

KAJIAN PENGGANTIAN MODUL CATU-DAYA SUB-RAK AKTUASI-PROTEKSI PADA SIK REAKTOR KARTINI

¹Achmad Suntoro, ¹Ikhsan Shobari

²Muhamad Subchan, ²Zulfikar Elran Bagaskara

1) Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN

Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314

2) Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN

Jln. Babarsari, Yogyakarta 6101

suntoro@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PENGGANTIAN MODUL CATU-DAYA SUB-RAK AKTUASI-PROTEKSI PADA SIK REAKTOR KARTINI. Kajian untuk mengganti catu-daya analog dengan catu-daya switching pada sub-rak Aktuasi-Proteksi SIK Reaktor Kartini dilakukan. Penggantian ini untuk meningkatkan kehandalan operasional reaktor Kartini dalam hal proses perawatan perbaikan, yaitu mengganti komponen elektronik yang bersifat semi-modular menjadi modular-penuh, sehingga waktu proses perawatan dapat dipersingkat. Pengkajian dilakukan dengan menganalisis keuntungan dan kerugian dari catu-daya switching sebagai pengganti dari catu-daya analog dalam hal kinerja operasional nya. Percobaan dilakukan untuk melihat secara detail kondisi tertentu yaitu transient dari kedua catu-daya untuk melihat perbedaan yang mungkin terjadi. Dari kajian menunjukkan bahwa penggantian bisa dilakukan dan tidak akan menurunkan unjuk kerja operasional dari SIK.

Kata kunci : Catu-daya analog, catu-daya switching, kajian penggantian, waktu-perawatan.

ABSTRACT

A STUDY OF REPLACEMENT OF ACTUATION-PROTECTION SUB-RACK POWER SUPPLY MODULE IN THE I & C KARTINI REACTOR. A study to replace the linear power supply with the switching system on the Actuation-Protection sub-rack of I & C Kartini Reactor has been carried out. This replacement is to improve operational reliability of the Kartini reactor in terms of the repair maintenance process, namely replacing electronic components from semi-modular to fully-modular, so that the maintenance process time can be shortened. The assessment is carried out by analyzing the advantages and disadvantages of switching supplies as a substitute for linear power supplies in terms of operational performance. An experiment was carried out to see in detail on specific phenomena which are the transient conditions of the two power supplies to see the differences that might occur. The study shows that replacement can be done and will not reduce the operational performance of the I & C.

Keywords: Analog power-supply, ching power-supply, study of replcement, maintenance-time.

1. PENDAHULUAN

Power-Supply atau Catu-Daya pada sistem instrumentasi merupakan modul atau rangkaian-listrik yang akan memberi daya listrik kepada modul lain atau rangkaian listrik / elektronik lain dalam sistem agar secara menyeluruh perangkat instrumentasi dalam sistem tersebut dapat bekerja sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Persyaratan umum dari sebuah catu-daya yang harus dipenuhi dalam operasionalnya meliputi perihal tegangan input, tegangan output, arus output, total daya listrik yang diperlukan, efisiensi yang dipersyaratkan, *ripple* maksimum yang diperbolehkan dan persyaratan *Electromagnetic Compatibility* (EMC). Catu-daya jenis analog telah digunakan selama ini pada Sistem Instrumentasi & Kendali (SIK) reaktor Kartini dan tidak ditemui masalah mendasar dalam hal operasional pemberian daya listrik nya.

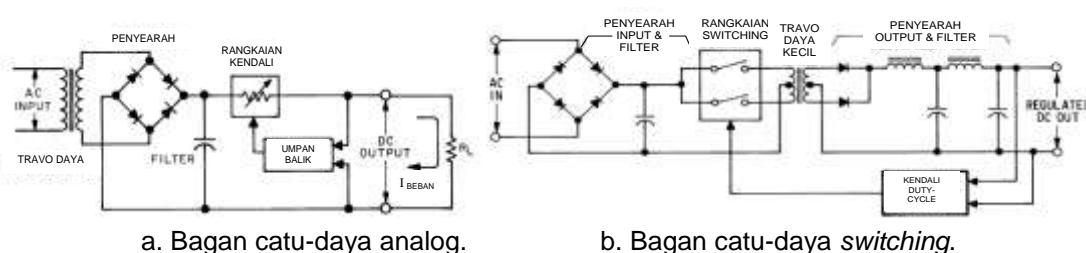
Namun demikian tim perawatan-proaktif reaktor nuklir Kartini melihat bahwa portabilitas modul catu-daya tersebut terasa menjadi hambatan bagi team perawatan perbaikan khususnya jika catu-daya tersebut mengalami gangguan / kerusakan. Perbaikan dengan cepat menggunakan metode *plug & play* yaitu modul catu-daya langsung diganti dengan modul yang baik, dan yang rusak diperbaiki nanti di lab-elektronika, tidak di lokasi dimana rak instrumen berada, tidak bisa dilakukan. Hal ini disebabkan catu-daya analog yang digunakan masih bersifat semi-modular, artinya tidak semua komponen dari catu-daya tersebut berada di modul, tetapi ada yang secara permanen berada di sub-rak instrumen, sehingga proses perbaikan tidak semudah dan secepat jika dibandingkan dengan catu-daya yang dibuat dalam bentuk modul yang menyeluruh. Tuntutan kecepatan dan kemudahan dalam proses perbaikan menjadi pemicu untuk mengganti semi-modular catu-daya analog yang ada di SIK reaktor Kartini dengan modul catu-daya jenis *switching* yang telah banyak digunakan di dunia industri^[1, 2, 3]. Tuntutan ini sesuai dengan program Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) khususnya Bidang Reaktor dalam rangka meningkatkan pelayanan operasi Reaktor Kartini. Untuk itu perlu perubahan metode perawatan / perbaikan dari yang biasa dilakukan dengan tidak mengurangi persyaratan desain dan sistem operasi dari SIK.

Perubahan pola kerja perawatan ini hanya dapat dilakukan bila sistem instrumentasi yang digunakan mengadopsi sistem modular, karena tanpa sistem modular tidak mungkin pola *plug and play* dijalankan. Penggunaan waktu perawatan perbaikan secara efektif dan efisien di lokasi perangkat, berarti meningkatkan kehandalan dari perangkat. Proses penggantian ke sistem modular tersebut pada SIK reaktor Kartini akan dilakukan secara bertahap. Dalam makalah ini, kajian penggantian catu-daya aktuasi proteksi pada SIK reaktor Kartini yang belum bersifat modular dilakukan. Kajian ini dilakukan sebelum penggantian catu-daya tersebut dilakukan secara permanen menjadi catu daya yang bersifat modular, yaitu menggunakan *Switch Mode Power Supply* (SMPS).

2. DASAR TEORI

2.1. *Switch Mode Power Supply* (SMPS)

Perbedaan mendasar antara pola kerja catu-daya analog dengan catu daya-*switching* ditunjukkan pada Gambar 1^[4]. Pengendalian tegangan output pada catu-daya analog agar sesuai dengan yang diinginkan dilakukan melalui sistem umpan-balik terhadap tegangan DC yang telah distabilkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.a. Dengan umpan balik tersebut besar tegangan dan stabilitasnya selalu dijaga. Berbeda dengan catu-daya *switching*, pengendalian tegangan output dilakukan dari tegangan DC yang dirubah kembali menjadi AC dengan frekwensi tinggi (20 s/d 500 KHz.) menggunakan teknik *switching*, yang dihubungkan ke transformator frekwensi tinggi untuk mendapatkan tegangan output yang diinginkan. Pengendalian dengan umpan balik dilakukan melalui sistem *switching* tersebut dengan mengatur waktu aktif (ON) dan non-aktifnya (OFF) nya (*duty-cycle*) sehingga tegangan luaran dari transformator yang kemudian disearahkan (DC) sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 1. Perbedaan antara catu-daya liner dan *switching*^[4].

Teknologi catu-daya *switching* bermula dengan ditemukannya transistor bipolar untuk tegangan tinggi diakhir tahun 60an^[3, 5, 6] dan terus meningkat popularitas serta perkembangan teknologi yang digunakan nya dalam kurun waktu 40 tahun terakhir ini yang tidak menjadi masalah di sebagian besar dunia industri^[1, 2, 3].

Rangkaian catu-daya *switching* (SMPS) tersusun dari induktor dan kapasitor yang bersifat dapat menyimpan energi, serta transistor dan penyearah yang dapat mengendalikan energi tersebut. Bagaimana komponen tersebut dirangkai dalam sistem SMPS ini akan membentuk sebuah konfigurasi yang disebut dengan topology. Banyak sekali kemungkinan topology yang bisa dibuat untuk tujuan SMPS, namun demikian hanya beberapa jenis topology yang praktis digunakan dalam desain^[7].

Catu-daya menggunakan teknologi *switching* ini, ukuran transformator yang digunakan akan lebih kecil dan makin kecil seiring dengan makin tingginya frekwensi yang digunakan, sehingga secara menyeluruh catu-daya dengan teknologi *switching* akan memiliki ukuran yang lebih kecil untuk jumlah daya yang sama^[8]. Penggunaan frekwensi tinggi pada teknologi ini akan menimbulkan noise gelombang elektromagnetik lain yang menyebar melalui jalur radiasi dan konduksi sehingga berpotensi mengganggu modul-modul lain dalam sistem. Selain itu juga memiliki waktu pulih transien, *overshoot* dan *undershoot* yang lebih besar dari catu-daya analog. Namun demikian, perkembangan di dunia elektronik, seperti penggunaan teknik *zeroswitching*, dapat menekan *ripple* dan noise dari SMPS^[9]. Secara singkat keunggulan dan kelemahan dari catu-daya *switching* ditunjukkan oleh Tabel-1^[8, 10].

Tabel 1. Keunggulan dan kelemahan catu-daya *switching*^[7, 9].

Keunggulan		Kelemahan	
1	Ukuran kecil (volume)	1	Rangkaian elektroniknya kompleks.
2	Ringan (berat)	2	<i>Ripple</i> tinggi dan regulasi jelek.
3	Efisiensi tinggi	3	Hanya untuk penurun tegangan.
4	Tahan interferensi	4	Hanya bisa satu tegangan.
5	Daerah kerja tegangan output lebar	5	Noise listrik tinggi
6	Sedikit mengeluarkan panas	6	Bisa menimbulkan distorsi penyebab gelombang <i>harmonics</i> .

2.2. Kondisi Catu-daya SIK Reaktor Kartini

Reaktor Kartini dapat beroperasi dengan aman dan selamat karena didukung oleh beberapa sistem perangkat diantaranya yaitu sistem catu-daya AC, sistem catu-daya DC, sistem ventilasi, sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, dan sistem instrumentasi & kendali (SIK). Dari beberapa sistem pendukung tersebut, SIK dalam makalah ini perlu mendapat perhatian dalam hal perawatan perbaikannya, untukantisipasi jika mengalami gangguan pada sistim tersebut. Perubahan utamanya adalah merubah tata laksana metode perawatan perbaikan menjadi yang lebih efisien dalam proses penggunaan waktu pelaksanaannya, yaitu teknik *plug and play* yang belum sepenuhnya dapat dijalankan.

Komponen Sistim Instrumentasi Kendali (SIK) terkumpul dalam satu rak-SIK seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Di dalam rak tersebut terdapat 6 Sub-rak dengan fungsi masing-masing yang berbeda dan memiliki modul-modul elektronik didalamnya. Salah satu sub-rak tersebut adalah sub-rak Aktuasi Proteksi yang berfungsi mengaktifkan perangkat proteksi atas perintah dari komponen lain dalam SIK. Sub-rak Aktuasi Proteksi terdiri dari 7 modul elektronik seperti ditunjukkan pada Tabel 2, dimana 4-modul merupakan modul catu-daya analog. Modul catu-daya ini belum bersifat modular penuh karena ada komponennya yang berada melekat di sub-rak nya, yaitu transformator daya karena terlalu besar jika dijadikan satu bersama dengan modul elektroniknya. Oleh karena itu, salah satu perangkat SIK yang dalam jangka menengah ini dapat diganti dengan sistem modular penuh adalah mengganti sistem

catu-daya analog tersebut dengan *switch mode power supply* (SMPS) yang secara teknis bisa lebih baik dan mempunyai standar industri serta telah banyak di pasaran. Modul lain pada sub-rak bersifat spesifik yang tidak mungkin diperoleh di pasaran sehingga memerlukan fabrikasi khusus untuk proses penggantian modulnya.

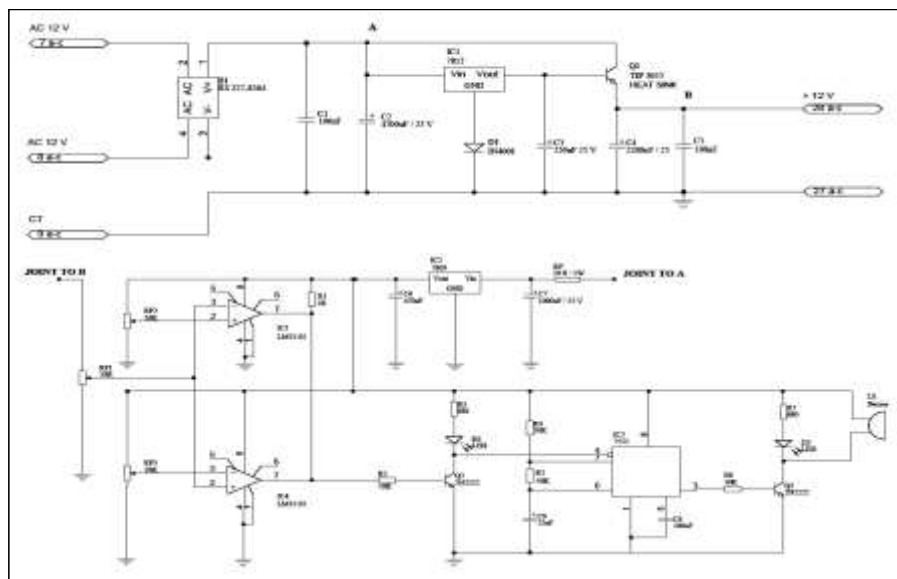


Gambar 2. Sistem Instrumentasi Kendali (SIK)^[11].

Tabel 2. Modul pada Sub-Rack Aktuasi Proteksi

NO.	NAMA MODUL	KODE MODUL	CATU-DAYA
1.	Modul Trip Relay	B1 R	Bukan
2.	Modul PS SR PPR + 12V DC	B2 R	Ya
3.	Modul PS SR PPR + 5V DC	B3 R	Ya
4.	Modul Relay Scram Manual	B4 R	Bukan
5.	Modul PS Trip Loop I 12 V DC	B5 R	Ya
6.	Modul Interkoneksi Trip Loop II	B6 R	Bukan
7.	Modul PS Trip Loop II + 12 V DC	B7 R	Ya

Secara umum rangkaian elektronik dari modul-modul catu-daya tersebut semuanya serupa, dan hanya tegangan luarannya yang berbeda sehingga hanya perbedaan pada tipe Integrated-Circuit (IC) penentu tegangannya saja yang berbeda menyesuaikan tegangan yang diperlukan. Pada Gambar 3 diperlihatkan rangkaian modul B7R dengan tegangan luaran 12 Volt DC dan rangkaian buzzer sebagai indikator level tegangan yang dihasilkan. Konfigurasi empat modul catu daya pada sub-rack aktuasi proteksi ini serupa dengan modul B7R tersebut. Beban semua catu-daya pada sub-rack aktuasi proteksi ini berupa relay, elektromagnet pengendali dan rangkaian elektronik, sehingga dapat dikatakan beban catu-daya bersifat resistip dan induktip serta tidak ada beban yang bersifat kapasitip. Nilai arus yang akan ditarik oleh beban masing-masing modul dibawah 1 Ampere, yaitu sekitar ~280 mA.



Gambar 3. Rangkaian catu-daya Aktuasi Proteksi B7R pada SIK reaktor Kartini^[11].

Secara mendasar tidak ada masalah dengan catu-daya analog yang digunakan oleh SIK selama operasi. Peningkatan kinerja, dalam hal ini *corrective-maintenance* jika catu-daya tersebut mengalami gangguan perlu ditingkatkan, yaitu mempersingkat waktu penyelesaian dalam mengatasi gangguan tersebut. Jika transformator daya mengalami gangguan dan perlu penggantian, kondisi ini memerlukan waktu penyelesaian yang relatif lebih lama jika dibandingkan sistem yang menggunakan catu-daya modular penuh. Dari spesifikasi teknis maupun aspek legalitas, tidak ada masalah mendasar penggunaan catu-daya *switching* yang modular penuh untuk digunakan pada SIK reaktor Kartini ini. Reaktor Serba Guna GA Siwabesi di Serpong pada SIK nya juga beberapa modulnya menggunakan jenis catu-daya *switching*. Dalam dunia industri, ada beberapa modul-perangkat yang karena memang dari sistem desainnya tidak diperbolehkan untuk digunakan pada sistem kerja tertentu, dan modul SMPS ini dari *data-sheet* nya tidak mengkondisikan hal tersebut. Namun demikian, proses penggantian pada SIK reaktor Kartini ini tetap memerlukan kajian untuk layak tidaknya penggantian modul tersebut dilakukan.

3. TATA KERJA

3.1. Analisis Penggantian Catu-Daya

Dari keunggulan catu-daya *switching* pada Tabel-1, secara menyeluruh teknis sangat menguntungkan/ positif terutama (dalam hal kajian ini) untuk menjadikan catu-daya yang akan digunakan SIK menjadi *portable* dan bersifat *plug & play*, karena catu-daya dapat berbentuk modular-penuh yang semula bersifat semi-modular, sehingga mempermudah dan mempercepat proses operasi perawatan perbaikan (*corrective maintenance*). Tidak ada masalah dengan keunggulan tersebut diterapkan pada catu-daya SIK reaktor Kartini, bahkan menguntungkan dari segi penggunaan daya listrik karena *catu-daya switching* mempunyai efisiensi yang lebih tinggi.

Untuk pengaruh terhadap kelemahan *catu-daya switching* pada Tabel-1, perlu mendapat perhatian secara detail sebagai berikut.

1. Rangkaian elektroniknya kompleks

Kompleksitas rangkaian tidak menjadi masalah, karena penggantian yang akan dilakukan adalah dengan pengadaan catu-daya *switching* dari pabrikan yang telah diproduksi / ada di dunia industri dan bukan untuk dibuat atau dirakit sendiri.

2. *Ripple* tinggi dan regulasi jelek

Beban dari catu-daya Aktuasi Proteksi berupa relay dan rangkaian elektronik yang mengendalikan relay atau indikator sehingga tidak peka terhadap tegangan *ripple* dari catu-daya. Tegangan *ripple* akan sangat berpengaruh pada beban catu-daya berupa microprocessor^[12]. Jeleknya regulasi diantisipasi dengan menggunakan catu-daya *switching* pengganti dengan kemampuan memberi arus yang lebih tinggi dari yang seharusnya. Eksperimen akan dilakukan untuk permasalahan *ripple* dan regulasi beban ini untuk melihat kondisi praktis yang sebenarnya.

3. Hanya untuk penurun tegangan

Catu-daya yang diperlukan pada SIK ini memang bersifat hanya untuk menurunkan tegangan listrik dari jala-jala PLN untuk disesuaikan dengan tegangan yang ada pada sistem SIK. Oleh karena itu tidak ada masalah dengan kelemahan tersebut.

4. Hanya bisa satu tegangan

Desain tiap modul catu-daya untuk sub-rak Aktuasi Proteksi hanya untuk satu tegangan, sehingga kelemahan ini tidak menjadi kendala dalam proses penggantian tersebut.

5. Noise listrik tinggi

Noise listrik yang dikeluarkan oleh *catu-daya switching* ini secara eksperimen telah dibuktikan tidak mengganggu sistem kerja SIK reaktor Kartini. Eksperimen dilakukan dengan mendekati *catu-daya switching* ini menggunakan tegangan listrik pada sub-rak SIK dan terbukti noise tersebut baik dari udara (radiasi) maupun dari kabel listrik (konduksi) di rak-SIK tidak mengganggu operasi dari SIK tersebut.

6. Bisa menimbulkan distorsi penyebab gelombang *harmonics*

Serupa dengan butir 5, gelombang *harmonics* yang ditimbulkan tidak mengganggu operasi SIK tersebut. Telah dilakukan eksperimen secara menyeluruh dengan mengganti modul B7R dengan sebuah modul catu-daya *switching* dan sistem SIK dioperasikan. Dengan eksperimen penggantian ini, SIK berjalan dengan normal^[13]. Catu-daya generasi baru telah mampu meningkatkan ketahanan dan pancaran gelombang elektromagnetik dengan menggunakan teknologi *on-chip integrated inductor* sehingga dapat memenuhi batasan standard EMC dalam industri^[14].

3.2. Data Eksperimen

Secara teori, karakteristik catu-daya baik yang analog maupun yang *switching* telah diketahui, namun demikian fabrikasi catu daya membuat desain catu-dayanya dengan peningkatan pada bagian-bagian tertentu sebagai daya saing, sehingga kondisi tertentu perlu dilakukan percobaan terlebih dahulu untuk melihat kesesuaiannya dalam proses penggantian catu-daya ini. Percobaan pengukuran yang akan dilakukan adalah transient perubahan beban, regulasi beban, noise *ripple*, dan suhu kerja dimana catu daya akan beroperasi, karena hal tersebut sangat berpengaruh dalam operasi catu-daya^[8]. Noise *ripple* dan waktu transient merupakan dua variabel yang bertolak belakang dalam hal penanganannya oleh fabrikasi catu-daya yang diselesaikan menggunakan jalan optimasi. Kondisi ini yang perlu diketahui dalam proses penggantian catu-daya yaitu melalui eksperimen.

Berikut pada Gambar 4, 5, dan 6 adalah hasil percobaan atas perubahan beban terhadap kedua jenis catu-daya tersebut. Kemampuan catu-daya analog 3 Ampere (sama dengan catu-daya di sub-rak aktuasi-proteksi) dan untuk catu-daya *switching* 4 Ampere. Beban yang digunakan adalah beberapa buah relay yang serupa dengan relay yang akan di *supply* pada sub-rak (1 relay ~70 mA). Suhu lingkungan kerja kedua catu-daya relatif tetap seperti ditunjukkan pada Tabel 3.



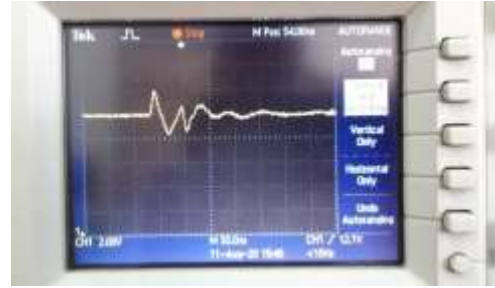
a. Catu-daya linier: Transient beban-ON.



c. Catu-daya SMPS: Transient beban-ON.



b. Catu-daya linier: Transient beban-OFF.



d. Catu-daya SMPS: Transient beban-OFF.

Gambar 4. Gelombang transient pada tegangan catu-daya akibat perubahan beban.



a. Catu-daya linier: *Ripple* tanpa beban.



c. Catu-SMPS: *Ripple* tanpa beban.



b. Catu-daya linier: *Ripple* dengan beban.

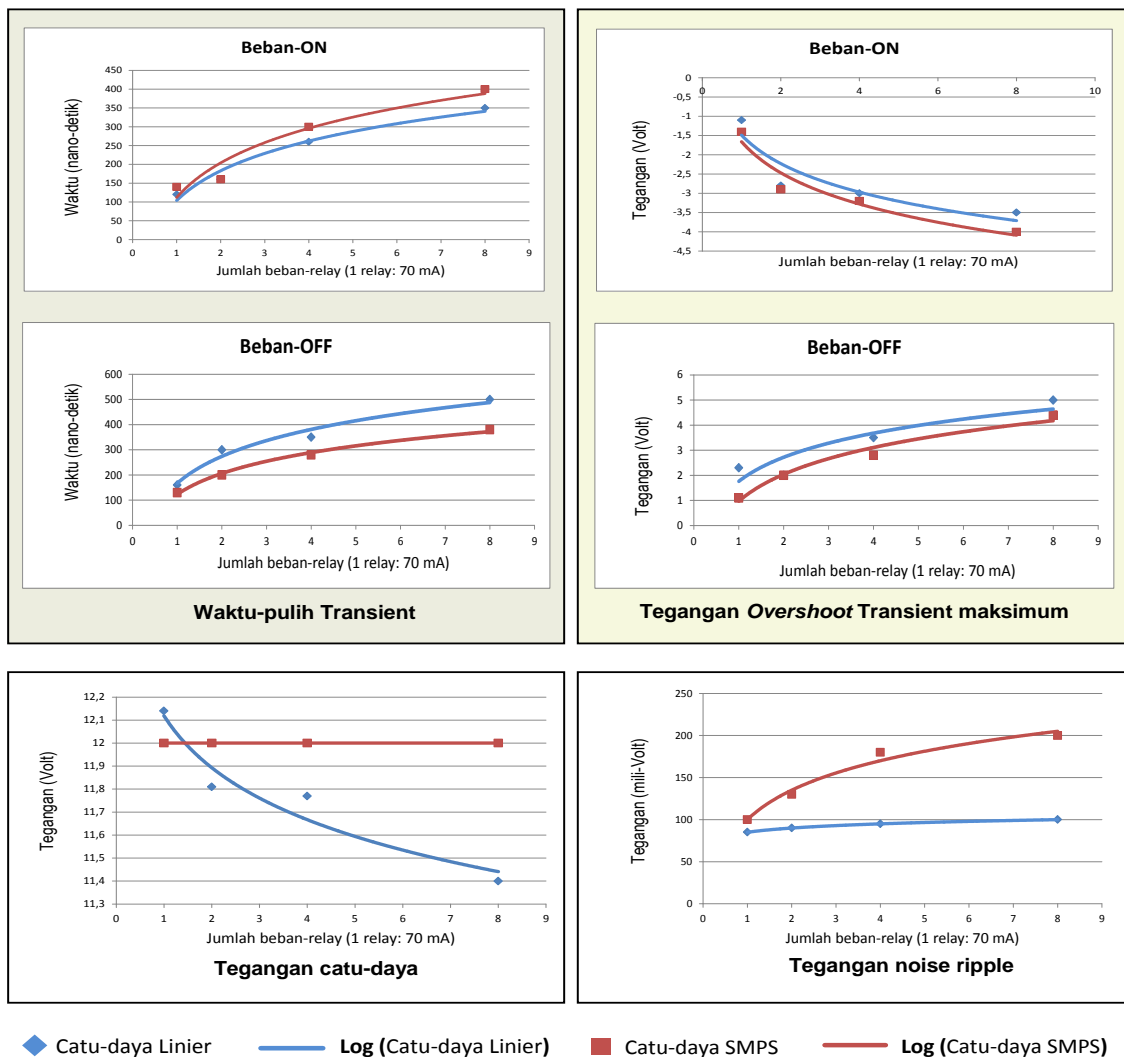


d. Catu-daya SMPS: *Ripple* dengan beban

Gambar 5. *Ripple* catu-daya kondisi tanpa beban dan dengan beban.

Tabel 3. Suhu lingkungan kerja Catu-daya ketika beroperasi

Catu-daya	Catu-daya analog	Catu-daya <i>switching</i>
Suhu kerja °C	41.1	31.2



Gambar 6. Hasil pengukuran akibat perubahan beban.

Gambar 4 & 5 adalah bentuk gelombang transient dan noise *ripple* pada tegangan catu-hari ketika beban ON dan OFF dari catu-hari analog dan *switching* tersebut untuk beban relay, dengan nilai arus ~140 mA. Bentuk gelombang transient tersebut relatif serupa untuk perubahan arus beban dari 70 mA hingga 560 mA (1-relay s/d 8-relay), dan berbeda hanya pada tinggi amplitudo *overshoot* dan waktu-pulih transient nya. Bentuk noise *ripple* juga relatif serupa akibat perubahan beban tersebut, dan berbeda pada tinggi amplitudo noisenya. Perubahan tegangan catu-hari akibat perubahan beban dapat terlihat jelas berhasilnya antisipasi penggunaan catu-hari *switching* dengan kemampuan arus yang lebih tinggi dari seharusnya. Nilai hasil-hasil pengukuran atas perubahan beban tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Sub-bab 3.1 telah dikaji kelemahan catu-hari *switching* dibanding kan dengan catu-hari analog untuk proses penggantian catu-hari di sub-rak Aktuasi Proteksi. Hal khusus dilakukan melalui percobaan untuk mendapatkan hasil kajian yang lebih akurat. Interpolasi grafik perubahan beban dari percobaan dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik dari catu-hari ketika beroperasi dengan kondisi beban sesungguhnya, karena dibuat bahwa nilai beban catu-hari pada sub-rak Aktuasi-

Proteksi tersebut berada dalam jangkauan penggunaan beban pada percobaan. Berikut adalah kajian dari hasil percobaan tersebut.

Pengaruh Transient. Untuk beban rangkaian elektronik di sub-rak, transient hanya akan terjadi di awal dan akhir operasi SIK-reaktor, sehingga transient tidak menjadi masalah dalam operasionalnya. Untuk beban relay dan elektromagnetik batang kendali, transient bisa terjadi ditengah operasi reaktor sehingga perubahan karakteristik transient berpotensi mengakibatkan terjadinya perubahan karakter sistem jika perbedaannya cukup besar.

- Tegangan *Overshoot*. Tegangan maksimum *overshoot*-transient dari catu daya *switching* lebih tinggi ~ 0.2 Volt untuk perubahan beban-ON dan lebih rendah ~ 0.8 Volt untuk perubahan beban-OFF. Tingginya tegangan *overshoot* berpotensi jelek yaitu merusak atau merubah karakter sistem. Perbedaan tegangan *overshoot* lebih tinggi ~ 0.2 Volt tersebut tidak akan berakibat memiliki berpotensi jelek tersebut.
- Waktu-pulih Transient. Waktu-pulih transient catu daya *switching* lebih besar ~ 50 nano-detik dari waktu-pulih transient catu daya analog ketika beban-ON, dan lebih kecil ~ 80 nano-detik untuk beban-OFF. Perbedaan nilai waktu-pulih tersebut dari kondisi semula (catu-daya analog) berpotensi merubah karakter sistem dalam hal ini waktu tanggap ketika perangkat yang terkait dengan catu-daya tersebut diaktifkan jika perbedaan tersebut nilainya besar. Perbedaan waktu-pulih tersebut dalam hal operasional pada sub-rak Aktuasi-Proteksi tidak akan mempengaruhi unjuk kerja sistem SIK, karena waktu-tanggap tersebut berkaitan dengan aktifitas relay yang tidak menggunakan basis waktu (bukan sistem-skewensial) dalam operasionalnya.

Regulasi-beban. Perubahan tegangan catu-daya akibat beban yang diberikan dari Tabel 1 untuk catu-daya *switching* lebih jelek. Untuk ituantisipasi hal tersebut, penggantian catu-daya digunakan catu-daya *switching* dengan kemampuan arus yang lebih besar yaitu 4 Ampere, dimana catu-daya analog yang diganti mempunyai kemampuan 3 Ampere. Dari percobaan terlihat bahwa regulasi beban catudaya *switching* untuk pengganti jauh lebih baik dari catu-daya analog yang akan diganti.

Noise-ripple. Noise-ripple catu-daya *switching* nilainya lebih tinggi dari noise-ripple catu-daya analog. Tegangan *ripple* maksimum untuk beban rangkaian digital yang menggunakan microprocessor harus lebih kecil dari 120 mV untuk tegangan catu-daya 12 Volt^[3]. Noise-ripple catu-daya dalam percobaan menunjukkan nilai 150 mV sehingga tegangan ini terlalu besar. Beban yang diberikan pada catu-daya sub-rak Aktuasi-Proteksi bukan rangkaian digital yang menggunakan microprocessor, tetapi hanya rangkaian digital, relay dan elektromagnetik batang kendali. Noise *ripple* tersebut tidak akan mempengaruhi unjuk kerja SIK.

Suhu lingkungan kerja. Dari pengukuran suhu lingkungan kerja kedua catu-daya, menunjukkan bahwa suhu kerja berada dalam daerah kerjanya dan tidak terjadi lonjakan suhu yang mengakibatkan perubahan karakteristik dari catu-daya. Dari suhu tersebut terlihat efisiensi catu-daya *switching* lebih baik dari catu-daya analog.

5. KESIMPULAN

Modul catu-daya analog di sub-rak Aktuasi-Proteksi SIK Reaktor Kartini dapat diganti menggunakan modul catu-daya *switching* dengan kapasitas beban sedikit lebih besar dari catu-daya analog yang diganti. Penggantian catu-daya tersebut tidak akan berpengaruh negatif terhadap unjuk kerja SIK, dan berdampak positif terhadap pola kerja proses perawatan perbaikan SIK, khususnya jika modul catu-daya tersebut mengalami gangguan. Keandalan operasional reaktor adalah sasaran dari kegiatan ini. Salah satu faktor penentu dari keandalan adalah kecepatan waktu dalam perawatan perbaikan ketika Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Reaktor Kartini mengalami gangguan. Kecepatan perawatan perbaikan SIK dapat dicapai salah

satunya dengan menggunakan catu daya sistem modular digunakan secara penuh pada SIK tersebut. Perubahan ke arah modular secara menyeluruh dapat dilaksanakan secara bertahap disesuaikan dengan situasi dan kondisi operasional reaktor serta sarana pendukungnya baik teknis maupun non-teknis.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada staf Bidang BK3 Sub-Bidang Keteknikan – PSTA BATAN, atas bantuan teknis-nya selama kegiatan pelacakan dan pengukuran dalam proses analisis dan perbaikan ini berlangsung.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tom Stevic, *Linear power supply vs. switched*, Control Design for Machine Builder, Jun 11, 2017, <https://www.controldesign.com/articles/2017/linear-power-supply-vs-switched/> , diunduh Maret 2019.
- [2] Jerry Lin, *Switching Power Supply Technical Manual*, Mean Well Enterprises, Co. Ltd, 2003.
- [3] Madsen, Mickey Pierre; Andersen, Michael A. E.; Knott, Arnold , *Very High Frequency Switch-Mode Power Supplies*, Technical University of Denmark, Department of Electrical Engineering, 2015.
- [4] DC Power Supply Hand Book, Application Noter 90B, Agilent Technology, https://archive.org/details/DC_Power_Supply_Handbook_Agilent_Technologies_Application_Note_90B , diunduh Maret 2019.
- [5] Milan M. Jovanović, *Power Supply Technology – Past, Present, and Future*, Power Electronics Laboratory, Research Triangle Park, NC 27709, U.S.A.
- [6] Henry J. Zhang, *Basic Concepts of Linear Regulator and Switching Mode Power Supplies*, Application note 140, Analog Devices, October 2013.
- [7] Lazar Rozenblat, *SMPS Power Supply Topologies: Comparison and Selection*, 2008, 2015 <https://www.smeps.us/topologies.html>, diunduh Maret 2019.
- [8] Technical editor, *Advantages & disadvantages of switch mode power supply (SMPS)*, Electronics Articals, Polytechnic Hub, Maret 2017, <http://www.polytechnichub.com/advantages-disadvantages-switch-mode-power-supply-smeps/>, diunduh Maret 2019.
- [9] Bill Martin, *Considerations When Specifying a DC Power Supply*, AMETEK Programmable Power, Sep 1, 2013 <https://www.evaluationengineering.com/considerations-when-specifying-a-dc-power-supply.php>, diunduh Maret 2019.
- [10] Marty Brown, *Power Supply Cookbook*, Second Edition, Newsnes, Boston, 2015.
- [11] Dokumen SIK SR4 Reaktor Kartini, Revisi-1., PSTA, 2010.
- [12] Michael Kerns, *Defining Power Supply Voltage Ripple & Its Real-World Impact.*, Camers Nexus, Agustus 2015. Diunduh 20 Agustus 2020. <https://www.gamersnexus.net/guides/2053-power-supply-voltage-ripple-and-relevance>, diunduh Maret 2019.
- [13] Suntoro A, Shobari I, dan Jumari., *Kajian Penggantian Modul Power Supply B7R SIK Reaktor Kartini.*, Laporan Teknis., No: LKEG 007.4/RN 002/STA4., PSTA-BATAN., Yogyakarta, 2019.
- [14] Biagi L, dkk, *Evaluation of DC/DC switching power regulation with small-scale integrated inductors for PET/MR.*, 4th Conference on PET/MR and SPECT/MR, EJNMMI Physics 2015 2(Suppl 1): A14. https://www.researchgate.net/publication/282603892_Evaluation_of_DCDC_swit_ching_power_regulation_with_small-scale_integrated_inductors_for_PETMR, diunduh Maret 2019.