxevanou, C.A., Dritselis, C.A. (2006), “Numerical Modeling of Flow and Transport Processes in a Calciner for Cement Production”, *Powder Technology* ELSEVIER, No.171, hal. 81-95.

Vrijgen, J., McDowall, R. (2006), “Cement Kiln Co-Processing (High Temperature Treatment)”, *Basel Convention*, Auckland.

Wijaya, Deidy., Chong, Tjen San (2015), “Indonesia Cement Sector”, *Indonesia Industry Focus*, DBS Group Research.

Willey, Ronald (2014), “Layer of Protection Analysis”, *Procedia Engineering* ELSEVIER, Vol. 84, hal. 12-22.

Windhorst, Jan C. A. (2014), “Rigorous Versus Simplified Protection Layer Reliability Calculations and Problems with Popular Risk Analysis Methodologies”, *Procedia Engineering* ELSEVIER, Vol. 84, hal. 47-54.

Zulfiana, E., Musyafa, A. (2013), “Risk Management and Hazard Operability Study on Steam Turbine Power Plant Unit-5 in the Power Generation Paiton, East Java-Indonesia”, *AENSI Journals : Advances in Natural and Applied Sciences*, hal. 510-518.