

PENERAPAN KONSEPSI *SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM (SIS)* UNTUK *UPGRADING* SISTEM INSTRUMENTASI DAN KONTROL PADA FASILITAS PEMURNIAN UAP *GEOTHERMAL POWER PLANT*

Arief Goeritno¹, Dian Anwar², Dudi Nurmansyah³

*¹Jurusan/Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2, Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16132*

²Politeknik Logistik Elektronika APP, Jl. Timbul Jagakarsa, Depok, Jawa Barat

³PT Chevron Geothermal Salak

Email: arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan penerapan konsepsi *Safety Instrumented System (SIS)* pada fasilitas pemurnian uap di *geothermal power plant*, melalui a) analisis *Safety Integrity Level (SIL)* dan b) penentuan spesifikasi komponen *SIS*. Berdasarkan analisis *SIL*, terdapat potensi bahaya berupa *SIL-2*, yaitu air kondensat masuk ke turbin dan penarikan tekanan uap. Spesifikasi komponen berupa pertimbangan untuk pemasangan 2 aktuator atau sistem *redundant*.

Kata kunci: *Safety Instrumented System (SIS)*; Fasilitas Pemurnian Uap; *Geothermal Power Plant*.

1. Pendahuluan

Pengoperasian berbagai proses industri, langsung atau pun tidak langsung telah melibatkan berbagai risiko melekat (*inherent risks*), karena keberadaan bahan berbahaya, seperti gas dan bahan kimia. Kerugian finansial dalam jutaan dolar yang diakibatkan oleh peristiwa ledakan dan kebakaran telah terjadi pada industri kimia atau industri minyak dan gas setiap tahun. Saat potensi besar terjadi yang berdampak kepada kehilangan yang nyata, disitulah digunakan Sistem Terinstrumentasi untuk Keselamatan (STuK, *Safety Instrumented System, SIS*) untuk pemberian isolasi yang aman terhadap bahan yang mudah terbakar atau beracun yang berpotensi menimbulkan kebakaran atau insiden cairan terbuang ke lingkungan [1,2].

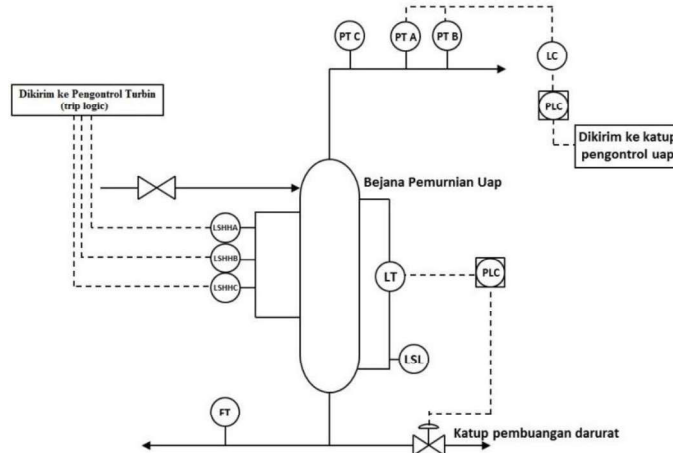
Safety Instrumented System secara khusus dirancang untuk perlindungan (proteksi) terhadap personal, peralatan, dan lingkungan melalui pengurangan kemungkinan (frekuensi) atau tingkat keparahan dampak dari suatu peristiwa darurat yang teridentifikasi [1,2]. Keselamatan disediakan oleh lapisan perlindungan (proteksi). Lapisan-lapisan tersebut dimulai dengan kontrol proses yang aman dan efektif, diperluas ke lapisan pencegahan manual dan otomatis, dan dilanjutkan dengan lapisan untuk pengurangan konsekuensi dari suatu peristiwa. Lapisan pertama adalah Sistem Kontrol Proses Dasar (*Basic Process Control System, BPCS*). Sistem kontrol proses dasar ini, juga menyediakan keamanan yang signifikan melalui rancangan yang tepat dari kontrol proses [1,2].

Sistem Terinstrumentasi untuk Keselamatan, adalah sistem yang terdiri atas sensor-sensor (*sensors*), penentu logika (*logic solver*), dan elemen kontrol akhir (*final control element*) yang dirancang dan dipasang untuk perlindungan personal, peralatan, dan lingkungan melalui pengambilan proses untuk keadaan aman [3]. Sistem Terinstrumentasi untuk Keselamatan (*SIS*), akan melakukan tindakan apapun untuk pencegahan atau pengurangan risiko saat proses pada kondisi abnormal yang mungkin berbahaya. Sistem Terinstrumentasi untuk Keselamatan (*SIS*), adalah lapisan berikutnya dari perlindungan yang mengikuti rancangan proses, Sistem Kontrol Proses Dasar (*Basic Process Control System, BPCS*), dan intervensi dari alarm/operator. Lapisan perlindungan berikutnya juga disediakan oleh sistem kontrol dan operator sistem. Urutan penon-aktifan (*shutdown*) otomatis dalam sistem kontrol proses dikombinasikan dengan intervensi operator untuk penutupan proses, adalah lapisan keselamatan[1].

Sistem pemurnian uap merupakan salah satu proses utama dalam sistem produksi uap di *Geothermal Power Plant* (Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi). Peranannya begitu kritis, karena merupakan fasilitas terakhir sebagai pemasok uap ke turbin. Kondisi uap dengan persyaratan, baik dari segi kualitas maupun kuantitas mutlak harus dipenuhi. Salah satu aspek penting yang harus dilakukan untuk pencapaian kondisi tersebut, dilakukan melalui kepastian sistem instrumentasi dan kontrol dapat

beroperasi dengan baik dan minimasi semua potensi gangguan yang diakibatkan oleh kegagalan fungsi dari sistem kontrol tersebut. Semua sistem instrumentasi dan kontrol pada sistem pemurnian uap, digunakan *BPCS* [3].

Diagram skematis *BPCS* pada fasilitas pemurnian uap, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram skematis *BPCS* pada fasilitas pemurnian uap

Berdasarkan uraian tersebut diharapkan perolehan tujuan penelitian, berupa: a) perolehan analisis *Safety Integrity Level (SIL)* dan b) penentuan spesifikasi komponen *SIS*. Untuk perolehan tujuan penelitian dilakukan melalui tahapan-tahapan pada metode penelitian. Analisis berbasis *SIL* berupa penilaian potensi jenis bahaya yang ada, penyebab kondisi bahaya tersebut, kemudian potensi nilai kerugian, dan tingkat keserangan. Setelah diperoleh nilai *SIL* untuk masing-masing sistem instrumentasi pada sistem pemurnian uap, maka langkah selanjutnya berupa penentuan jenis dan konfigurasi komponen *SIS* yang akan dilaksanakan. Berpedoman kepada spesifikasi komponen, maka diperlukan satu atau beberapa buah komponen baru yang dipasang di posisi tertentu, dimana kelak akan memberikan sinyal berdasarkan pantauan terhadap kondisi bejana pemurnian uap.

Sistem instrumentasi dan kontrol pada sistem pemurnian uap, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Sistem instrumentasi dan kontrol pada sistem pemurnian uap

No.	Nama Alat	Jenis Sensor	Jumlah	Fungsi	Dampak (jika sensor/sistem terganggu)
1	<i>Flow Transmitter (FT)</i>	Orifice	1	pengukur aliran kondensat yang dikeluarkan dari bejana pemurnian uap	tidak terdapat pendeteksian
2	<i>Pressure Transmitter (PT)</i>	Bourdon tube	2 (1oo2)	pengukur tekanan uap dan sebagai sensor kontrol bagi <i>Programmable Logic Controller (PLC)</i>	pengontrolan menjadi terganggu
3			1	pengukur tekanan uap	
4	<i>Level Transmitter</i>	d/p	1	pengukur ketinggian air kondensat	tidak terdapat pendeteksian
5	<i>Level switch</i>	Pelampung	3 (2oo3)	pendeteksian keberadaan air dan pengiriman sinyal ke pengontrol turbin untuk dinon-aktifkan	air masuk dan kerusakan pada turbin
6	Katup pembuangan darurat	Solenoid-pnuematik	1	pembuangan kelebihan air kondensat	air masuk dan merusak turbin
7	<i>PLC Modicon Quantum</i>	Redundant	2 (1oo2)	sebagai sistem kontrol <i>BPCS</i>	semua sistem terganggu

Ketinggian air kondensat di dalam bejana, dideteksi oleh sebuah alat ukur *Level Transmitter (LT)* tipe *differential pressure* atau d/p, dengan batasan pembacaan dari 0 sampai 100%. Kondisi normal

operasi, ketinggian kondensat di dalam bejana dipertahankan di bawah 10%. Hasil pendeteksian *LT* berupa sinyal analog 4-20 mA yang dikirim ke alat pengontrol *BPCS*, yaitu *PLC*. Selanjutnya *PLC* memproses sinyal masukan tersebut menjadi dua sinyal keluaran. Sinyal pertama berupa sinyal *analog output (AO)* yang dikirim ke ruang kontrol untuk pembacaan secara *remote* oleh operator, satu sinyal lagi dalam bentuk *digital output (DO)* berupa kode 1 atau 0 dikirim ke katup pembuangan darurat. Jenis penggerak pada katup digunakan pneumatik atau tekanan udara dan akan membuka, jika *PLC* kirim kode 1 pada saat ketinggian air kondensat dibaca oleh *LT* mencapai 20%. Penutupan kembali katup tersebut hanya dapat dilakukan dengan bantuan operator melalui kontrol *interface* yang terdapat pada ruang kontrol. Perintah dari *interface* tersebut dikirim balik ke *PLC*, kemudian kirim sinyal tersebut dalam bentuk kode 0 ke katup untuk penutupan [4-8].

Peranti ukur lain berupa *Flow Transmitter (FT)* dan *Pressure Transmitter (PT)*. *Flow Transmitter* berfungsi untuk pembacaan nilai aliran kondensat yang dikeluarkan dari bejana pemurnian ke tempat penampungan lain. Sinyal keluaran dari *FT* berupa sinyal analog 4-20 mA yang dikirim ke *PLC* untuk diproses dan dikirim ke ruang kontrol dalam bentuk sinyal analog keluaran (*analog output, AO*), sedangkan *Pressure Transmitter (PT)* digunakan untuk pengukuran tekanan uap pada bejana pemurnian uap. Terdapat tiga buah *PT*, yaitu *PT-A*, *PT-B*, dan *PT-C*. Sinyal dari *PT-A* dan *PT-B* diterima oleh *PLC* untuk dilakukan pengontrolan nilai tekanan yang diinginkan berdasarkan target tekanan yang diinginkan. Sementara *PT-C* hanya digunakan untuk pembacaan tekanan saja. Semua indikasi dari ketiga *PT* tersebut dikirim ke ruang kontrol untuk pemantauan (pemantauan) oleh operator. Sistem proteksi yang saat ini diterapkan pada sistem pemurnian uap mengandalkan kepada tiga buah *Level Switch (LS)* yang dipasang secara seri atau bertingkat. Fungsi dan cara kerja dari ketiga *Level Switch (LS)* tersebut, adalah untuk pendeteksian keberadaan kenaikan kondensat atau air lainnya, sebelum dialirkan ke turbin dengan tipe 2003, artinya jika dua dari tiga *Level switch* itu aktif atau terjadi pendeteksian keberadaan air, maka akan kirim sinyal ke sistem kontrol pembangkit untuk penonaktifan turbin. *PLC* sebagai sistem kontrol *BPCS* menggunakan merk Modicon Quantum yang dipasang secara *redundant* atau dua sistem, artinya bahwa hanya satu unit *PLC* yang bekerja atau *onduty* dan yang satunya lagi dalam kondisi siap siaga atau *hot standby* yang siap mengambil alih fungsi kontrol apabila *PLC on duty* bermasalah [4-8].

2. Pembahasan

2.1. Analisis berbasis *Safety Integrity Level (SIL)*

Analisis berbasis *Safety Integrated Level (SIL)* dilakukan berdasarkan dua penilai yaitu, tingkat severitas atau konsekuensi terburuk yang akan terjadi berdasarkan asumsi bahwa semua fungsi sistem proteksi dan keselamatan yang ditunjukkan pada Tabel 1 yang mengalami gangguan, sedangkan penilaian satu lagi berdasarkan tingkat probabilitas atau keseringan gangguan tersebut dapat terjadi. Acuan penilaian terhadap severitas dan probabilitas dapat digunakan sebuah matrik. Matrik *SIL* terhadap severitas dan probabilitas, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Matriks *SIL* terhadap severitas dan probabilitas

		Probabilitas		
		<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Severitas	<i>High</i>	2	3	3
	<i>Medium</i>	2	2	3
	<i>Low</i>	1	2	2

Analisis berbasis *SIL* pada sistem pemurnian uap dilakukan berdasarkan penilaian potensi jenis bahaya yang ada, penyebab kondisi bahaya tersebut, kemudian potensi nilai kerugian serta tingkat keseringan berdasarkan data pada Tabel 1. Berdasarkan hasil penilaian masing-masing potensi bahaya, kemudian diperoleh nilai *SIL* yang penilaiannya merujuk pada Tabel 2. Keseluruhan hasil analisis *SIL* sistem pemurnian uap dibuat dalam tabel. Analisis *SIL* sistem pemurnian uap, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Analisis berbasis *SIL* untuk sistem pemurnian uap

No.	Jenis Bahaya	Penyebab	Konsekuensi (nilai kerugian)		Probabilitas (kemungkinan) terjadi	Nilai <i>SIL</i>
1	Air kondensat masuk ke turbin	<i>Level Transmitter</i> , katup pembuangan darurat, dan <i>Level Switch</i> tidak beroperasi	Turbin rusak (< US\$1,5M)	<i>Med</i>	<i>Low</i> (belum pernah terjadi)	2
2	Penurunan tekanan uap	<i>PLC</i> bermasalah	Kehilangan produksi listrik (< US\$ 100k)	<i>Low</i>	<i>High</i> (terjadi 2 kali)	2
3	Kehilangan indikasi laju aliran	<i>Flow Transmitter</i> tidak beroperasi	Tidak terdapat potensi kerugian dan bahaya yang ditimbulkan			

Berdasarkan hasil analisis berbasis *SIL* yang dilakukan, teridentifikasi 2 potensi bahaya tingkat 2 atau medium, yaitu:

- 1) Air kondensat masuk ke turbin yang akan merusak turbin, jika semua alat instrumentasi pendeteksi level mengalami gangguan. Usulan perbaikan yang perlu dilakukan adalah menambah satu *level switch high (LSH)* baru dengan jenis pelampung yang akan memberikan sinyal ke *PLC safety* untuk membuka katup darurat. Sementara untuk penutupan kembali katup tersebut dapat mengaktifkan *level switch low (LSL)* yang sudah ada. Sinyal dari LSH dan LSL akan terlebih dahulu dikirim ke *PLC safety* dan nantinya *PLC* yang akan memerintahkan katup untuk pembukaan atau penutupan.
- 2) Penurunan tekanan uap yang akan mengganggu produksi listrik yang disebabkan oleh kegagalan fungsi *PLC*. Usulan perbaikan adalah dengan pemasangan satu unit *PLC* tambahan, terpisah dari *PLC-BPCS* yang sudah terpasang, yaitu berupa tipe *PLC Safety* yang khusus untuk keperluan *SIS*.

Ringkasan rancangan pengembangan *SIS*, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Ringkasan rancangan pengembangan *SIS*

No.	Nama Alat	Fungsi		Manfaat Perubahan
		Sekarang	Usulan Perubahan	
1	Sensor	<i>Level transmitter (LT)</i> akan mengirim sinyal ke <i>PLC</i> untuk membuka katup darurat jika level mencapai 20%.	<i>LT</i> hanya akan difungsikan untuk pembacaan level saja.	(a) Tanggapan pembukaan katup akan lebih cepat (b) Pencegahan kiriman sinyal palsu ke katup, jika <i>LT</i> bermasalah
2		Tidak ada	Pemasangan satu <i>level switch high (LSH)</i> baru yang membuka katup darurat	
3		<i>Level switch low (LSL)</i> hanya kirim alarm saja	Selain fungsi alarm, <i>switch</i> akan digunakan untuk penutupan katup darurat	Tambahan opsi untuk penutupan katup selain perintah dari operator <i>interface</i>
4	<i>Logic Solver</i>	Hanya ada satu <i>PLC-BPCS</i>	Penambahan satu <i>PLC safety</i> untuk <i>SIS</i>	Pemisahan <i>PLC</i> akan membuat sistem lebih aman
5	Aktuator	Katup darurat membuka setelah mendapat sinyal dari <i>LT</i>	Katup darurat akan dibuka oleh sinyal <i>LSH</i> dan penutupan oleh sinyal <i>LSL</i>	(i) Tanggapan pembukaan katup akan lebih cepat (ii) Pencegahan kiriman sinyal palsu ke katup, jika <i>LT</i> bermasalah

Analisis berbasis *SIL* perlu dilakukan, karena fungsi *SIS* sebagai sistem proteksi yang akan melindungi keselamatan orang dan lingkungan, fasilitas operasi, dan tentunya reputasi dari perusahaan.

2.2. Spesifikasi komponen SIS

Konfigurasi komponen *SIS* sesuai persyaratan *SIL*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Konfigurasi komponen *SIS* sesuai persyaratan *SIL*

<i>SIL</i>	<i>Sensors</i>	<i>Logic Solver</i>	<i>Final Control Element</i> (berupa <i>actuator</i>)
3	Diperlukan dua sensor atau redundant (1oo2 atau 2oo3)	Diperlukan dua safety PLC atau redundant	Diperlukan satu dari dua aktuator yang beroperasi (1oo2)
2	Pertimbangkan untuk memasang 2 sensor atau sistem <i>redundant</i>	diperlukan <i>PLC safety</i>	Pertimbangkan untuk memasang 2 aktuator atau sistem <i>redundant</i>
1	Sensor tunggal	<i>PLC</i> tunggal	aktuator tunggal

Berdasarkan Tabel 5 ditunjukkan, bahwa persyaratan *SIL* tersebut perlu penjelasan konfigurasi komponen *SIS* yang diusulkan untuk antisipasi terhadap potensi bahaya 1 berupa potensi bahaya air kondensat masuk yang dapat berdampak kepada kerusakan pada turbin (*SIL* 2). Usulan konfigurasi *SIS* untuk potensi bahaya 1 (*SIL* 2), seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Usulan konfigurasi *SIS* untuk potensi bahaya 1 (*SIL* 2)

	<i>Sensors</i>	<i>Logic Solver</i>	<i>Final Control Element</i> (berupa aktuator)
persyaratan <i>SIL</i>	Pertimbangkan untuk pemasangan 2 sensor atau sistem <i>redundant</i>	Diperlukan <i>PLC safety</i>	Pertimbangkan untuk pemasangan 2 aktuator atau sistem <i>redundant</i>
kondisi saat analisis	Terdapat 3 <i>LSHH</i> dan 1 <i>LT</i>	Dikontrol oleh <i>PLC-BPCS</i>	Hanya satu katup darurat yang dikontrol <i>PLC-BPCS</i>
usulan langkah perbaikan	Pemasangan satu buah <i>level switch</i> baru tipe pelampung di posisi level sekitar 20% untuk dihubungkan ke katup darurat	Pemasangan satu <i>PLC-safety</i> terpisah	Tidak perlu tambahan katup, tetapi katup yang terpasang dihubungkan ke sebuah <i>level switch</i> baru

Penjelasan konfigurasi komponen *SIS* yang diusulkan untuk antisipasi potensi bahaya 2, yaitu potensi terjadinya penurunan tekanan uap karena gangguan *PLC* (*SIL* 2). Usulan konfigurasi *SIS* untuk potensi bahaya 2 (*SIL* 2), seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Usulan konfigurasi *SIS* untuk potensi bahaya 2 (*SIL* 2)

	<i>Sensors</i>	<i>Logic Solver</i>	<i>Final Control Element</i> (berupa aktuator)
persyaratan <i>SIL</i>	Pertimbangkan untuk pemasangan 2 sensor atau sistem <i>redundant</i>	diperlukan <i>PLC-safety</i>	Pertimbangan untuk pemasangan 2 aktuator atau sistem <i>redundant</i>
kondisi saat ini	Terdapat 3 <i>PT</i>	Dikontrol oleh <i>PLC-BPCS</i>	Terdapat 8 unit katup pengontrol tekanan uap
usulan langkah perbaikan	Tidak diperlukan penambahan	Pemasangan satu <i>PLC-safety</i> terpisah	Tidak diperlukan penambahan

3. Simpulan

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik simpulan sesuai tujuan penelitian. Berkenaan dengan hasil analisis berbasis *SIL*, diperoleh hasil berupa keberadaan potensi bahaya dengan indikasi *SIL*-2, yaitu air kondensat masuk ke turbin dan penurunan tekanan uap; sedangkan berkenaan dengan spesifikasi komponen diperoleh pertimbangan untuk pemasangan 2 aktuator atau sistem *redundant*.

Daftar Pustaka

- [1]. Barnard, G.S., 2013, "Safety Instrumented Systems", in *Handbook of Loss Prevention Engineering, Volume 1&2* (editor: J. M. Haight), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (Germany).
- [2]. Mitchell, Kevin J., 2010, *Safety Instrumented Systems Engineering Handbook*, Kenexis Consulting Corporation, Columbus, pages 22-30.
- [3]. Power Plant, 1992, "*Plant Instrumentation*", NUS Training Corp., Gaithersburg.
- [4]. Gruhn, Paul, Harry L. Cheddie, 2006, *Safety Instrumented Systems, Design, Analysis, and Justification*, 2nd Edition, ISA (The International Society of Automation), Durham.
- [5]. Goble, William M, 1998, *Control System, Safety Evaluation and Reliability*, ISA (The International Society of Automation), Durham.
- [6]. Summers, Angela E., 2009, *Safety Instrumented System (SIS)*, SIS-TECH Solution, Houston, pages 1-9.
- [7]. Anonymous, 2006, *Understanding Safety Integrity Level*, Magnetrol Corporation: Special Application Series, Chicago, pages 2-11.
- [8]. Hearn, William H. et al, 2009, *SIF Proof Testing Yields Process Sector Reliability Data*, SIS-TECH Solution, Houston, pages 1-8.