

DISAIN KONSEP PERANGKAT UJI-BANDING KEANDALAN ANTARA LIMIT-SWITCH MENGGUNAKAN METODA MEKANIK DAN PROXIMITY PADA KOMPONEN CRDM DI REAKTOR KARTINI

¹Achmad Suntoro, ¹Ikhsan Shobari

²Muhamad Subchan, ²Zulfikar Elran Bagaskara, ²Wahyu Nur Hidayat

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

DISAIN KONSEP PERANGKAT UJI-BANDING KEANDALAN ANTARA LIMIT-SWITCH MENGGUNAKAN METODA MEKANIK DAN PROXIMITY PADA KOMPONEN CRDM DI REAKTOR KARTINI. Sebuah konsep desain untuk uji-banding dua buah saklar yang berbeda dalam hal teknik aktuasinya, yaitu secara sentuhan mekanik dan tanpa sentuh, telah dibuat. Desain ini bertujuan untuk membandingkan keandalan kerja dua saklar tersebut pada suatu kondisi kerja tertentu, yaitu bagian dari perangkat CRDM (Control Rod Drive Mechanism) di reaktor Kartini. Kedua jenis saklar tersebut sebenarnya sudah memenuhi persyaratan operasional dari sudut pandang industri dan keselamatan. Team perawatan reaktor Kartini menjalankan program proactive maintenance selalu berusaha mencari teknik lain agar keandalan sistem instrumentasi di reaktor Kartini selalu menjadi lebih baik. Konsep desain ini dapat digunakan sebagai langkah awal persiapan untuk memenuhi prosedur proses penggantian Limit Switch yang lebih handal pada komponen CRDM di Reaktor Kartini.

Kata kunci : Limit-switch, Proximity-switch, uji-banding, CRDM, perawatan-proactive.

ABSTRACT

A DESIGN CONCEPT OF EQUIPMENT FOR RELIABILITY COMPARATION-TESTING BETWEEN LIMIT-SWITCH USING MECHANICS AND PROXIMITY METHODE AT CRDM COPMONENT IN KARTINI REACTOR. A design concept for the comparability of two different switches in terms of their actuation techniques, namely mechanically-touch and touchless, has been created. This design aims to compare the working reliability of the two switches under certain working conditions, namely part of the CRDM (Control Rod Drive Mechanism) equipment in the Kartini reactor. Both types of switches actually have met operational requirements from an industry and safety perspective. The Kartini reactor maintenance team runs the proactive maintenance program, which always try to find other techniques so that the reliability of the instrumentation system in the Kartini reactor always gets better. This design concept can be used as an initial step in preparation to fulfill the procedure for a more reliable Limit Switch replacement process for the CRDM component in the Kartini Reactor.

Keywords: Limit-switch, Proximity-switch, Comparation-testing, CRDM, Proactive-maintenance.

1. PENDAHULUAN

Keandalan sebuah produk teknologi adalah jaminan konsistensi bahwa produk tersebut dapat beroperasi secara normal dalam kurun waktu yang telah ditetapkan^[1]. Terjadinya kesalahan (kondisi tidak normal) dari produk bisa terjadi mungkin karena suatu sebab di luarantisipasi dalam desain produk atau terjadi karena kondisi khusus. Umur komponen (*aging*) juga menentukan batas keandalan tersebut^[2]. Semakin banyak kesalahan yang terjadi, semakin besar ketidak-andalan dari produk, dan begitu

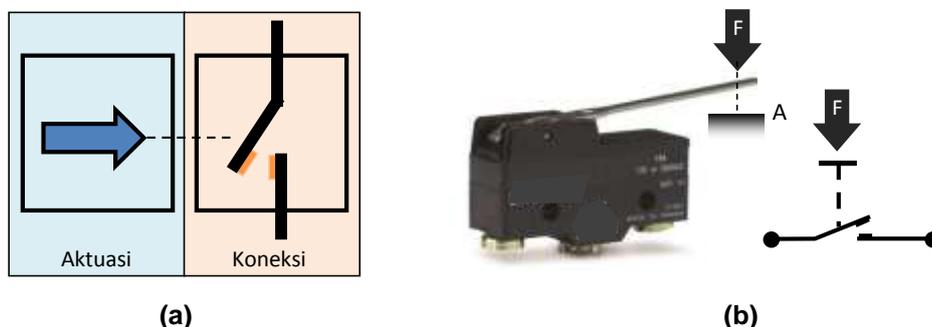
sebaliknya^[3]. Keandalan mencerminkan konsistensi dari produk dalam operasionalnya. Sehingga untuk perangkat yang didesain bekerja berkaitan dengan keselamatan harus memiliki keandalan yang tinggi, yang berarti memiliki kemungkinan kegagalan yang rendah.

Setiap produk industri yang beredar di pasaran tentu telah memenuhi standar industri yang ditetapkan. Faktor keandalan dari produk tersebut telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam standar tersebut. Untuk saklar yang akan digunakan dalam rangkaian kendali misalnya, standar IEC 60947-5-1^[4] merupakan salah satu standar yang digunakan oleh beberapa fabrikasi saklar, sehingga penggunaan saklar tersebut dalam rangkaian kendali akan bekerja sesuai dengan desain rangkaian kendali tersebut dan sesuai dengan batas keandalan yang dimilikinya. Banyak produk industri saklar yang dibuat dengan cara yang berbeda-beda pada teknik aktuasinya. Kondisi ini sengaja dibuat agar para disainer perangkat pengendalian mudah dalam merealisasikan disainnya, sesuai dengan desain pola kerja perangkat. Tetapi hal ini juga akan membawa konsekuensi kemungkinan turunnya keandalan, jika saklar diaplikasikan pada pola kerja yang kurang tepat.

Dalam makalah ini, akan didesain sebuah perangkat uji-banding dua buah saklar yang berbeda sistem aktuasinya, yaitu aktuasi mekanik dan aktuasi *proximity*. Kondisi kedua saklar dalam uji-banding tersebut dibuat sama beroperasinya dengan kondisi sesungguhnya ketika saklar beroperasi pada perangkat pengendali reaktor CRDM (*Control Rod Drive Mechanism*). Dalam uji-banding tersebut akan direkam unjuk kerjanya, sehingga pada akhir uji-banding akan diperoleh data yang dapat mewakili unjuk kerja keandalan kedua jenis saklar tersebut untuk jenis operasi kerja dalam pengujian tersebut. Dengan data tersebut dapat ditentukan jenis saklar mana yang lebih baik untuk digunakan dari sudut pandang keandalannya pada tugas tersebut.

2. DASAR TEORI

Saklar adalah komponen listrik/elektronik yang digunakan untuk memutus dan menyambung suatu aliran listrik yang mengalir pada suatu konduktor. Dengan saklar tersebut aliran listrik pada konduktor dapat dikendalikan. Secara garis besar komponen pembangun saklar dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian-aktuasi (penggerak) dan bagian-koneksi (sambungan), ditunjukkan pada Gambar 1.a Setiap bagian dari saklar tersebut akan memiliki komponen-komponen yang disesuaikan jenis dan bentuknya terhadap fungsi kerja serta karakteristik fisik maupun kelistrikan dari saklar tersebut.



Gambar 1. a. Bagan komponen pembangun saklar.
b. *Limit-switch* dengan katup batang pada bagian-aktuasinya.

Bagian-koneksi dari saklar secara umum akan serupa untuk berbagai jenis saklar, hanya berbeda pada jenis materinya, yaitu jenis logam atau non-logam, sehingga akan berbeda untuk cara penyambungan dan pemutusannya. Untuk jenis

logam diperlukan pola mekanik untuk sambung-putus nya. Untuk jenis non-logam tergantung dari jenis materi non-logam yang digunakan. Sebagai contoh untuk materi semiconductor menggunakan sinyal listrik karena pemutus-sambung tersebut berbentuk transistor.

Bagian-aktuasi secara garis besar dibedakan dengan cara kontak langsung (menggunakan sentuhan) dan tidak langsung (menggunakan hukum alam). Untuk kontak langsung dilakukan menggunakan pola mekanik yang memerlukan sentuhan fisik ke komponen saklar, sedangkan untuk tidak-langsung menggunakan banyak cara, sebagai contoh menggunakan medan-magnet, medan-listrik, sinar-ultraviolet dan lain-lain. Di dunia industri, beragamnya teknik aktuasi ini telah memicu perkembangan penggunaan saklar tidak hanya sekedar sebagai pemutus-sambung aliran listrik, tetapi berintergrasi juga dengan sistem sensor, sebagai contoh sensor-pembatas: *limit-switch*, sensor-kedekatan: *proximity-switch*, sensor-batas-temperatur: *thermo-switch* dan sebagainya. Jenis *proximity-switch* yang utama digunakan di dunia industri adalah dari jenis ultrasonik, inframerah, induktif, dan kapasitif^[5]. Pada industri pesawat terbang banyak menggunakan *proximity-switch* yang biasanya digunakan diantaranya untuk mendeteksi apakah perangkat mekanis, seperti pintu kargo, roda pendaratan, permukaan kendali, atau pembalik dorong, ditempatkan dengan benar^[6, 7].

2.1. Saklar-Pembatas (*Limit-switch*)

Limit-Switch (saklar-pembatas) adalah saklar yang salah satu teknik aktuasinya menggunakan katup yang lentur (biasanya dari logam) untuk menekan bagian-koneksi nya. Bagian-koneksi hanya akan tersambung jika katup tersebut telah menekan logam bagian-koneksi pada tekanan tertentu, sebelum batas tekanan tersebut tercapai meskipun katup sudah melentur maka bagian-koneksi tidak akan tersambung. Katup lentur tersebut bentuk nya bermacam-macam yang merupakan variasi dari *limit-switch* tersebut untuk disesuaikan dengan situasi dimana *limit-switch* tersebut digunakan.

Untuk katup berbentuk batang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.b, gaya F pada katup hingga menyebabkan katup sampai pada posisi A, maka bagian-koneksi akan tersambung. Kelenturan katup juga akan membantu mengurangi hentakan (*impulse*) pada bagian-koneksi sehingga akan meredam terjadinya getaran (*bouncing*) antara dua logam pada bagian-koneksi pada awal-kontak. Hentakan yang terjadi berulang-ulang dapat memperpendek umur kontak, dengan adanya kelenturan dari katup maka dapat menekan hentakan tersebut. Namun demikian, jika kelenturan dari katup tersebut mengalami *fatigue* (lemah) atau terjadi perubahan bentuk, maka meskipun katup telah sampai pada posisi A, tetapi gaya yang diberikan pada bagian-koneksi tidak cukup untuk membuatnya tersambung, sehingga *limit-switch* gagal dalam operasinya.



Gambar 2. Logam-kontak bagian-koneksi saklar^[8].

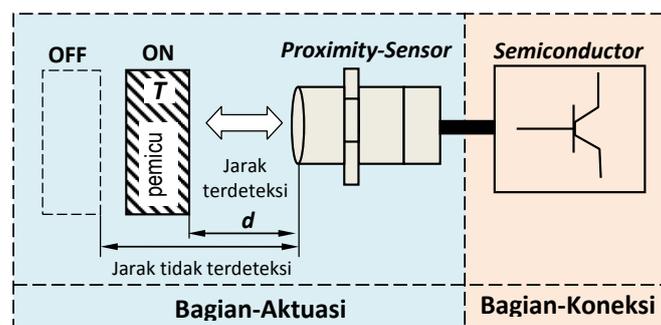
Keunggulan bagian-koneksi menggunakan logam (secara mekanik) adalah memungkinkan untuk dapat dialiri arus listrik yang tinggi. Dua permukaan logam pada bagian-koneksi bertugas sebagai jembatan putus-sambung aliran listrik pada saklar. Untuk aliran listrik yang kecil tidak ada masalah dengan bagian-koneksi tersebut, tetapi untuk arus listrik yang besar maka logam pada bagian-koneksi akan mengalami penurunan keandalan jika dilakukan berulang-ulang. Gambar 2 memperlihatkan

kondisi logam kontak tersebut setelah melakukan putus-sambung sebanyak 10000 kali pada aliran listrik 16 Ampere^[8]. Perawatan rutin (*preventive maintenance*) perlu dilakukan dengan membersihkan lapisan pengotor pada permukaan logam putus-sambung pada saklar tersebut karena dapat menurunkan keandalan saklar. Besar nya arus listrik yang mengalir akan menentukan kondisi kontak logam tersebut, semakin besar arus yang mengalir semakin besar kemungkinan untuk terjadi pengotoran (*bad-contact*) tersebut. Oleh karena itu untuk keperluan arus yang besar, maka tidak digunakan *limit-switch* secara langsung, tetapi dilakukan dengan teknik bertingkat sehingga *limit-switch* tetap bekerja dengan dialiri arus listrik yang kecil.

Limit-switch cukup sederhana dalam penggunaannya, tidak memerlukan daya listrik dalam operasionalnya, dan hanya memerlukan penyesuaian dengan lokasi secara fisik dimana *limit-switch* tersebut akan digunakan. Perubahan temperatur dan kelembaban di lokasi kerja tidak banyak mempengaruhi unjuk kerjanya. Gelombang elektromagnetik (medan listrik maupun medan magnet) tidak mempengaruhi kerja *limit-switch* mekanik tersebut.

2.2. Saklar-proximity (*Proximity-switch*)

Proximity-switch menggunakan benda lain sebagai aktuasi dari saklar, dan benda tersebut mendekati kearah sensor-saklar tanpa harus menyentuhnya, sehingga tidak ada bagian yang bergerak pada bagian-saklar. Kondisi ini mengakibatkan tidak ada bagian-saklar yang akan menjadi aus atau terjadi perubahan bentuk karena proses operasionalnya^[9]. Dua jenis *Proximity-switch* yang memiliki kemiripan dalam operasionalnya (meskipun keduanya berbeda), yaitu *Capacitive* dan *Inductive proximity*. *Capacitive proximity-switch* bekerja menggunakan perubahan nilai kapasitor, dan *inductive proximity-switch* bekerja berdasarkan proses induksi medan magnet. Gambar 3 memperlihatkan konsep *proximity-switch* untuk *capacitive* dan *inductive* tersebut yang menggunakan semiconductor, transistor NPN atau PNP untuk bagian-koneksinya. Kemampuan semiconductor sebagai bagian-koneksi saklar dalam mengalirkan arus listrik tidak sebesar kemampuan bagian-koneksi dari logam, tetapi semiconductor memiliki kelebihan tidak akan mengakibatkan *bouncing* pada awal kontak kelistrikan seperti yang terjadi pada bagian-koneksi dari logam.



Gambar 3. Konsep *proximity-switch*.

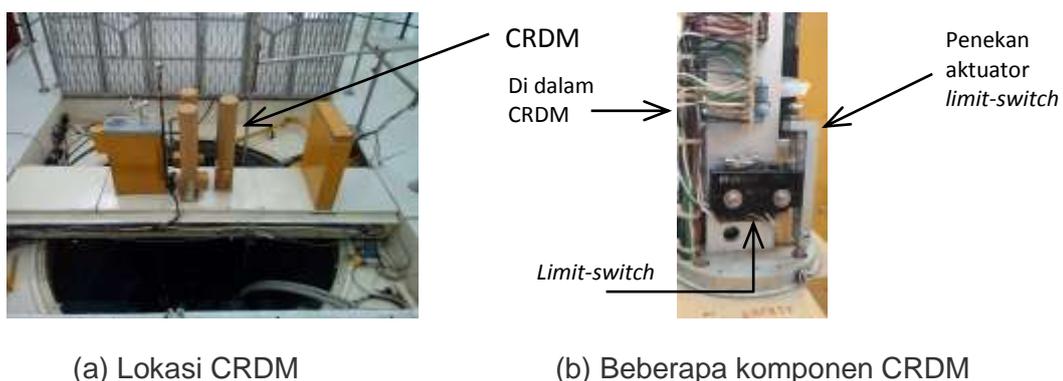
Pada Gambar 3, obyek pemicu aktuasi T tidak perlu sampai menyentuh *proximity-sensor* untuk mengaktifkan bagian-koneksi, tetapi cukup berada pada jarak d maka bagian-koneksi akan aktif. Untuk jenis *inductive-proximity*, obyek pemicu aktuasi harus bersifat fero-magnetik. Ketika obyek tersebut terkena medan magnet yang dibangkitkan oleh osilator pada sistem *inductive-proximity sensor*, maka pada obyek tersebut akan terinduksi dan timbul *eddy-current* sehingga amplitudo osilator tersebut akan menurun. Makin dekat jarak dengan sensor maka amplitudonya makin menurun, hingga pada jarak d amplitudonya akan hilang karena osilatornya gagal beroperasi. Gagalnya osilator ini digunakan untuk mengaktifkan bagian-koneksi, akan menjadi ON jika *normally-off* dan sebaliknya. Jika obyek dijauhkan kembali lebih jauh dari jarak

d , maka oscilator akan aktif kembali dan bagian-koneksi kembali menjadi tidak aktif^[10]. Proses induksi terhadap suatu obyek tidak terpengaruh oleh kelembaban dan temperatur, sehingga *inductive-proximity* tidak akan terpengaruh oleh perubahan kelembaban dan temperatur disekitarnya.

Untuk *capacitive-proximity* pola kerjanya serupa dengan *inductive-proximity*, berbeda pada teknik aktifasi oscilatornya (berbalikan). Obyek pemicu tidak harus dari materi logam dan menjadi bagian dari dielektrikum kapasitor yang terbentuk pada bagian sensor, sehingga jika obyek tersebut mendekati pada posisi referensi yang merupakan salah satu elektroda kapasitor, maka nilai kapasitor tersebut akan membesar. Pada jarak d , nilai kapasitor yang terbentuk mampu mengaktifkan oscilator pada *capacitive-proximity sensor* sehingga bagian-koneksi menjadi aktif, yang berarti bagian-koneksi juga aktif. Jadi pola kerjanya berbalikan dengan *inductive-proximity* yang akan mengaktifkan bagian-koneksi jika oscilatornya padam. Karena nilai kapasitor juga akan berubah nilainya akibat perubahan kelembaban dan temperatur^[11], maka *capacitive-proximity* ini juga akan terpengaruh oleh kelembaban dan temperatur disekitar sensor berada. Potensi aplikasi yang beragam dari *capacitive-proximity* ini sangat besar^[12] dan populer digunakan pada instrumentasi robot^[13].

2.3. Control Rod Drive Mechanism (CRDM)

Untuk mengendalikan daya reaktor ketika reaktor beroperasi, digunakan batang kendali yang pengendaliannya dilakukan oleh CRDM (*Control Rod Drive Mechanism*). CRDM di reaktor Kartini ada 3-buah karena memiliki 3 batang kendali dan terletak di atas teras reaktor seperti ditunjukkan pada Gambar 4.a. Banyak komponen penyusun CRDM, dalam makalah ini komponen saklar (*limit-switch*) yang menjadi fokus bahasan. Ada tiga saklar *limit-switch* pada tiap CRDM ini, 2 *limit-switch* untuk mendeteksi posisi batang kendali beserta elektromagnetik pemegangnya, posisi di atas atau di bawah, dan 1 *limit-switch* untuk deteksi posisi batang kendali berada di bawah ditunjukkan pada Gambar 4.b. Ketika reaktor pada kondisi *scram* maka batang kendali dilepas dan *Limit-switch* tersebut akan ditimpa oleh pengait batang kendali yang jatuh tersebut. Kondisi *scram* adalah untuk menghentikan operasi reaktor secara tiba-tiba (karena sesuatu), dan *limit-switch* tersebut memberi perintah agar elektromagnetik pemegang batang kendali untuk turun karena batang kendali telah terlebih dahulu turun dan berada di bawah. Uji *scram* harus dilakukan pada setiap awal akan beroperasinya reaktor sebanyak 3x.



(a) Lokasi CRDM

(b) Beberapa komponen CRDM

Gambar 4. *Control Rod Drive Mechanism* (CRDM) di reaktor Kartini.

3. TATA KERJA

3.1. Pertimbangan Desain

Dari survey literatur untuk proses penggunaan CRDM sebelum digunakan di reaktor, CRDM telah melalui proses simulasi analitik matematik, numerik dan *finite*

element serta pengujian teknis terhadap berbagai jenis *prototype* nya^[14]. Namun demikian proses simulasi awal tersebut tidak sampai pada karakterisasi teknis proses perbedaan teknik aktuasi saklar. Perkembangan teknologi aktuasi saklar tentu dapat mempengaruhi karakteristik dalam hal keandalan CRDM.

Dalam operasionalnya *limit-switch* pada Gambar 4.b tersebut beberapa kali mengalami kegagalan. Kegagalan ini tidak mempengaruhi keselamatan operasi reaktor, tetapi berakibat tertundanya operasi reaktor karena saklar tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu ketika reaktor akan dioperasikan. Demikian juga gagalnya saklar tersebut ketika reaktor sedang beroperasi tidak akan mengganggu operasional dan keselamatan reaktor, hanya berpengaruh nanti ketika reaktor tersebut berhenti beroperasi (karena telah selesai), tidak bisa untuk start operasi lagi sebelum saklar tersebut diperbaiki. Saklar tersebut berfungsi sebagai salah satu komponen *interlock* pada sistem elektromagnetik penggerak batang kendali akibat batang kendali dijatuhkan (*scram*).

Secara empiris/pengalaman terlihat bahwa aktuasi saklar menggunakan pola langsung/sentuh (menggunakan logam/lengan) akan memiliki tingkat kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik aktuasi tidak-langsung/tanpa-sentuh (*proximity*), karena masalah gesekan, kelenturan dan *fatigue* tidak akan terjadi pada aktuasi tidak langsung. Selain itu dengan menggunakan pendekatan model RIAC 217PlusTM dapat ditentukan bahwa estimasi tingkat kegagalan transistor sebagai saklar akan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat kegagalan saklar-mekanik^[15]. Dapat disimpulkan bahwa untuk *Limit-Switch* dengan jenis pada Gambar 1.b dibandingkan dengan *proximity-switch* yang aktuasinya tanpa sentuh dan koneksinya menggunakan transistor, maka tingkat kegagalan kedua saklar tersebut berimbang seperti ditunjukkan pada Tabel-1. Masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan yang seimbang. Oleh karena itu, uji-banding layak dilakukan untuk melihat unjuk kerja operasional dari kedua saklar tersebut pada situasi dan kondisi dimana saklar akan digunakan, dalam hal ini sebagai komponen CRDM di reaktor Kartini.

Tabel-1. Estimasi tingkat kegagalan saklar yang akan diuji.

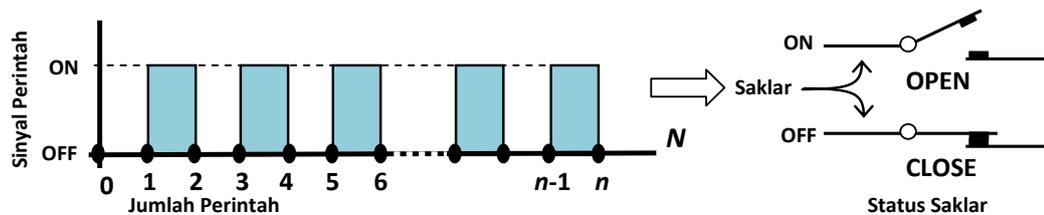
Jenis Saklar	Bagian-aktuasi		Bagian-koneksi	
	Teknik aktuasi	Tingkat Kegagalan	Teknik koneksi	Tingkat Kegagalan
<i>Limit Switch</i>	Logam-mekanik	A_L	Logam-mekanik	K_L
<i>Proximity Switch</i>	<i>Proximity</i>	A_P	Transistor	K_P
	$A_P < A_L$ <i>Proximity-switch</i> lebih baik dari <i>Limit-switch</i>		$K_L < K_P$ <i>Limit-switch</i> lebih baik dari <i>Proximity-switch</i>	

3.2. Persyaratan Desain

Diperlukan sebuah perangkat yang dapat digunakan untuk membandingkan (uji-banding) keandalan kerja dari dua buah saklar yang menggunakan pola berbeda, yaitu *Limit-Switch* dan *proximity-switch* pada kondisi kerja, yaitu adanya hentakan pada bagian-aktuasi nya. Kedua saklar tersebut akan dibandingkan keandalan kerjanya dengan mengoperasikan kedua saklar tersebut secara bersama-sama sebagai berikut.

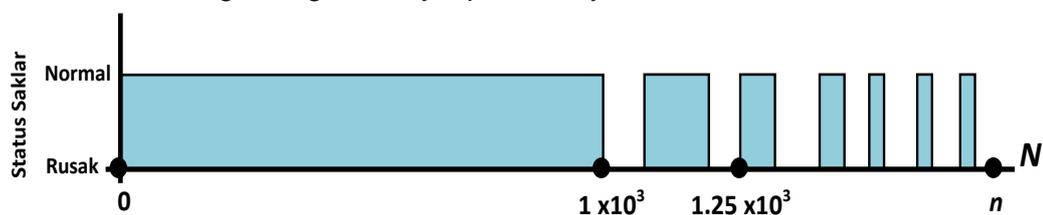
1. Mengoperasikan dengan cara menghidup-matikan (ON/OFF) selama kurun waktu tertentu (pilihan operasi) dan data dalam kurun operasi tersebut direkam.
2. Perangkat dapat dioperasikan secara manual yaitu mematikan jika telah dianggap cukup pengujiannya, atau secara otomatis dalam waktu tertentu atau kondisi tertentu akan secara otomatis mati dengan sendirinya.
3. Proses pengujian dapat dihentikan sementara secara manual dan dapat dihidupkan kembali tanpa menghilangkan rekaman data yang telah direkam pada proses pengujian sebelumnya, sehingga pengujian dapat dilakukan secara bertahap (ada jeda) karena pengujian sangat mungkin memerlukan waktu yang cukup lama/panjang.
4. Kurun waktu pengujian ketika operasi dapat dirubah untuk diperpanjang atau diperpendek tanpa mengganggu proses uji-banding yang sedang berjalan.

5. Sinyal Perintah kepada kedua saklar diberikan kepada perangkat sistem-mekanik, dimana kedua saklar yang diuji-banding berada, yaitu berupa tekanan/dorongan sebuah batang pejal yang akan ditranslasikan menjadi kondisi saklar tersambung (kondisi sinyal ON) dan terputus (kondisi sinyal OFF) atau sebaliknya. Perangkat sistem-mekanik tersebut dibuat sama dengan kondisi sesungguhnya dimana saklar nantinya akan beroperasi. Gambar 5 memperlihatkan hubungan sinyal perintah pengujian dengan kondisi status saklar akibat sinyal perintah tersebut. Sinyal perintah diberikan secara berulang-ulang (n -kali) yang merupakan variabel pengujian. Lebar pulsa pengujian bersifat variabel yang ditetapkan diawal operasi.



Gambar 5. Hubungan sinyal perintah dengan kondisi status saklar (n : jumlah perintah).

6. Data dalam proses pengujian yang harus disiapkan (disimpan) oleh perangkat uji adalah data yang berkaitan dengan proses pengujian sehingga kurva grafik pada Gambar 6 dapat terbentuk untuk masing-masing saklar yang diuji-banding. Kondisi Normal dari saklar adalah kondisi dimana saklar dapat mengikuti sinyal perintah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan kondisi Rusak adalah ketika saklar tidak lagi mengikuti pola pada Gambar 5. Kondisi rusak dapat terjadi hanya dalam kurun interval waktu tertentu yang kemudian menjadi normal kembali. Perulangan kondisi rusak inilah yang akan menjadi salah satu fokus uji-banding dari kedua saklar yang merupakan salah satu karakteristik keandalan dari saklar. Kondisi Rusak saklar mungkin bisa terjadi bahwa saklar selalu pada kondisi ON atau OFF tidak lagi mengikuti sinyal perintahnya.



Gambar 6. Kurva grafik hasil pengujian (n : jumlah perintah).

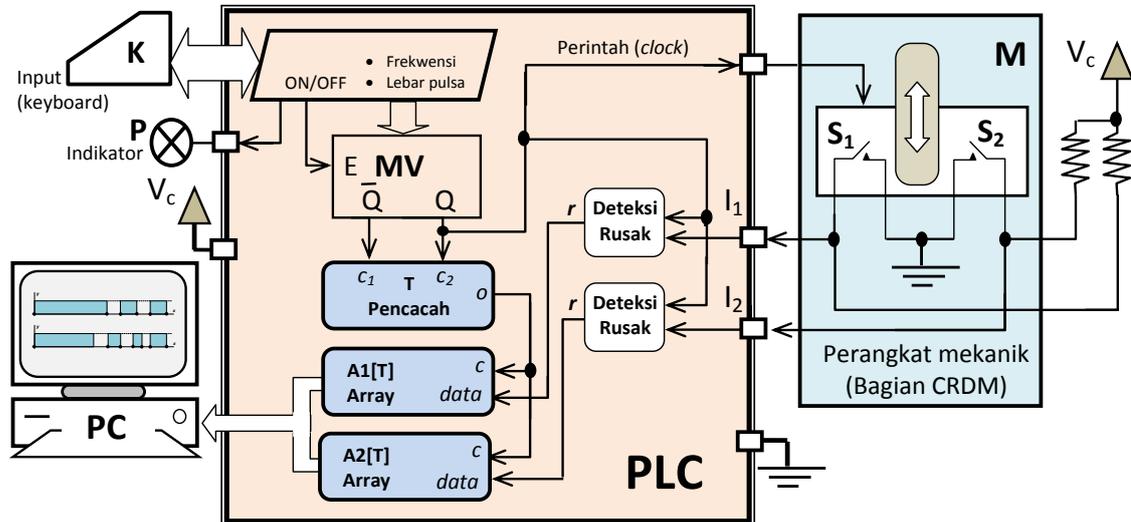
- 7 Validitas dari perangkat uji-banding ini akan dipenuhi jika perangkat melakukan tindakan sesuai dengan yang seharusnya dilakukan^[16] seperti uraian diatas.

3.3. Konsep Desain

Konsep desain perangkat uji-banding ini menggunakan suku-cadangan CRDM dari reaktor Kartini untuk penggerak saklar yang akan diuji, sehingga akan sama dengan kondisi sesungguhnya ketika saklar digunakan. Pengolah data hasil pengujian menggunakan *Personal Computer* (PC) dengan *interface* antara PC dan penggerak saklar yang akan diuji menggunakan PLC. PLC juga sekaligus bertindak sebagai pembangkit sinyal uji dan merekam data-dasar hasil pengujian. Bagan Konsep Perangkat Pengujian tersebut ditunjukkan pad Gambar 7.

Deteksi rusak pada Gambar 7 dilakukan oleh PLC dengan output r , yaitu dengan membandingkan sinyal perintah dengan hasil tindakan dari kedua saklar S_1 dan S_2 yang diuji-banding. Sinyal perintah berasal dari *multi-vibrator* MV yang dicacah oleh Pencacah T untuk sinyal perintah dari logik 0 ke 1 maupun dari 1 ke 0 sesuai dengan Gambar 5. Nilai logik $r = 1$ jika saklar normal dan $r = 0$ jika rusak. Nilai logik ini

akan menjadi masukan pada array A1 dan A2 untuk nomor perintah sebagai index saat itu. Sehingga array A1 dan A2 akan berisi data hasil uji dengan index nomor perintah dalam pengujian berturut-turut untuk saklar S_1 dan S_2 . Array A1 dan A2 ini merupakan data-dasar yang akan dikirim ke PC untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 7. Bagan Konsep Perangkat Pengujian Saklar S_1 dan S_2 .

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses data-dasar pengujian oleh PC akan berbentuk grafik seperti pada Gambar 6 untuk masing-masing saklar dan nilai prosentasi kegagalannya. Data-dasar pengujian dapat dituliskan dalam bentuk simbol matematik sebagai berikut.

$$f(n) = \begin{cases} 1 & \text{jika kondisisaklar normal} \\ 0 & \text{jika kondisisaklar rusak} \end{cases} \quad (1)$$

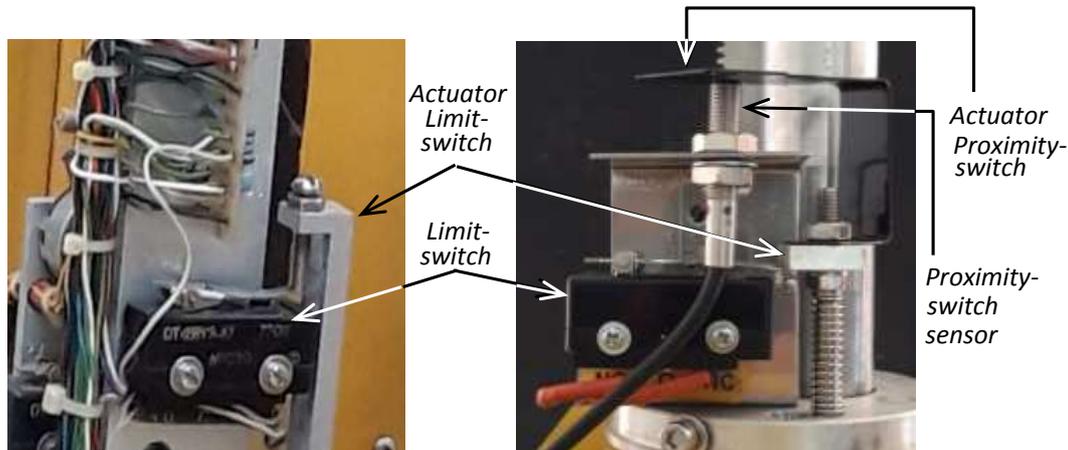
n bilangan integer 1 s/d N
 N jumlah pengujian

Dari persamaan (1) tersebut dapat digambarkan grafik seperti pada Gambar 6 untuk kedua saklar yang diuji (S_1 dan S_2) sehingga secara visual kualitatif akan terlihat jika terjadi kegagalan dan posisi kegagalan relatif terhadap nomor perintahnya. Untuk prosentase kegagalan relatif terhadap jumlah perintah pengujian yang telah dilakukan sebanyak N kali dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\% \text{Kegagalan} = \frac{N - \sum_{i=1}^N f(n)}{N} \times 100\% \quad (2)$$

Dalam desain perangkat uji-banding ini fokus pengujian pada jumlah perulangan perintah dan bukan pada waktu pengujian sehingga waktu pengujian tidak menjadi data-dasar dari hasil pengujian. Oleh karena itu, pengujian dapat dilakukan secara bertahap yaitu menghentikan pengujian dan dapat memulainya lagi dengan tanpa kehilangan data sebelumnya, mengingat pengujian memerlukan perintah (ON-OFF) yang cukup banyak. Lebar pulsa pengujian pada Gambar 5 ditentukan dengan

batasan bahwa saklar telah stabil setelah mendapatkan perintah sebelumnya, sehingga tidak terjadi perintah pada saklar dalam kondisi saklar pada saat transisi.



a. *Limit-switch* di CRDM reaktor Kartini.

b. *Limit-switch* dan *Proximity-switch* di suku-cadang CRDM reaktor Kartini untuk pengujian.

Gambar 8. Eksperimen pengujian menggunakan suku-cadang CRDM.

Gambar 8 adalah eksperimen-awal untuk penempatan *proximity-switch* pada suku-cadang CRDM reaktor Kartini, sehingga proses uji-banding nantinya akan serupa kondisinya dengan kondisi sesungguhnya ketika saklar digunakan. Desain pengujian uji-banding ini memang bertujuan untuk melihat kemungkinan penggantian *limit-switch* tersebut dengan *proximity-switch*.

5. KESIMPULAN

Konsep desain uji-banding saklar ini dirancang mengikuti program perawatan *proactive-maintenance* yang dijalankan di instalasi reaktor Kartini. Perkembangan teknologi memungkinkan suatu sistem dapat diperpanjang umur pakainya (*life-time*) atau ditingkatkan keandalannya, jika ada komponen dalam sistem diganti menggunakan teknologi baru yang lebih tepat. Dikatakan teknologi baru, karena pada saat sistem tersebut difabrikasi, teknologi yang dikatakan baru tersebut belum tersedia secara layak dari sudut pandang tertentu. Namun demikian, untuk penggantian suatu komponen pada suatu sistem instalasi tertentu, seperti reaktor nuklir, tentu tidak diperbolehkan mengganti komponen tanpa melalui suatu prosedur yang ditetapkan. Konsep desain ini merupakan langkah persiapan untuk proses penggantian komponen *limit-switch* pada sistem CRDM tersebut, sebagai antisipasi pergantian jika nanti terbukti penggunaan *proximity-switch* memiliki keandalan yang lebih baik dari eksperimen pengujian tersebut, karena sesungguhnya kedua jenis saklar tersebut secara teknis baik (memenuhi persyaratan), namun dalam hal ini team *proactive-maintenance* berusaha untuk menjadikan lebih baik lagi dari sudut pandang keandalannya. Pengujian tentu akan memakan waktu yang lama, maka konsep desain ini praktis digunakan karena didesain untuk dapat dilakukan secara bertahap.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada staf Bidang BK3 Sub-Bidang Keteknikan – PSTA BATAN, atas bantuan teknis-nya selama kegiatan uji-banding saklar ini berlangsung.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] McLinn J. *A Short History of Reliability.*, The Journal of The Reliability Information Analysis Center., January 2011.
- [2] Astolfi D, Byrne R dan Castellani F., *Estimation of the Performance Aging of the Vestas V52 Wind Turbine through Comparative Test Case Analysis .*, Energies 2021, 14, 915., doi.org/10.3390/en14040915.
- [3] Fraenkel, J. K., & Wallen, N. E. (Eds.), *How to design and evaluate research in education.* The McGraw-Hill Company, Inc. New York., 2003.
- [4] International Electrotechnical Commission Webstore, *Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices*, Edition 4.0 2016-05, https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60947-5-1%7Bed4.0%7Db.pdf , diunduh April 2021
- [5] Osadcuks V, Pecka A, Lojans A, dan Kakitis A., *Experimental research of proximity sensors for application in mobile robotics in greenhouse environment.*, Agronomy Research 12(3), 955–966, 2014.
- [6] Bharath TS, Shamprasad, Prakash KR., *Design and Development of Automated & Programmable Testing Rig for Sensor Characterization.*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), NCRACES - 2019 Conference Proceedings, Volume 7, Issue 10, 2019.
- [7] Guo YX, Lai C, Shao ZB, Xu KL and Li T, *Differential Structure of Inductive Proximity Sensor.*, Sensors 2019, 19, 2210., doi:10.3390/s19092210.
- [8] McBride J M., *Electrical Contact Bounce and The Control Dynamics of Snap-action Switches.*, PhD Thesis., Plymouth Polytechnic., Plymouth, Devon., May 1986.
- [9] Badel S W., Blaisdell A P., *Capacitive sensors for detecting proximity and response.*, Behavior Research Methods., 2008, 40 (2), 613-621 DOI: 10.3758/BRM.40.2.613.
- [10] Kinney T A., *Proximity Sensors Compared: Inductive, Capacitive, Photoelectric, and Ultrasonic.*, Machine Design., Desember 2015.
<https://www.machinedesign.com/automation-iiot/sensors/article/21831577/proximity-sensors-compared-inductive-capacitive-photoelectric-and-ultrasonic> , diunduh April 2021.
- [11] Zubair A, Sayyada M H, Yaseend M, Awb K C, Tahir M, Ali M., *Potential of 5, 10, 15, 20-Tetrakis (3 ,5-di-tertbutylphenyl) porphyrinatocopper(II) for a multifunctional sensor.*, Sensors and Actuators B: Chemical., January 2011.
- [12] Brauna A, Wicherta R, Kuijpera A,dan, Fellnera DW., *Capacitive proximity sensing in smart environments.*, Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments · July 2015. DOI: 10.3233/AIS-150324
- [13] Rabl A, dkk., *Implementation of a Capacitive Proximity Sensor System for a Fully Maneuverable Modular Mobile Robot to Evade Humans.*, Proceedings of the Austrian Robotics Workshop., Viena., 2018.
- [14] Deswandri and Syaiful Bakhri, *Investigation of Rod Control System Reliability of Pwr Reactors*, ICoNETS Conference Proceedings International Conference on Nuclear Energy Technologies and Sciences (2015), Volume 2016., DOI 10.18502/ken.v1i1.465
- [15] Nicholls D., *An Introduction to the RIAC 217Plus™ Component Failure Rate Models.*, The Journal of The Reliability Information Analysis Center., April 2007.
- [16] Muijs D, *Doing Quantitative Research in Education with SPSS*, SAGE Publications Ltd, London, 2011.