

INTEGRASI DATA REACTIVITY COMPUTER KE SISTEM INTERNET REACTOR LABORATORY (IRL) REAKTOR KARTINI

INTEGRATION OF REACTIVITY COMPUTER DATA INTO THE KARTINI REACTOR'S INTERNET REACTOR LABORATORY (IRL) SYSTEM

Zulfikar Elran Bhagaskara¹, Resa Satria¹, Umar Sahiful Hidayat¹

¹Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN-Yogyakarta

Email: zulfikar.elran@batan.go.id

Diterima : 1 Juli 2021, diperbaiki : 14 September 2021, disetujui : 20 September 2021

ABSTRAK

INTEGRASI DATA REACTIVITY COMPUTER KE SISTEM INTERNET REACTOR LABORATORY (IRL) REAKTOR KARTINI. Reactivity Computer merupakan modul elektronika yang digunakan untuk mengukur reaktivitas dari hasil pembelahan inti di-teras reaktor. Sebelumnya sinyal keluaran reactivity computer diolah dan hanya ditampilkan pada layar reactivity computer, namun penunjukannya belum terintegrasi dengan sistem IRL. Sehingga saat praktikum pengukuran reaktivitas batang kendali, peserta kesulitan untuk mengambil data karena perhatian peserta terbagi antara tampilan IRL dan tampilan reactivity computer. Agar dapat diintegrasikan dalam sistem IRL, keluaran reactivity computer perlu dikonversi ke dalam besaran digital, baru kemudian diakuisisi ke dalam sistem IRL. Untuk mencapai tujuan tersebut, dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap, pertama pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal karena sinyal dari reactivity computer bernilai -10V sampai +10 Volt DC sementara analog digital converter (ADC) yang tersedia hanya mampu mengukur tegangan 0-5 Volt DC. Kedua pengujian rangkaian pengkondisi sinyal. Ketiga pembuatan sistem akuisisi data dari ADC ke IRL dan terakhir pengujian sistem secara keseluruhan. Setelah seluruh tahap dilakukan, nilai reaktivitas dapat ditampilkan di tampilan IRL, dengan perbedaan penunjukan antara display reactivity computer dengan tampilan di IRL sebesar 1,1%.

Kata kunci : reaktivitas, reactivity computer, internet reactor laboratory.

ABSTRACT

INTEGRATION OF REACTIVITY COMPUTER DATA INTO THE KARTINI REACTOR'S INTERNET REACTOR LABORATORY (IRL) SYSTEM. Reactivity Computer is an electronic module used to measure the reactivity from nuclear reaction inside the reactor core. Previously, the reactivity computer output signal was processed and only displayed on the reactivity computer screen, it was not integrated with the IRL system. So that during measurement of control rod reactivity exercise, participants had difficulty when collecting data because participants must pay attention to the IRL display and the computer reactivity display at almost the same time to collect exercise data. In order to be integrated with the IRL system, the output of the reactivity computer needs to be converted into a digital signal, then acquired into the IRL system. To achieve this objective, in this study several steps were carried out, first step is to create a signal conditioning circuit because the signal from the reactivity computer is -10V to +10 Volt DC while the available analog digital converter (ADC) is only able to measure 0-5 Volt DC. Second step is testing the signal conditioning circuit. Third step is creating the data acquisition system from ADC to IRL and final step is testing the whole system. After all steps are carried out, the reactivity value can be

displayed on the IRL display, with difference around 1,1% between value at the reactivity computer display and value at the display of IRL.

Key words: reactivity, reactivity computer, internet reactor laboratory

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat menyebabkan begitu banyak perubahan terhadap berbagai aspek kehidupan manusia. Perkembangan teknologi ini menjadikan berbagai segi kehidupan manusia seolah olah tidak terbatas oleh jarak dan waktu. Misalnya untuk proses belajar mengajar yang dulunya dilakukan secara tatap muka pada waktu dan tempat yang telah ditentukan, kini berubah menjadi sistem *online* yang dapat dilaksanakan kapan saja dan dimana saja [1] [2] [3].

Untuk beradaptasi dengan kemajuan teknologi tersebut dikembangkanlah *Internet Reactor Laboratory* (IRL) di reaktor Kartini. Dengan adanya IRL, praktikum operasi dan pengendalian reaktor nuklir yang awalnya dilakukan melalui tatap muka secara langsung, kini dapat dilakukan melalui media internet tanpa perlu tatap muka langsung. Sehingga mahasiswa dari berbagai lokasi bahkan yang berbeda negara dapat mengikuti praktikum di reaktor Kartini.

Ada beberapa menu praktikum yang disediakan dalam IRL, salah satunya adalah praktikum pengukuran reaktivitas batang kendali. Pengukuran reaktivitas batang kendali dilakukan dengan membuat reaktor kritis pada daya rendah sekitar 10 Watt. Kemudian batang kendali dinaikkan beberapa persen dan diamati berapa besar reaktivitas yang dihasilkan di teras reaktor. Pengujian ini dilakukan untuk masing-masing batang kendali dari posisi 0-100%. Adapun alat yang digunakan untuk mengukur reaktivitas batang kendali reaktor kartini yaitu *reactivity computer*.

Reactivity computer merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengubah input

dari detector *compensated ionization chamber* (CIC) menjadi besaran reaktivitas dalam satuan dollar atau sen dollar [4]. Hasil pengukuran reaktivitas oleh *reactivity computer* ditampilkan pada *display reactivity computer*, belum terintegrasi dengan sistem IRL.

Penunjukan data pengukuran reaktivitas yang belum terintegrasi dengan sistem IRL menyebabkan peserta dan pengajar praktikum mengalami kesulitan saat melaksanakan praktikum pengukuran reaktivitas batang kendali. Saat praktikum peserta harus mengamati data posisi batang kendali dan periode reaktor di sistem IRL sementara data reaktivitas batang kendali di *display reactivity computer* diamati melalui kamera. Untuk memindahkan tampilan bahan ajar antara sistem IRL dan kamera yang menampilkan *display reactivity computer*, diperlukan keterampilan dan kecepatan dari pengajar praktikum. Padahal waktu yang tersedia untuk mengamati data data tersebut hanya beberapa detik

Oleh karena itu, untuk mempermudah pelaksanaan praktikum pengukuran reaktivitas batang kendali, maka dilakukan integrasi data pengukuran *reactivity computer* ke dalam sistem IRL.

TINJAUAN PUSTAKA

Reaktivitas Reaktor

Neutron yang diproduksi saat reaksi fisi akan mengalami beberapa kemungkinan. Diantaranya diserap oleh bahan bakar menghasilkan reaksi fisi, diserap oleh bahan bakar tapi tidak terjadi reaksi fisi, diserap oleh bahan non fisi, atau keluar dari teras reaktor [5]. Walaupun ada sebagian neutron yang

tidak diserap oleh bahan bakar, reaktor nuklir tetap dapat beroperasi menghasilkan reaksi nuklir berantai selama neutron yang diproduksi sama dengan neutron yang diperlukan untuk reaksi fisi ditambah neutron yang tidak menghasilkan reaksi fisi [6].

Perbandingan populasi neutron pada suatu generasi dibandingkan populasi neutron pada generasi sebelumnya disebut faktor multiplikasi efektif (K_{eff}). Namun untuk menjelaskan kondisi kekritisan reaktor nuklir lebih umum digunakan istilah reaktivitas (ρ)

dibandingkan K_{eff} [7]. Persamaan 1 menunjukkan hubungan antara K_{eff} dengan reaktivitas.

$$\rho = \frac{K_{eff}-1}{K_{eff}} \quad (1)$$

Hubungan nilai reaktivitas dan K_{eff} terhadap kondisi kekritisan reaktor nuklir ditunjukkan pada Tabel 1 [6].

Tabel 1. Kondisi kekritisan reaktor.

Kondisi Reaktor	Sub Kritis	Kritis	Super Kritis
K_{eff}	<1	1	>1
ρ	<0	0	>0
Daya Reaktor	Turun	Konstan	Naik

Pengukuran Reaktivitas Batang Kendali

Reaktor Kartini merupakan reaktor nuklir riset jenis TRIGA MARK II yang berada di Yogyakarta. Desain daya maksimal dari reaktor ini adalah 250kWatt, namun saat ini hanya dioperasikan pada daya maksimal 100kW sesuai izin operasi yang diberikan oleh BAPETEN.

Teras reaktor Kartini terdapat 90 lubang yang diisi bahan bakar sebanyak 71 buah, batang kendali 3 buah, tabung iradiasi pneumatik 1 buah, tempat iradiasi *central timble* 1 buah, sumber neutron 1 buah dan sisanya diisi *dummy* bahan bakar yang terbuat dari grafit. Masing-masing konfigurasi teras memiliki nilai reaktivitas yang berbeda beda, sehingga setiap terjadi perubahan konfigurasi teras atau dalam periode waktu tertentu harus dilakukan pengukuran reaktivitas batang kendali [8].

Tiga buah batang kendali di reaktor Kartini yaitu batang kendali pengaman, batang kendali kompensasi, dan batang kendali pengatur. pengukuran reaktivitas batang kendali di reaktor Kartini dilakukan satu per

satu untuk setiap batang kendali. Batang kendali yang sedang tidak diukur reaktivitasnya diposisikan *full up*, lalu batang kendali yang diukur reaktivitasnya dinaikkan perlahan hingga reaktor kritis pada daya rendah 10 Watt. Kemudian batang kendali yang diukur dinaikkan beberapa persen dan dicatat reaktivitasnya. Kemudian reaktor dikritiskan lagi pada daya 10 Watt dengan cara menurunkan posisi batang kendali yang tidak diukur reaktivitasnya. Sedangkan batang kendali yang didiukur, dinaikkan untuk dicatat reaktivitasnya. Tahap ini diulangi terus menerus hingga batang kendali yang diukur dalam kondisi *full up*. Adapun nilai reaktivitas batang kendali dari posisi 0% hingga posisi batang kendali saat reaktor kritis 10 Watt pertama kali dilakukan dengan metode *rod drop* [9].

Metode *rod drop* dilakukan dengan menaikkan dua batang kendali yang tidak diukur ke posisi *full up*, dan batang kendali yang diukur diatur ke posisi awal saat reaktor kritis 10 Watt. Kemudian batang kendali yang diukur reaktivitasnya di *scram manual* dan

dicatat penunjukan reaktivitasnya sebagai reaktivitas *rod drop*.

Alat yang digunakan untuk mengukur reaktivitas di reaktor Kartini yaitu *reactivity computer* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



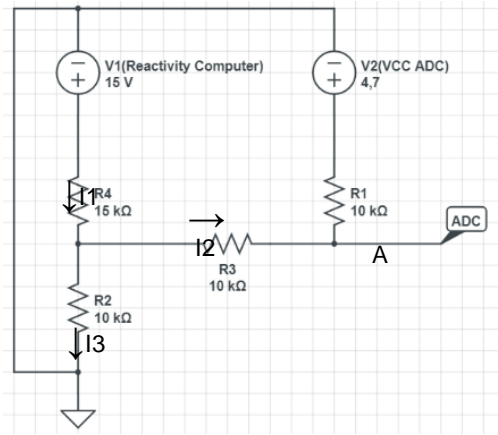
Gambar 1. *Reactivity computer* reaktor Kartini.

METODOLOGI

Kegiatan penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal, pengujian rangkaian pengkondisi sinyal, pembuatan program akuisisi data dari ADC ke sistem IRL, dan terakhir pengujian sistem secara keseluruhan.

Pembuatan dan Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal diperlukan karena keluaran *reactivity computer* merupakan sinyal tegangan -10 VDC sampai +10 VDC [10]. Namun *analog to digital converter* (ADC) yang tersedia merupakan ADC 10 bit dengan rentang pengukuran 0-4,7 VDC. Rangkaian pengkondisi sinyal dibuat dari rangkaian transistor seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian pengkondisi sinyal.

Walaupun *output reactivity computer* adalah -10 VDC sampai +10 VDC, nilai resistor dipilih untuk mengonversi tegangan dengan rentang -15 s/d +11 VDC agar lebih aman bagi ADC. Rentang tegangan tersebut akan diubah menjadi tegangan sekitar 0 s/d 5 VDC pada titik A. Berdasarkan hukum Kirchoff, tegangan di titik A yaitu sebesar.

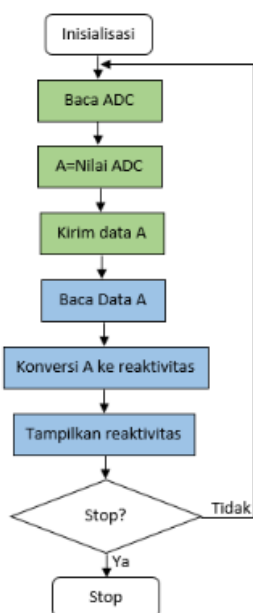
$$V_A = \frac{-2(V_1) + 5(V_2)}{-130000} \times 10^4 + V_2 \quad (2)$$

Rangkaian pengkondisi sinyal tersebut kemudian diuji dengan memberi tegangan -15 s/d +11 pada bagian V1, lalu diukur berapa tegangan pada titik A dan berapa nilai konversi ADC.

Setelah diketahui nilai konversi ADC untuk berbagai nilai tegangan input, dicari persamaan untuk mengonversi kembali nilai pembacaan ADC ke nilai tegangan atau nilai reaktivitas.

Pembuatan Program Akuisisi Data dari ADC ke Sistem IRL

Pembuatan program akuisisi data terbagi menjadi dua bagian, yaitu pada bagian ADC yang terhubung dengan mikrokontroler dan pada bagian IRL. Komunikasi antara mikrokontroler dengan sistem IRL dilakukan dengan komunikasi USB serial. Secara garis besar, diagram alir program akuisisi data yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir program akuisisi data.

Blok berwarna hijau pada diagram alir menunjukkan program dibuat pada mikrokontroler, blok berwarna biru menunjukkan program dibuat pada sistem IRL, dan blok berwarna putih menunjukkan program dibuat pada mikrokontroler dan IRL.

Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan melakukan pengukuran reaktivitas batang kendali, lalu diamati hasil pengukuran yang ditunjukkan pada *reactivity*

computer dan hasil pengukuran yang ditampilkan di IRL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan dan Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

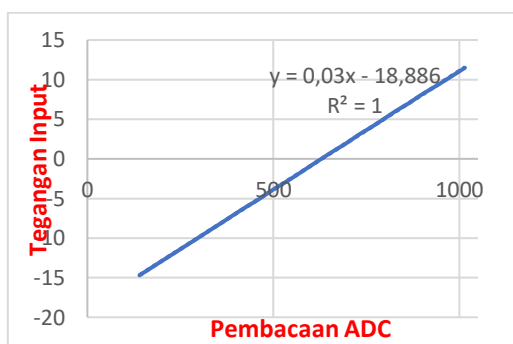
Setelah rangkaian pengkondisi sinyal dibuat, rangkaian diuji dengan memberi tegangan input bervariasi lalu diukur tegangan V_A dan dicatat hasil pengukuran ADC. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal.

V_{in}	V_A (Perhitungan)	V_A (Terukur)	ADC
-14,7	0,631	0,647	140
-10,0	1,354	1,365	297
-9,05	1,500	1,511	328
-8,07	1,651	1,660	361
-7,05	1,808	1,817	394
-6,03	1,965	1,973	428
-5,07	2,112	2,119	462
-4,01	2,275	2,280	495
-3,04	2,425	2,430	529
-2,00	2,584	2,587	564
-1,00	2,738	2,742	596
0,00	2,892	2,894	629
1,05	3,055	3,055	664
2,00	3,200	3,200	697
3,03	3,358	3,358	729
4,02	3,511	3,508	764
5,00	3,662	3,658	796
6,00	3,816	3,807	828
7,02	3,972	3,965	864
8,00	4,123	4,114	895
9,05	4,285	4,219	932
10,00	4,431	4,419	965
11,5	4,662	4,650	1015

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa dengan rangkaian pengkondisi sinyal yang dibuat, ADC mampu mengukur tegangan input -15 s/d 11 VDC, Tegangan terukur pada titik A juga hampir sama bila dihitung menggunakan persamaan 2, hanya terdapat selisih rata-rata sebesar 0,4% antara perhitungan dengan pengukuran,

Selanjutnya dibuat grafik untuk mengetahui linieritas hasil konversi ADC, serta untuk mendapat persamaan konversi dari ADC ke reaktivitas, Grafik konversi ADC ditunjukkan pada Gambar 4,



Gambar 4, Grafik hubungan tegangan input dengan pembacaan ADC,

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa hasil konversi ADC dari sistem yang dibuat sangat linier karena $R \approx 1$, Dari grafik tersebut juga didapat persamaan untuk mengonversi hasil pembacaan ADC menjadi reaktivitas, yaitu,

$$V_{in} = 0,03x - 18,886 \quad (3)$$

Karena nilai reaktivitas $\approx V_{in}$ [10], maka,

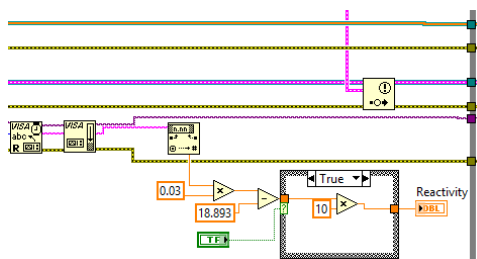
$$\text{Reaktivitas} = 0,03x - 18,886 \quad (4)$$

Dimana x merupakan hasil pembacaan ADC, Persamaan tersebut

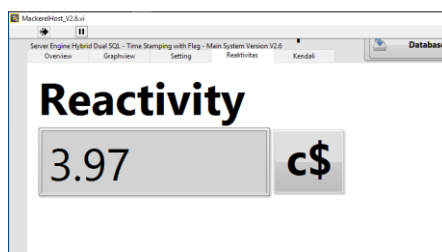
kemudian dimasukkan dalam program untuk menghitung reaktivitas batang kendali,

Pembuatan Program dan Pengujian Sistem

Program yang dibuat berjalan dengan baik karena saat sistem di *run* tidak terdapat error baik pada sisi mikrokontroler maupun pada sistem IRL, Potongan program akuisisi data di sistem IRL ditunjukkan pada Gambar 6, dan tampilan penunjukan reaktivitas di sistem IRL ditunjukkan pada Gambar 7,



Gambar 6, Program akuisisi data,



Gambar 7, Penunjukan reaktivitas batang kendali pengatur posisi 22,3% ke 24% ,

Setelah program dapat dijalankan, dilakukan pengukuran reaktivitas batang kendali untuk menguji sistem yang telah dibuat, Berdasarkan hasil pengujian, didapat data seperti pada Tabel 3,

Tabel 3, Hasil pengujian sistem,

Posisi	Penunjukan Reactivity Comp,(c\$)	Penunjukan di IRL (c\$)
Batang Kendali Pengatur		
9,80 (<i>rod drop</i>)	14,10	14,00
22,30	27,00	26,30
33,90	27,40	26,17
45,70	32,20	32,63
57,00	22,30	21,83
100,00	30,00	29,00
Total	153,00	149,93
Batang Kendali Kompensasi		
41,30 (<i>rod drop</i>)	174,000	173
44,50	18,00	18,05
49,50	24,70	24,57
55,20	27,50	27,60
61,30	25,40	25,50
70,00	28,50	28,78
100	18,21	18,00
Total	316,310	315,503
Batang Kendali Pengaman		
38,00(<i>rod drop</i>)	146,000	146,023
42,00	21,90	21,92
47,00	24,70	24,60
52,60	24,70	24,27
60,00	26,90	27,30
70,00	28,10	28,20
100	27,00	27,00
Total	299,300	299,313

Dari hasil pengujian pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa data *reactivity computer* sudah dapat terbaca dengan baik di sistem IRL, dimana selisih hasil pengukuran antara penunjukan di *display reactivity computer* dengan di sistem IRL rata-rata sekitar 1,1%.

KESIMPULAN

Telah dilakukan integrasi data pengukuran *reactivity computer* ke dalam sistem IRL, Integrasi data ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal untuk mengubah *output reactivity computer* menjadi 0-5VDC, Kemudian tegangan 0-5VDC dikonversi menjadi nilai digital dan dikirim ke

sistem IRL menggunakan komunikasi serial USB, Data konversi digital kemudian diubah kembali menjadi nilai reaktivitas menggunakan persamaan 4,

Dari hasil pengujian diketahui terdapat perbedaan sebesar 1,1% antara data yang ditampilkan pada *display reactivity computer* dengan data hasil integrasi pada sistem IRL, Dengan selisih pengukuran yang relatif kecil ini, maka hasil hasil integrasi data *reactivity computer* di sistem IRL dapat digunakan untuk praktikum IRL, Dengan ditampilkannya data reaktivitas di sistem IRL, mahasiswa dan pengajar lebih mudah dalam melaksanakan praktikum, karena tampilan data reaktivitas, posisi batang kendali, periode, dan daya sudah menjadi satu tampilan,

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T, Andriani, "Sistem Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi," *Sosial Budaya : Media Komunikasi Ilmu-Ilmu Sosial dan Budaya*, vol, 12, no, 1, pp, 127-150, 2015,
- [2] S, Anshori, "Pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi Sebagai Media Pembelajaran," *Civic-Culture: Jurnal Ilmu Pendidikan PKn dan Sosial Budaya*, vol, 2, no, 1, pp, 88-100, 2018,
- [3] Firman and S, R, Rahman, "Pembelajaran Online di Tengah Pandemi Covid-19," *Indonesian Journal of Educational Science (IJES)*, vol, 2, no, 2, pp, 81-89, 2020,
- [4] General Atomics, R-20A Reactivity Computer Operation and Maintenance Manual, USA: General Atomic Company, 1976,
- [5] U,S, Department of Energy, DOE Fundamental Handbook Nuclear Physics and Reactor Theory, Washington, 1993,
- [6] J, Sierchula, "Analysis of Reactivity Changes During the Operation of a Nuclear Power Plant," *Conference: 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop*, pp, 61-66, 2018,
- [7] United States Nuclear Regulatory Commission, Westinghouse Technology System Manual, Washington: United States Nuclear Regulatory Commission, 2016,
- [8] Badan Tenaga Nuklir Nasional, Laporan Analisis Keselamatan Revisi 2 Terbitan 2, Yogyakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2019,
- [9] Badan Tenaga Nuklir Nasional, Standar Operasional Prosedur Kalibrasi Batang Kendali Reaktor Revisi 1 Terbitan 1, Yogyakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2016,
- [10] M, F, Maulina and T, J, R, Fadilla, Akuisisi Data Parameter Reaktivitas Untuk Mendukung Internet Reactor Laboratory (IRL), Malang: Universitas Negeri Malang, 2020,