

STUDI UNJUK KERJA SISTEM PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR TIPE APR 1400

Nafi Feridian, Sriyana

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp/Fax: (021)5204243 E-mail: nafi@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI UNJUK KERJA SISTEM PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR TIPE APR 1400. Telah dilakukan studi sistem proteksi pembangkit (PPS) pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe Advanced Power Reactor (APR) 1400 yang merupakan salah satu sistem yang menjaga agar operasi PLTN APR 1400 tetap aman dan terkendali. Aspek pengendalian operasi PLTN merupakan aspek yang penting dalam menjamin beroperasinya PLTN dengan aman dan selamat. Untuk itu lingkup studi ini dibatasi pada unjuk kerja sistem PPS. Tujuan dilakukannya studi ini adalah untuk mengetahui kinerja PPS pada PLTN. Metodologi yang digunakan pada studi ini adalah studi literatur, pengumpulan data, serta melakukan review dan analisis. Studi ini menyimpulkan bahwa ada beberapa parameter pengukuran yang memicu sistem PPS untuk melakukan trip (pemadaman) reaktor, yaitu antara lain: tekanan pada komponen pressurizer terlalu tinggi atau terlalu rendah, volume air pada komponen pembangkit uap terlalu tinggi atau terlalu rendah, tekanan pada pengungku reaktor terlalu tinggi, aliran pendingin reaktor yang rendah. Namun begitu trip juga bisa dilakukan secara manual. Beberapa parameter tersebut diukur oleh beberapa sensor yang disusun secara paralel dan ditetapkan dengan nilai nominal tertentu sesuai dengan standar PLTN tipe APR 1400.

Kata kunci: Sistem Proteksi Pembangkit, sensor, penggerak batang kendali

ABSTRACT

NUCLEAR POWER PROTECTION SYSTEMS PERFORMANCE STUDY FOR APR 1400. A study on plant protection system (PPS) of advanced power reactor (APR) 1400 which is one of the system to maintain nuclear power plant (NPP) operation safe and controllable has been conducted. The controllability aspect of NPP operation is an important aspect to assure the NPP operation safe and reliable. Accordingly, the study is limited in the performance of PPS. The method used in the study includes literature study, data collection, as well as review and analysis. The purpose of this study is to recognize that PPS performance can assure the NPP operation safely and controllable. The study concludes that there are several measurement parameters that actuate PPS systems to trip the reactor such as high pressurizer pressure, low pressurizer pressure, high containment building pressure and also manual trip. These parameters are measured by parallel sensor with parallel arrangement set on set point suitable with APR 1400 safety standard.

Keywords: Plant Protection System (PPS), APR 1400, sensor, control element drive mechanism

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dirancang agar energi nuklir yang terlepas dari proses fisi dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dalam kehidupan sehari-hari. Berbagai tipe PLTN telah beroperasi di dunia seperti, *Pressurized Water Reactor* (PWR), *Boiling Water Reactor* (BWR), *Pressurized Heavy Water Reactor* (PHWR), *Gas Cooled Reactor* (GCR), dan lain-lain. Data IAEA tahun 2007 menunjukkan bahwa jumlah PWR 264 unit, BWR 93 unit, PHWR 42 unit dan GCR 18 unit [1].

Advanced Power Reactor (APR) 1400 merupakan PLTN tipe PWR yang menggunakan air ringan (H_2O) sebagai pendingin dan sekaligus moderator. Sebagaimana PLTN tipe PWR, APR 1400 menggunakan dua macam siklus pendingin, yaitu pendingin primer dan sekunder. PLTN tipe PWR merupakan teknologi yang telah teruji dan mempunyai keandalan operasi dan keselamatan yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan oleh jumlah PLTN tipe ini adalah yang terbanyak, baik yang beroperasi maupun yang sedang dibangun yaitu sekitar 60% [1].

Salah satu sistem pada PLTN PWR adalah sistem pendingin reaktor (*Reactor Coolant System*, RCS). Sistem pendingin reaktor terdiri dari sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Sistem pendingin primer merupakan rangkaian sirkulasi air tertutup yang berfungsi untuk memindahkan panas yang dihasilkan pada proses pembelahan inti uranium ke sistem sekunder melalui perangkat pemindah panas pada pembangkit uap. Dengan adanya dua sistem pendingin yang terpisah ini, maka sirkulasi air yang berada pada sistem pendingin primer tidak akan tercampur dengan sistem sekunder, sehingga dapat menjaga terhindarnya risiko kebocoran zat-zat radioaktif ke sistem sekunder [2].

Untuk memastikan bahwa proses reaktor beserta beberapa komponen pendinginnya aman dan terkendali, maka diperlukan suatu sistem yang melindungi dan mengendalikan reaktor dari kondisi kecelakaan, sistem ini disebut dengan sistem proteksi pembangkit. Secara umum pada PLTN tipe PWR sistem proteksi pembangkit melindungi sistem pendingin primer dan melibatkan beberapa komponen pendinginan antara lain: pembangkit uap, *pressurizer*, pompa pendingin primer dan beberapa pipa-pipa penghubung [3]. Mengingat pentingnya sistem proteksi, maka pada makalah ini akan dibahas: sejauh mana sistem proteksi pembangkit dapat memastikan bahwa operasi PLTN APR 1400 aman dan terkendali, parameter-parameter apa saja yang mempengaruhi operasi reaktor dihentikan dan variabel apa saja yang mendukung sistem proteksi pembangkit. Diharapkan dengan mengetahui bekerjanya sistem proteksi dan parameter terkait operasinya, akan diketahui karakteristik operasi PLTN dari aspek instrumentasinya. Perlu diketahui pula bahwa PLTN memiliki potensi resiko radiasi, sehingga dengan diketahui karakteristik instrumentasi proteksi reaktor maka akan dapat menjaga potensi radiasi agar aman bagi operator dan masyarakat pada umumnya. Hal ini dapat menunjukkan tingkat keamanan dari sistem PLTN tersebut.

Metode yang digunakan dalam studi ini meliputi pengumpulan data dan informasi dari pustaka mengenai PLTN, studi literatur dan analisis data sekunder yang diperoleh dari *advanced power reactor 1400 standard safety analysis report* serta melakukan analisis. Dengan studi ini diharapkan dapat diketahui sejauh mana sistem proteksi pembangkit dapat memastikan bahwa operasi PLTN APR 1400 aman dan terkendali. Dengan demikian dapat mendukung dan memberikan masukan kepada institusi terkait rencana pembangunan PLTN, khususnya untuk pemilihan jenis teknologinya.

2. DISKRIPSI SISTEM PROTEKSI PLTN

Sistem proteksi pembangkit (*Plant Protection System*, PPS) pada PLTN APR 1400MWe meliputi rangkaian mekanik dan elektrik yang diperlukan untuk membentuk fungsi

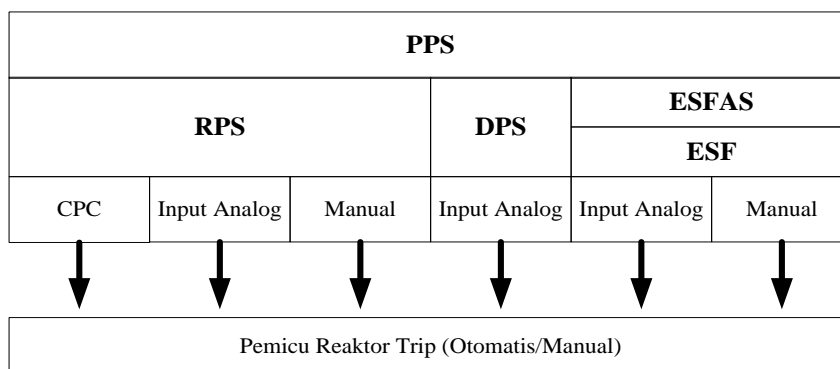
keselamatan yang berhubungan langsung dengan:

- Sistem Proteksi Reaktor (*reactor protection system, RPS*)
RPS adalah bagian dari PPS yang melakukan pemadaman (*trip*) reaktor ketika diperlukan
- Sistem Pemicu Fitur Keselamatan Terekayasa (*Engineered Safety Feature Actuation System, ESFAS*)
ESFAS adalah bagian PPS yang mengaktifkan sistem fitur keselamatan terekayasa (*Engineered Safety Features, ESF*)
- Sistem Proteksi Lainnya (*Diverse Protection System, DPS*)
DPS adalah suatu sistem yang melakukan opsi lain untuk melakukan *trip* reaktor untuk mengantisipasi adanya ATWS (*Automatic Transient Without Scram*)

Secara garis besar seperti terlihat pada Gambar 1 sistem PPS berfungsi untuk memicu *trip* reaktor secara manual/otomatis yang didukung oleh beberapa sistem pendukungnya, antara lain: sistem RPS, DPS, ESF, ESFAS serta beberapa masukan (*input*) analog dan manual^[2].

Untuk memicu sinyal RPS, DPS dan ESFAS, sistem proteksi pembangkit dibantu oleh beberapa peralatan pendukung yaitu:

- Sensor yang merupakan alat ukur diletakkan pada lokasi tertentu sesuai dengan Tabel 1
- Kabinet Proses Instrumentasi. Kabinet ini merupakan peletakan perangkat proses instrumentasi secara keseluruhan, baik pendukung proteksi maupun perangkat PPS.
- Pendukung proteksi kabinet. Kabinet ini berisi sistem penghitungan DNBR, posisi CEA, perangkat isolasi, saluran keselamatan sistem sensor kecepatan pompa pendingin reaktor, dan *remote input multiplexer* untuk sistem monitor. Kabinet ini berdiri sendiri dan terdapat empat saluran isolasi listrik dan fisik.
- Kabinet perangkat PPS. Kabinet ini meliputi penggambar proses sinyal saluran keselamatan sistem monitor fluks neutron luar teras, *bistable circuit*, matrik logika, sirkuit awal, sirkuit *bypass*, sirkuit tes, panel kondisi lokal, dan catu daya. Kabinet ini berdiri sendiri dan memberikan empat saluran isolasi termal dan fisik. Indikator dan modul jarak jauh pada ruang kendali memberikan semua informasi dan kendali yang diperlukan bagi operator.
- Modul pengendali PPS yang berfungsi untuk memberitahu operator terkait dengan *Bypass, Trip* dan *pretrip*
- Peralatan pemicu, yang terdiri dari:
 - ✓ *Switchgear* untuk *trip* reaktor
 - ✓ Kabinet rele pendukung ESFAS
 - ✓ Penggerak batang kendali (*Control Element Drive Mechanism, CEDM*)
 - ✓ Beberapa komponen pemicu ESF



Gambar 1. Sistem Proteksi Pembangkit dan Sistem Pendukungnya^[2]

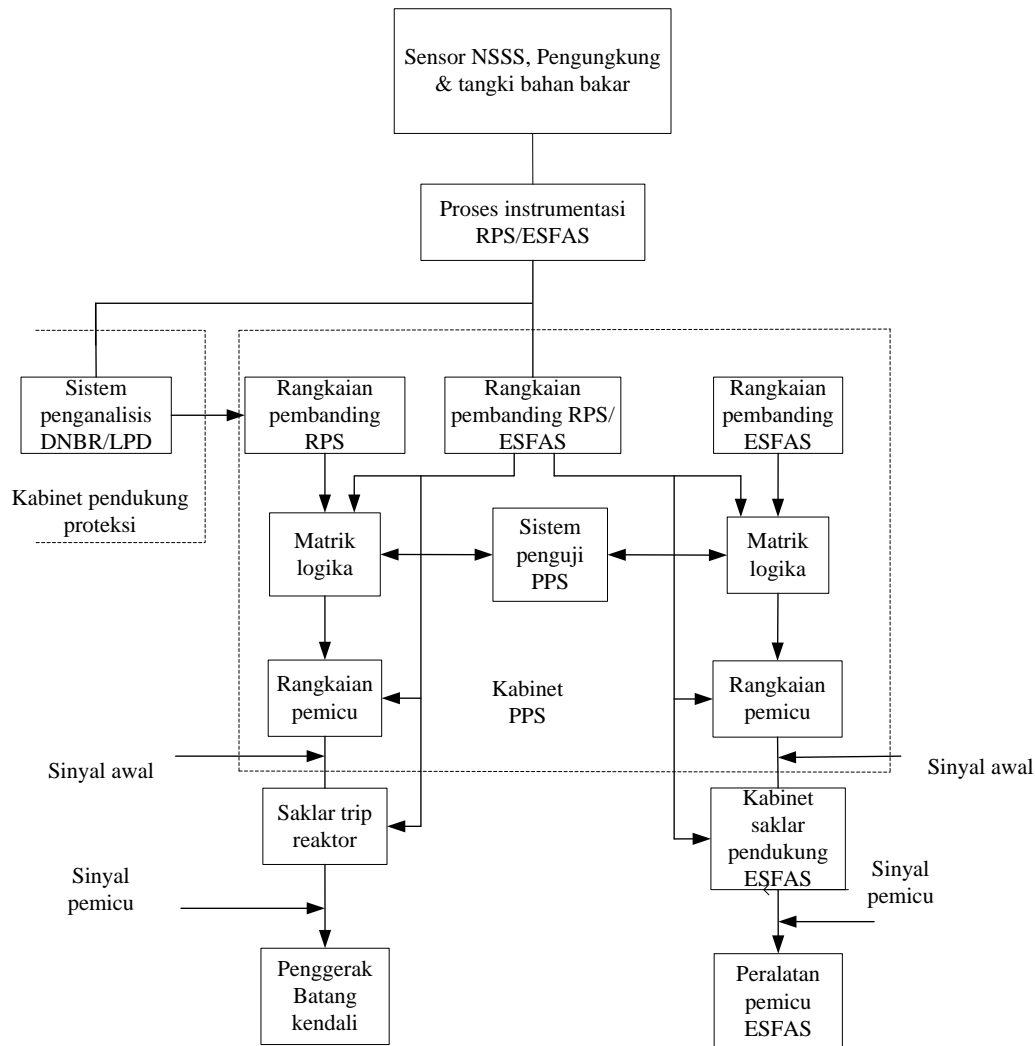
Pada PPS setiap parameter proses dikontrol oleh empat saluran instrumentasi yang disusun secara paralel dan terpisah dari saluran kendali pembangkit. Hasil pengukuran dari masing-masing instrumentasi dibandingkan dengan nilai titik pengesetan pengukuran yang sudah ditentukan. Bila terdapat dua perhitungan instrumentasi yang mencapai nilai titik pengesetan, maka sistem ESF diaktifkan dan reaktor akan dipicu untuk melakukan *trip*.

Tabel 1. Peletakan beberapa sensor pada parameter yang dimonitor^[4].

Parameter yang Dimonitor	Tipe Sensor	Jumlah Sensor	Lokasi
Temperatur <i>Cold Leg</i>	<i>Precision Resistance Temperature Detector (RTD)</i>	8	Pipa <i>Cold Leg</i>
Temperatur <i>Hot Leg</i>	<i>Precision RTD</i>	8	Pipa <i>Hot Leg</i>
Tekanan Bejana Tekan (<i>Reactor Pressure Vessel, RPV</i>)	<i>Pressure Transmitter</i>	4	Bejana Tekan
Kecepatan pompa pendingin reaktor	<i>Proximity Sensor</i>	4/ pompa	Pompa pendingin reaktor
Level generator uap	<i>Differential pressure transmitter</i>	8/ pembangkit uap	pembangkit uap
Tekanan generator uap	<i>Pressure transmitter</i>	4/ pembangkit uap	pembangkit uap
Tekanan pengungkung	<i>Pressure transmitter</i>	4	Struktur pengungkung

Sensor, lokasi sensor dan parameter yang dimonitor juga menentukan tingkat pentingnya sistem proteksi. Artinya sensor yang diletakkan pada lokasi tertentu dan ditugasi untuk memonitor parameter yang penting bagi keselamatan, maka sensor tersebut memiliki tingkat keselamatan yang lebih tinggi. Tabel 1 di atas memberikan gambaran parameter yang dimonitor, tipe sensor, jumlah sensor dan lokasi pemantauan (oleh sensor).

Gambar 2 di bawah, menunjukkan diagram blok sederhana sistem proteksi reaktor. Dalam gambar tersebut dapat dijelaskan secara umum bahwa beberapa sensor yang diletakkan pada sistem primer reaktor nuklir (*Nuclear Steam Supply System, NSSS*). Sinyal yang diberikan diolah oleh beberapa sistem, antara lain: proses instrumentasi RPS, rangkaian pembanding RPS/ESFAS, rangkaian pemacu, sistem penguji PPS, matrik logika yang digunakan untuk pengambilan keputusan tindakan instrumentasi, saklar trip reaktor dan penganalisis *Departure Nucleat Boiling Ratio (DNBR)*. Proses instrumentasi ini akan memberikan sinyal ke penggerak batang kendali agar supaya reaktor segera dipadamkan jika terjadi keadaan bahaya.



Gambar 2. Susunan komponen dan sistem pendukung proteksi pembangkit^[3]

3. PEMBAHASAN

Untuk melakukan pemantauan terhadap beberapa komponen yang merupakan peralatan vital dari operasi PLTN, maka diletakkan beberapa sensor yang dapat melakukan pengukuran parameter yang merupakan masukan utama dari rangkaian sistem proteksi PLTN. Sensor-sensor tersebut diletakkan pada beberapa lokasi penting yang biasanya mengalami kerusakan atau bila terjadi keadaan tidak normal sensor tersebut dapat segera memberikan informasi. Peletakan beberapa sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk masing-masing parameter yang dimonitor ditempatkan paling sedikit 4 sensor, hal ini bertujuan agar akurasi pengukuran bisa dicapai optimal, yaitu bila ada salah satu sensor saja yang memberikan informasi bahwa ada ketidaknormalan pada operasi pembangkit, tanda bahaya akan segera diinformasikan kepada para operator. Pada saat itu para operator harus segera mengambil tindakan untuk mengevaluasi segala sesuatunya sesuai dengan prosedur standar keamanan sehingga akan segera diputuskan bahwa operasi pembangkit harus segera dimatikan atau masih bisa dioperasikan.

Untuk melakukan pengukuran, sensor-sensor tersebut sebelumnya ditetapkan pada

kisaran nilai parameter tertentu, yaitu sesuai dengan batas kondisi normal yang diinginkan, di atas atau di bawah kondisi normal dengan nilai kisaran tertentu sensor akan menginformasikan keadaan tidak normal pada parameter yang diukur, untuk lebih jelasnya di bawah ini akan diuraikan dalam bentuk tabel terkait dengan beberapa parameter yang diukur oleh sensor beserta nilai yang ditetapkan (titik pengesetannya).

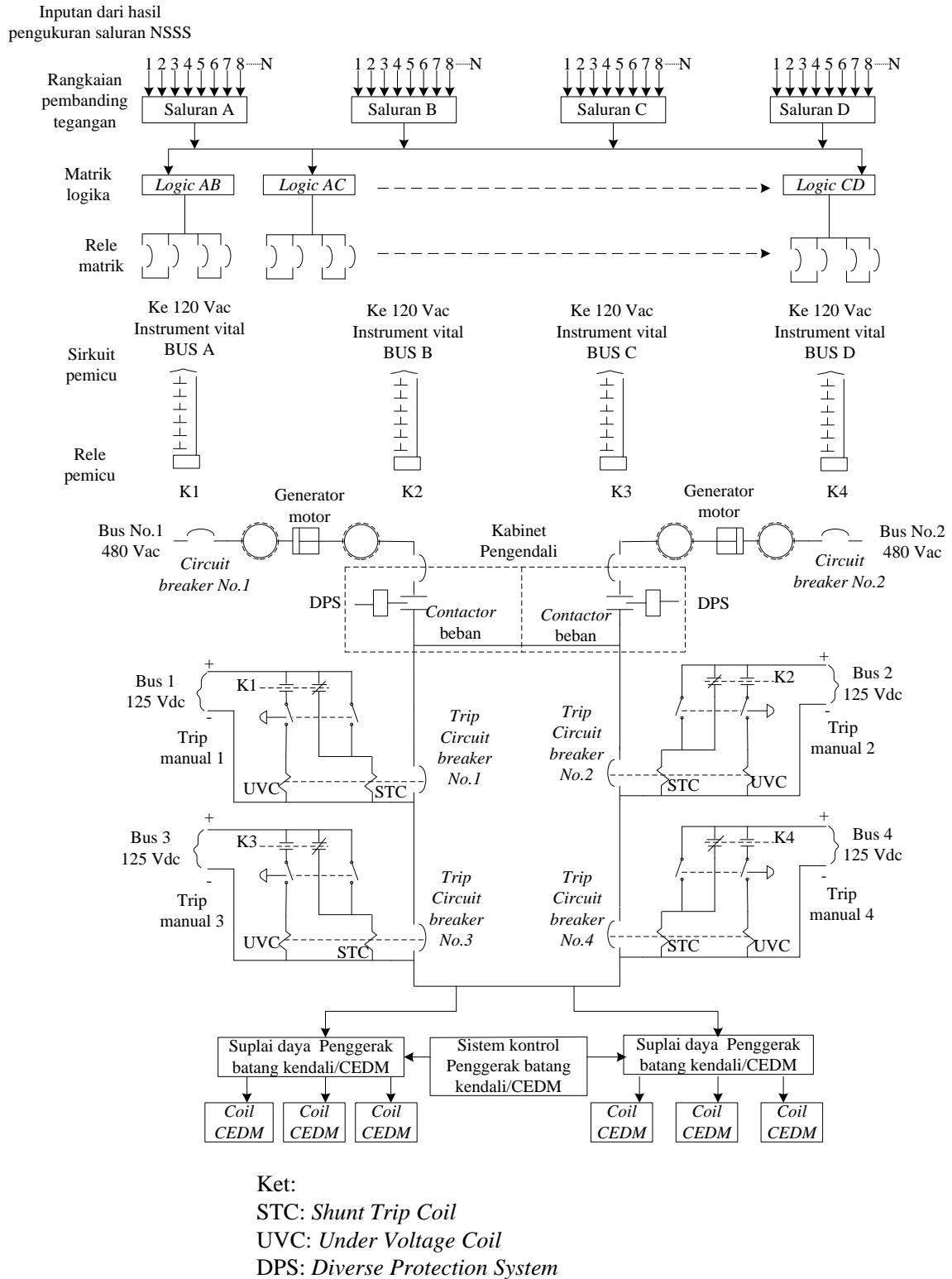
Tabel 2 di bawah, menjelaskan bahwa masing-masing sensor ditentukan dengan nilai nominal *trip* tertentu sesuai dengan jenis parameter yang diukur, yaitu apabila ketika sensor melakukan pengukuran mendapatkan nilai nominal *trip* yang sudah ditentukan maka sensor tersebut akan segera menginformasikan data tersebut ke input/masukan rangkaian sistem proteksi pembangkit. Informasi dari sensor tersebut kemudian diolah oleh rangkaian sistem proteksi pembangkit yang pada akhirnya akan dievaluasi apakah proses operasi reaktor harus segera dihentikan atau masih tetap bisa operasi meski ada beberapa sarat yang harus dipenuhi supaya operasi reaktor tetap dalam keadaan aman dan terkendali.

Kinerja PPS seperti terlihat pada Gambar 3 dibagi menjadi empat saluran paralel, disebut A, B, C, dan D. Setiap saluran merupakan masukan dari beberapa sensor yang memonitor beberapa variabel seperti terlihat pada Tabel 1. Setiap komponen bisa diukur oleh beberapa sensor yang disusun secara paralel, hal ini bertujuan untuk lebih meningkatkan keakuratan dari hasil pengukuran. Sinyal analog dari hasil pengukuran beberapa sensor tersebut dikirim ke rangkaian pembanding tegangan di mana sinyal masukan dibandingkan dengan titik pengesetan (*set point*) yang telah ditentukan sebelumnya, sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Nilai nominal trip pada masing-masing pengukuran sensor^[4].

Parameter yang dimonitor	Nilai nominal dalam operasi normal	Nilai nominal trip	Batas nilai nominal trip
Temperatur <i>Cold Leg</i> (rendah), (°C)	290.6	<262.2	-28.4
Temperatur <i>Cold Leg</i> (tinggi), (°C)	290.6	>310.6	+20
Tekanan Bejana Tekan (rendah), (psia)	2250	<1807	-443
Tekanan Bejana Tekan (tinggi), (psia)	2250	>2374	+124
Level air generator uap (rendah), (%)	76.8	<45	-31,8
Tekanan generator uap (rendah), (psia)	1000	<855	-145
Tekanan pengungkung, (psig)	0	>2	+2

Proses pengukuran dilakukan oleh beberapa sensor yang disusun secara paralel yang bertujuan untuk memberikan variasi rangkaian pembanding tegangan agar didapatkan hasil analisis pengukuran yang tepat dan aman sehingga akan didapatkan proses *startup*, operasi dan pemadaman reaktor yang aman dan terkendali. Rangkaian pembanding tegangan akan menghasilkan suatu informasi yang akan diolah oleh rangkaian rele matrik dan selanjutnya merupakan sinyal *trip* yang secara langsung dapat memberikan interupsi yang mengindikasikan supaya proses reaktor dipertimbangkan untuk dihentikan.



Gambar 3. Rangkaian Sistem Proteksi Pembangkit (PPS)^[3]

Variabel nilai titik pengesetan pada rangkaian pembandingan tegangan dapat dilakukan dengan mengatur beberapa tombol inputan yang ada di kabinet pengendali dan dapat diset-ulang secara manual dan otomatis. Empat saluran proteksi disusun dalam enam

logika AND yaitu AB, AC, AD, BC, BD dan CD. Hal ini menunjukkan semua kemungkinan kombinasi *trip* untuk keempat saluran proteksi. Keenam matrik logika yang berisi rangkaian "and" terkoneksi seri dengan dua set rele matrik paralel yang disuplai oleh tegangan DC. Sinyal informasi dari rele matrik pada akhirnya akan diteruskan ke saluran bus yang mengarah ke saluran pengendali yang berfungsi sebagai pemacu. Sistem ini berkerja pada selang tegangan antara 120 Vac sampai 125 Vac.

Informasi yang dihasilkan oleh matrik logika yang telah diolah oleh peralatan rele matrik selanjutnya diolah oleh circuit pemacu yang akhirnya akan menggerakkan rele pemacu yang terdiri dari 4 buah saluran K1, K2, K3 dan K4. Pada akhirnya keempat rele pemacu tersebut memberikan sinyal arus pada komponen *Shunt Trip Coil (STC)* dan *Under Voltage Coil (UVC)* yang kemudian memicu tegangan dari Bus 1, 2, 3 dan 4 untuk memasok tegangan 125 Vdc pada masing-masing komponen *trip circuit breaker*. Tegangan tersebut menyebabkan *trip circuit breaker* 1,2,3 dan 4 dalam posisi terhubung, sehingga secara otomatis akan menghubungkan rangkaian kabinet pengendali dengan suplai daya CEDM. Di samping dapat dikendalikan oleh keempat rele pemacu, komponen *trip circuit breaker* juga bisa dikendalikan secara manual.

Rangkaian kabinet pengendali dikontrol oleh *Diverse Protection System (DPS)* yang menggunakan beberapa inputan parameter dan logika *trip* yang terpisah dengan saluran proteksi PPS tetapi hasil perhitungan dari DPS dapat digunakan oleh PPS sebagai pertimbangan perlunya untuk men-*trip* reaktor. Sinyal *trip* dari masing-masing saluran DPS disuplai secara mandiri, sinyal *trip* tersebut dapat menggerakkan dua buah generator motor yang pada akhirnya memberikan daya ke rangkaian batang kendali, sehingga menyebabkan operasi reaktor menjadi berhenti. DPS juga memicu sistem keselamatan pendukung air umpan ketika level air pada pembangkit uap turun pada keadaan tidak normal.

Sinyal pemacu akhir dari rangkaian sistem proteksi reaktor adalah pasokan daya yang memasok komponen penggerak batang kendali yang kemudian disebut dengan sistem penggerak *trip* reaktor (*Reactor Trip Switchgear System, RTSS*). Masing-masing RTSS diletakkan pada kabinet yang terpisah dan setiap RTSS memiliki satu unit *circuit breaker*. Pemasok daya penggerak batang kendali ini dikontrol oleh sistem kontrol penggerak batang kendali yang pada akhirnya akan memberikan tegangan dan arus pada *coil* CEDM sehingga proses reaktor akan dihentikan dengan jatuhnya elemen batang kendali.

Pengetahuan tentang sistem instrumentasi PLTN ini penting dalam rangka pemahaman tentang bagaimana sistem PLTN dikendalikan agar aman, baik bagi pekerja radiasi maupun masyarakat pada umumnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi pembangkit mampu mengendalikan operasi PLTN APR 1400 aman dan terkendali karena setiap saluran pengukuran didukung oleh rangkaian pembanding tegangan yang membandingkan beberapa pengukuran parameter yang telah diset dengan nilai nominal tertentu dengan sensor pengukuran yang disusun secara paralel, minimal 4 sensor untuk tiap parameter pengukuran. Ini menunjukkan bahwa konsep redundansi dan diversitas diterapkan dalam sistem instrumentasi, yang sekaligus menjamin keandalan sistem operasi PLTN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] IAEA, *Reference Data Series No. 2 : Nuclear Reactor in the World*, 2007 Edition.
- [2.] PUSAT PENGEMBANGAN ENERGI NUKLIR & FAKULTAS TEKNIK FISIKA NUKLIR.

Studi Teknologi PLTN PWR, PHWR dan Bahan Bakar DUPIC2005. (Laporan Penelitian) BATAN dan Universitas Gajah Mada.

- [3.] BADAN TENAGA ATOM NATIONAL & KOREA ELECTRIC POWER CORPORATION (KEPCO). *Preliminary Report for Joint Study on the Construction of KSN-1000 in Indonesia (II)*, Jakarta 1998
- [4.] KOREA HYDRO & POWER COMPANY. *Advanced Power Reactor 1400 SSAR 2003*.
- [5.] MOCIE & KHNP. *Project Management Training Course on Korean Nuclear Power Technology*, Busan, South Korea 2007.