

Kajian Sistem Pengukur Daya Reaktor Pada Kanal Daya Tinggi

¹W.A. Gammayani., ²D. Gayani, ³Santiko, ⁴N. Nagara
¹Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia
^{1,2,3,4}Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN
Jl. Tamansari 71, Bandung 40132, Indonesia
¹widya_a9@yahoo.com
²didigayani@yahoo.com
Received date : 3 Januari 2011
Accepted date : 25 Februari 2011

Abstrak

Telah dilakukan kajian tentang sistem pengukur daya reaktor pada kanal daya tinggi serta telah dicoba perancangan alat ukur daya reaktor untuk tiga dekade teratas atau dalam rentang 1% - 100% pengukuran daya. Sistem pengukur daya reaktor pada kanal daya tinggi dibentuk sebagai pengukur arus luaran detektor nuklir yang ditempatkan dalam tangki reaktor, proporsional terhadap besarnya fluks neutron yang terdeteksi dan seterusnya adalah proporsional dengan daya thermal reaktor. Sistem dibentuk sebagai pengukur arus yang berkisar dari 1 mikroampere - 1 miliampere dalam tiga skala ukur yang dikontrol secara otomatis dengan memanfaatkan sistem mikrokontroler. Dari hasil pengujian di laboratorium dengan menggunakan sumber arus yang presisi dapat disimpulkan bahwa sistem pengukur daya reaktor yang dirancang dapat digunakan dan dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi pengukur daya reaktor untuk kanal daya menengah.

Kata kunci: *pengukur daya reaktor, pengukur arus, mikrokontroler.*

Abstract

A reactor power measuring system has been examined at high-power channel. Reactor power measuring device also has been designed for top three decades or within the range of 1% - 100% power measurement. Reactor power measuring system at high-power channel is formed as a nuclear detector output current meter which is placed inside the reactor tank. This current measurement is proportional to detected neutron flux and so is proportional to the thermal power reactor. This system was established for measuring currents range from 1 microampere - 1 miliampere in three scale measurement which is controlled automatically using microcontroller system. From the laboratory tests using a precision current source, it can be conclude that designed reactor power measuring system is able to be used. It also can be developed further for measuring reactor power at medium power channel.

Keywords: *reactor power meter, current meter, microcontroller.*

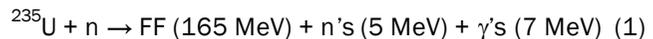
1 Pendahuluan

Dalam reaktor nuklir thermal, pengamatan daya reaktor dilakukan dengan pengukuran intensitas fluks neutron lambat menggunakan detektor neutron yang ditempatkan dalam tangki reaktor di luar teras reaktor (*out of core*). Intensitas fluks neutron yang diukur tersebut berkisar dari 1 nv s.d. 1×10^{10} nv atau persen daya 2×10^{-8} s.d. 120% [1][2], terbagi dalam tiga tahap yaitu tahap daya rendah (*source start-up range*) sekitar lima dekade pertama dari sepuluh dekade rentang pengukuran, tahap daya menengah (*intermediate range*) dan tahap daya tinggi (*power range*). Pada tahap daya rendah sekitar lima dekade pertama dilakukan pengukuran intensitas fluks neutron dengan menggunakan detektor fission chamber dengan mode pulsa yang dicacah. Pada tahap daya menengah karena sudah tidak mungkin lagi dilakukan pencacahan pulsa yang intensitasnya cukup

tinggi maka dilakukan pengukuran dengan mode arus. Pada tahap daya ini digunakan detektor compensated ion chamber yang konstruksinya mempunyai kemampuan mengeliminasi pengaruh intensitas gamma yang terukur dari intensitas neutron yang diinginkan [3][4]. Dalam tahap daya menengah ini dilakukan pengukuran dalam mode arus walaupun arus yang terukur ini dalam rentang arus yang cukup kecil, berkisar dalam orde nanoampere. Sedangkan pada tahap daya tinggi sekitar tiga atau dua dekade tertinggi tetap dilakukan pengukuran intensitas neutron dalam mode pengukuran arus namun detektor yang digunakan cukup dengan ion chamber karena dianggap populasi neutron sudah sangat banyak dan pengaruh intensitas gamma dapat diabaikan. Besar arus yang terukur pada tahap ini cukup besar sampai 1 mA pada 100% daya penuh [1][5]. Dalam hal kajian peralatan sistem pengukur daya reaktor telah dicoba dikembangkan sistem pengukur daya reaktor yang berbasis mikrokontroler.

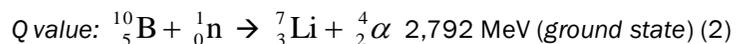
2 Pembahasan Detektor Neutron

Neutron tidak bermuatan oleh karena itu tidak dapat mengionisasi gas secara langsung seperti dalam detektor isian gas (*gas filled detector*) untuk radiasi pengion pada umumnya. Diperlukan media lain untuk terjadinya reaksi antara neutron lambat dengan media tersebut sehingga menghasilkan partikel lain yang akhirnya dapat mengionisasi gas dalam detektor. Pada detektor *fission chamber* digunakan media ^{235}U agar terjadi reaksi seperti berikut [3][4]:



Fission Fragment (FF) yang terbentuk dari reaksi fisi tersebut sangat kuat untuk mengionisasi gas dalam detektor dan melepaskan energi sebesar 165 MeV sehingga dari pendeteksian tersebut akan dihasilkan pulsa atau arus yang signifikan karena neutron [4].

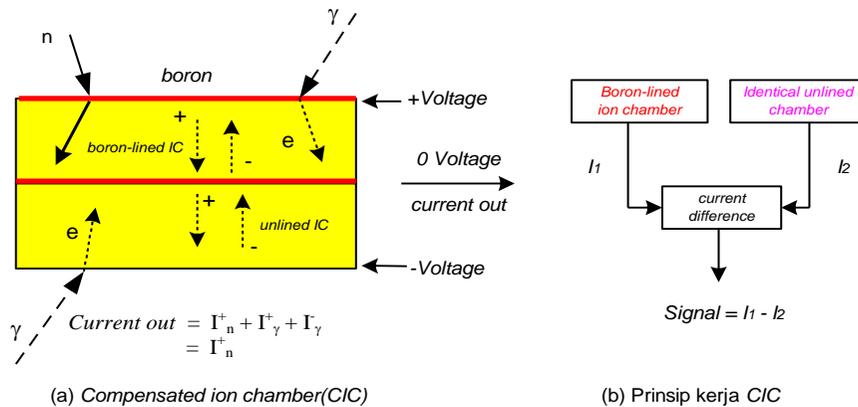
Sedangkan detektor *ion chamber* yang digunakan untuk deteksi neutron menggunakan lapisan boron sehingga memungkinkan reaksi boron dengan neutron dalam menghasilkan produk-produk yang akhirnya dapat mengionisasi gas dalam detektor tersebut [3][4]. Reaksi antara neutron dengan boron ditunjukkan sebagai berikut :



Jika *neutron thermal* (0,025 eV) yang digunakan untuk menimbulkan reaksi dengan boron, 94% dari semua reaksi menuju ke *excited state* dan hanya 6% langsung ke *ground state* [3]. Hasil reaksi tersebut memberikan produk-produk dengan *Q value* yang jauh lebih besar dibandingkan dengan energi neutron lambat yang menyebabkan reaksi tersebut dan menyebabkan ionisasi pada gas dalam detektor.

Prinsip kerja detektor *compensated ion chamber* sama seperti detektor *ion chamber* hanya saja konstruksinya dibuat sedemikian rupa sehingga memungkinkan eliminasi pengaruh gamma terhadap neutron yang menjadi perhatian dalam pengukuran. Ilustrasi pengeliminasian pengaruh gamma terhadap pendeteksiannya neutron dilukiskan pada

Gambar 1. Konstruksi dari detektor ini terdiri dari dua buah *chamber*, yaitu sebuah *chamber* dengan lapisan boron yang respon terhadap neutron dan gamma, dan *chamber* tanpa lapisan boron yang respon terhadap gamma dan tidak respon terhadap neutron. Dari konstruksi yang didesain, sinyal yang berasal dari gamma pada kedua *chamber* tersebut akan saling menghilangkan sehingga akhirnya hanya didapatkan sinyal karena pengaruh neutron saja [3][4].



Gambar 1 Gambaran prinsip kerja *Compensated Ion Chamber (CIC)*

3 Bahan dan Tata Kerja

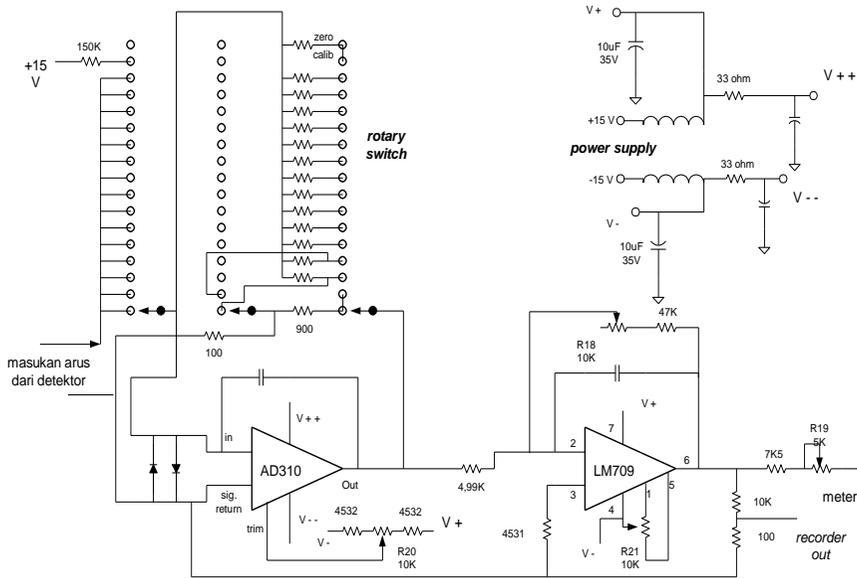
3.1 Pengukuran Arus Detektor

Pengukuran daya pada tahap daya menengah dan tinggi dilakukan dalam mode pengukuran arus. Kanal daya tinggi (*power range*) biasanya hanya dua dekade tertinggi, sedangkan kanal daya menengah dapat mencapai lima atau enam dekade dengan *overlap* pengukuran pada daya rendah dan pada daya tinggi. Untuk mendapatkan ketelitian pengukuran, pada umumnya dilakukan beberapa tingkat pengukuran yang perpindahannya dilakukan melalui *switch* pemilih skala ukur. Penguat operasional yang digunakan untuk pengukuran arus yang kecil dalam orde nanoampere harus dipilih sebagai *op-amp* (*operational amplifier*) yang khusus mempunyai *bias current* kecil, ini dimungkinkan dengan pemilihan *op-amp* dengan jenis *Field Effect Transistor (FET)* di bagian depannya.

Gambar 2 berikut memperlihatkan contoh rangkaian pengukur daya reaktor dalam mode arus yang pemilihan skala ukurnya dilakukan dengan *switch* secara manual. *Op-Amp* yang pertama adalah jenis *FET-Input* berfungsi sebagai *current to voltage converter*, sehingga dari arus positif masuk yang diukur akan terbentuk tegangan negatif yang sebanding dengan arus masuk. Tegangan tersebut dimasukkan kembali ke suatu *op-amp* untuk dijadikan tegangan positif yang juga diatur untuk menggerakkan meter indikator yang bisa dibaca [6].

Rangkaian ini cukup baik untuk dapat mencakup jangkauan sebanyak tujuh dekade dari tahap daya rendah sampai 100% daya penuh bagi tiga belas skala pengukuran yang dipilih

melalui *switch*. Dari kenyataan tersebut, rangkaian ini membutuhkan *switch* berkualitas sangat baik dengan banyak terminal mengingat penggunaannya dalam pengukuran arus sangat kecil dalam orde puluhan picoampere. Cukup sulit mendapatkan *switch* semacam itu di pasar Indonesia.



Gambar 2 Rangkaian pengukur arus daya reaktor

Dengan perkembangan teknologi komponen elektronika khususnya dalam komponen *op-amp (operational amplifier)* dan mikrokontroler, pada penelitian ini dilakukan pengembangan pembuatan alat pengukur daya reaktor secara bertahap mulai dari pengukuran daya pada kanal daya tinggi dengan pengukuran arus yang cukup besar dan kemudian dilanjutkan dengan pengukuran pada tahap daya menengah dengan pengukuran arus yang relatif lebih kecil.

Mikrokontroler digunakan sebagai kontrol pemilihan skala ukur pengukuran daya secara otomatis dan pengubahan data analog sebagai hasil dari *current to voltage converter* menjadi data digital, data diolah dan kemudian data tersebut ditampilkan pada tampilan LCD. Gambar 3 menunjukkan diagram blok pengukuran daya yang dikembangkan dengan memanfaatkan kemampuan mikrokontroler.

Prinsip pengukuran daya pada tahap daya tinggi dilakukan melalui pengukuran arus yang keluar dari detektor nuklir yang direncanakan mencakup tiga dekade teratas, yaitu 0.1 - 1%, 1 - 10%, dan 10 - 100%. Dengan mengatur pengukuran daya untuk 100% pada 1 mA, maka pengukuran daya terkecil adalah 1 uA. Nilai *full scale* dari tiap range, luaran dari *current to voltage converter* adalah 8 Volt jadi untuk 1/10 dari tiap skala pengukuran adalah tegangan sebesar 0,8 Volt. Namun karena sensitivitas dari suatu *Digital Volt Meter* atau *Analog to Digital Converter* mampu mengukur dibawah 0,8 Volt, maka penunjukan daya bisa lebih kecil dari 0,1%, misalnya sampai 0,01%. Tetapi jika pengukurannya terlampau kecil, pengukurannya akan terganggu oleh derau.

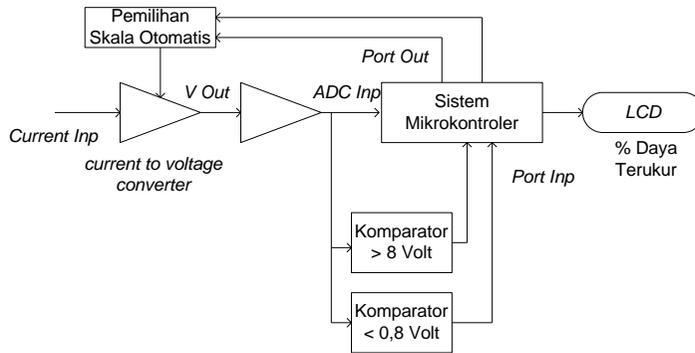
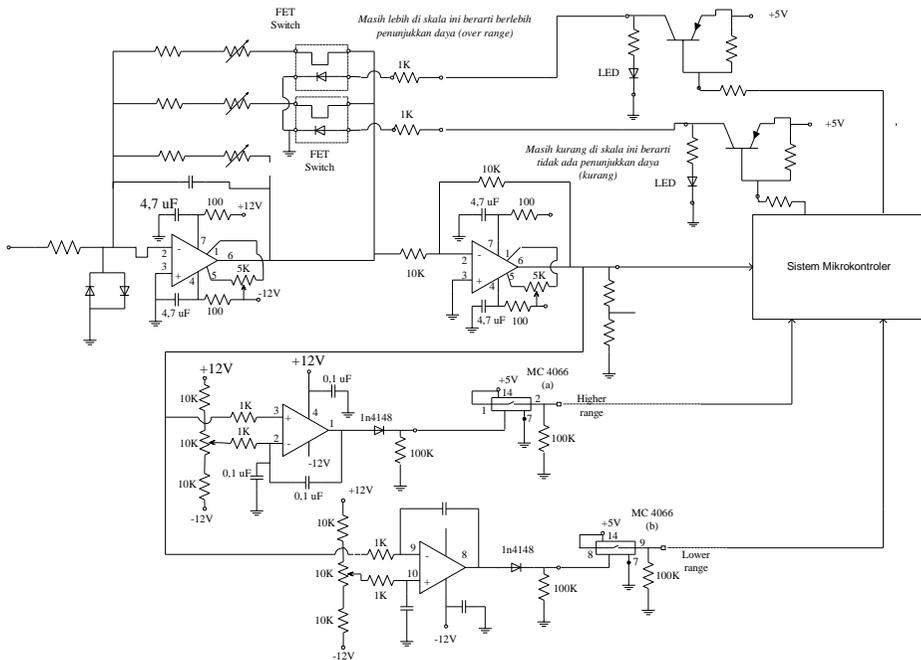


Diagram Blok Sistem Pengukur Daya

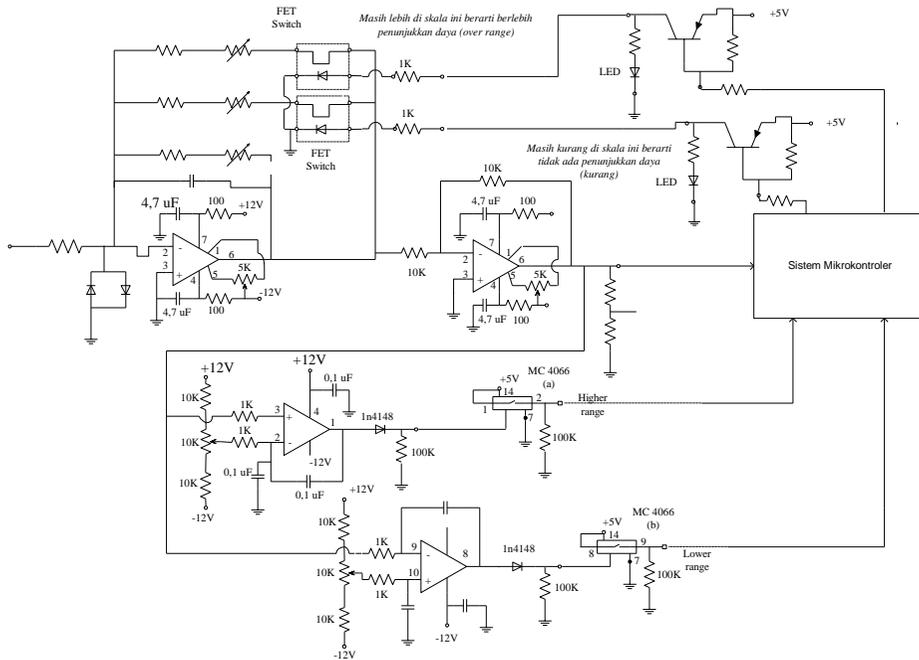
Gambar 3 Blok rangkaian pengukur daya melalui pengukuran arus



Gambar 4 Rangkaian pengukur daya reaktor kanal daya tinggi

Rangkaian pengukur arus menggunakan LF411, *op-amp* jenis FET yang mempunyai *bias current* sebesar 20 picoampere digunakan sebagai *current to voltage converter* [7]. *Op-amp* yang pertama ini mengubah arus masukan menjadi tegangan negatif yang proporsional terhadap arus masuk tergantung pada besarnya tahanan umpan balik yang terpasang. Luaran dari *op-amp* tersebut masuk melalui *op-amp* selanjutnya melalui masukan *inverting* sehingga hasilnya merupakan tegangan positif. Dalam keadaan normal, tegangan berada diantara 0,8 sampai dengan 8 V, kedua buah komparator pada tahap selanjutnya tidak menunjukkan gejala tegangan yang lebih dari 8 V (*over voltage*) maupun kurang dari 0,8 V (*under voltage*) sehingga tegangan tersebut dapat diakuisisi oleh sistem mikrokontroler

melalui fungsi *analog to digital converter*. Namun jika komparator menunjukkan adanya tegangan *over voltage* melalui komparator yang bersangkutan, maka sistem mikrokontroler akan mendeteksinya kemudian mengeluarkan kombinasi luaran digital untuk mengubah *gain* dari *current to voltage converter* sehingga hasil luarannya kembali normal antara 0,8 s.d. 8 Volt. Demikian juga sebaliknya jika komparator menunjukkan adanya indikasi *under voltage*, maka sistem mikrokontroler akan mendeteksinya dan memberikan kombinasi luaran digital yang mengatur *gain* dari *current to voltage converter* sehingga tegangan luaran tersebut kembali normal antara 0,8 - 8 V. Rangkaian *current to voltage converter* direalisasikan seperti Gambar 5. Pemilihan tahanan umpan balik dilakukan dengan pengaktifan *FET switch*, H11F1[8].



Gambar 5 Rangkaian pengukur daya reaktor kanal daya tinggi

3.2 Algoritma Penentuan Skala

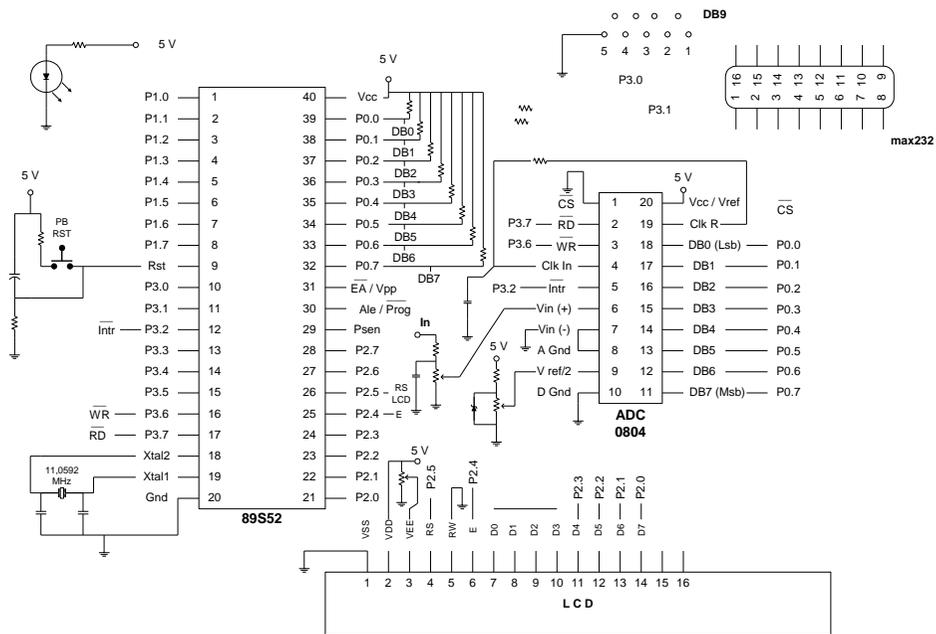
Awal pengukuran dimulai dengan pengaturan range pengukuran yang terbesar, artinya ditujukan untuk pengukuran arus dari 0,1 s.d. 1 mA. Pengaturan ini dilakukan oleh sistem mikrokontroler dengan mengatur kedua lojik port output adalah "1" yang akibatnya juga kedua FET switch yang terpasang sebagai feedback untuk *current to voltage converter* terbuka. Selanjutnya port input mendeteksi hasil komparator yang mendeteksi apakah terjadi *over voltage* atau *under voltage* dari luaran *current to voltage converter* tersebut. Jika terjadi *over voltage* pada kondisi *gain* yang tertinggi, artinya arus untuk daya terukur terlalu besar dan *gain* harus diperkecil menuju persentase range pengukuran yang lebih besar. Namun jika terbaca ada indikasi *under voltage*, artinya tegangan luaran dari *current to voltage converter* terlalu kecil dan *gain* dari *current to voltage converter* tersebut harus diperbesar menuju persentase daya yang lebih kecil. Diperbesar atau diperkecilnya *gain*

tersebut dilakukan oleh sistem mikrokontroler melalui port output untuk menutup atau membuka FET switch, H11F1.

3.3 Subunit Mikrokontroler

Subunit mikrokontroler dibentuk dengan menggunakan AT89S52 sebagai keping tunggal mikrokontroler [9]. Karena mikrokontroler ini belum mempunyai fungsi *analog to digital converter* maka dalam subunit ini dipasangkan komponen ADC0804 yang berfungsi sebagai *analog to digital converter* 8 bit. Gambar 6 memperlihatkan skema rangkaian mikrokontroler.

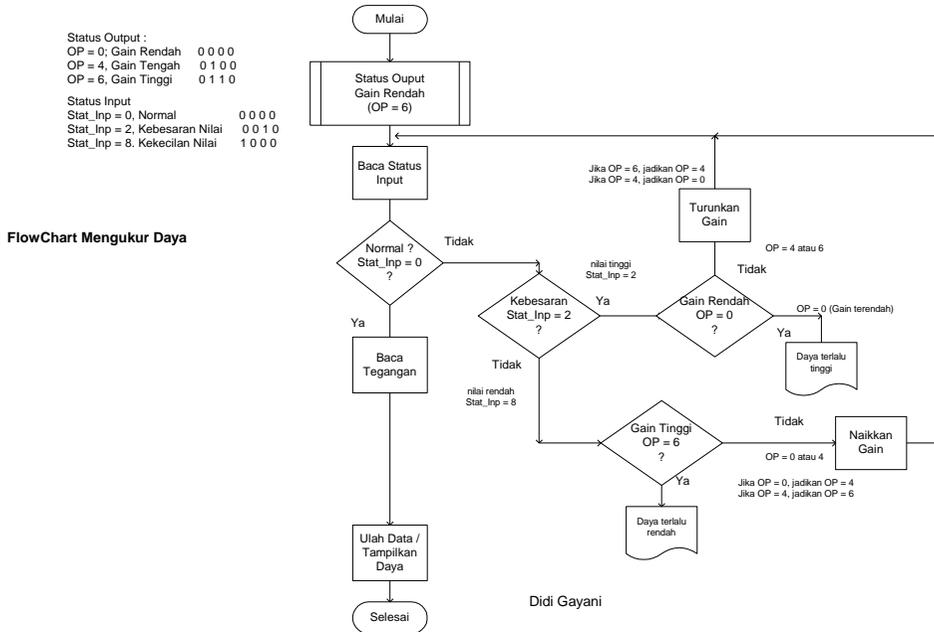
Program yang digunakan untuk mengoperasikan sistem mikrokontroler ini dibentuk melalui bahasa pemrograman Bascom.



Gambar 6 Skema blok mikrokontroler

3.4 Diagram Alir Pengaturan Pengukuran

Gambar 7 adalah diagram alir untuk mengoperasikan pengukur daya reaktor melalui pengukuran arus dengan pengaturan jangkau ukur (*range*) secara otomatis. Sebelum algoritma pengaturan ini diterapkan pada sistem mikrokontroler, dicoba terlebih dahulu dijalankan dengan kontrol melalui mikrokomputer dengan menggunakan kartu *interface DAS-16F* yang mempunyai fungsi *analog to digital converter* 10 bit dan *digital input/output* dan dioperasikan melalui perangkat lunak *Visual Basic* [10]. Setelah dianggap bisa dikontrol melalui mikrokomputer, algoritma ini kemudian diimplementasikan untuk pengaturan melalui mikrokontroler.



Gambar 7 Diagram alir penentuan skala ukur

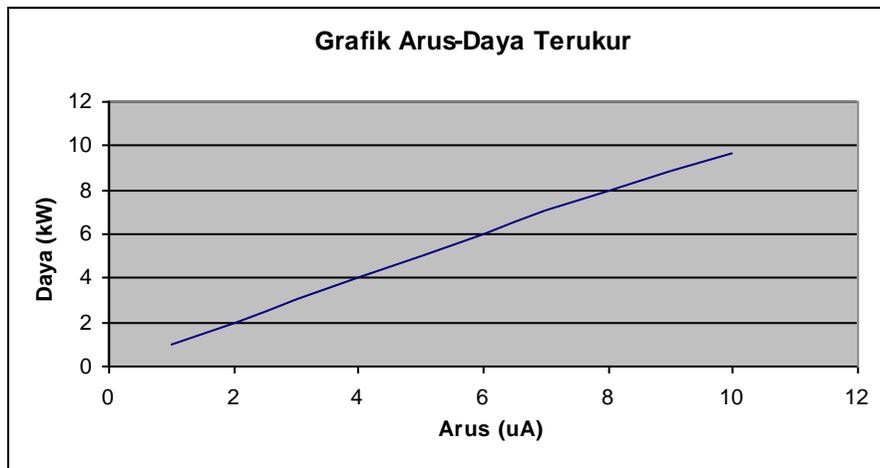
4 Hasil Pengujian

Pengujian sebenarnya terbagi dalam dua bagian, yaitu pengujian rangkaian tegangan tinggi untuk catu daya detektor dan pengujian pengukur arus detektor. Dalam kesempatan ini tidak diberikan hasil pengujian tegangan tinggi, karena pengujiannya cukup dengan memberikan beban arus sebesar 1 mA pada tegangan tinggi terpasang sebesar 600 V dan menunjukkan regulasi tegangan cukup baik.

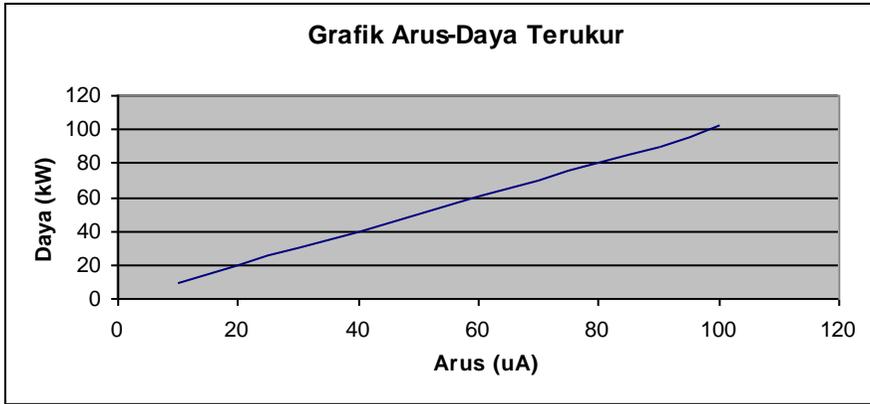
Rancangan dari rangkaian pengukur arus diuji di laboratorium dengan menggunakan variasi nilai sumber arus mulai dari 1 uA s.d. 1 mA. Pengujian dilakukan secara bertahap diawali dengan pengontrolan kinerja rangkaian *current to voltage converter* melalui kartu akuisisi data 16F, yaitu kartu *interface* yang mempunyai fungsi *analog to digital converter* serta *digital input/output*. Setelah dirasakan cukup berhasil, kemudian dilakukan percobaan dengan pengaturan dan pengolahan data sepenuhnya dengan subunit mikrokontroler. Hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa alat ukur dapat berfungsi cukup baik, menunjukkan hasil pengukuran daya yang proporsional terhadap arus yang masuk dengan grafik hubungan arus-daya terukur ataupun grafik hubungan arus-% daya terukur cukup linear, seperti terlihat pada Gambar 8 dan 9.

Tabel 1. Data hasil pengukuran arus dengan variasi besar nilai arus dengan kontrol mikrokomputer.

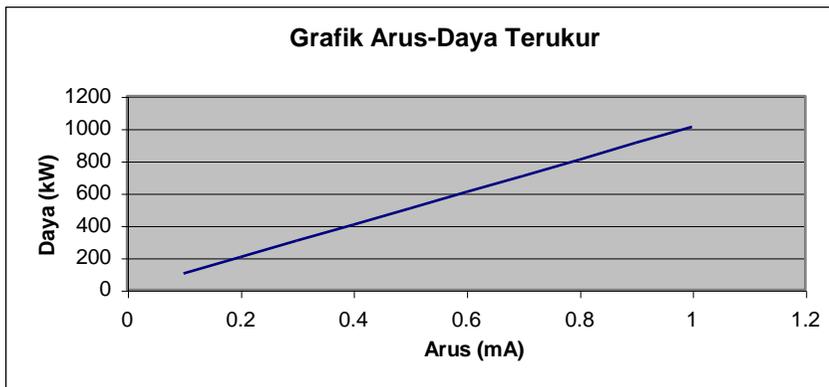
Arus (uA)	Daya Rerata (kW)	Arus (uA)	Daya Rerata (kW)	Arus (uA)	Daya Rerata (kW)
1	0,99	10	9,67	0,1	102,08
2	2,01	20	20,00	0,2	202,94
3	3,02	30	30,00	0,3	303,80
4	4,02	40	40,07	0,4	403,90
5	5,01	50	50,08	0,5	504,91
6	6,02	60	60,17	0,6	605,77
7	7,03	70	70,22	0,7	706,48
8	8,00	80	80,23	0,8	808,11
9	8,90	90	90,18	0,9	910,03
10	9,67	100	102,54	1,0	1010,00



(a)



(b)

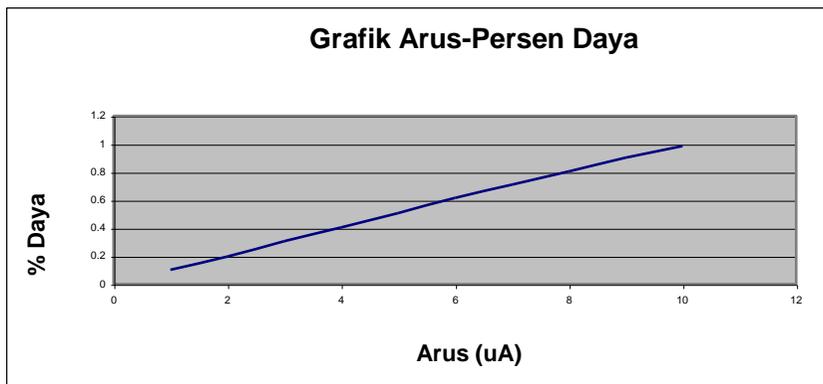


(c)

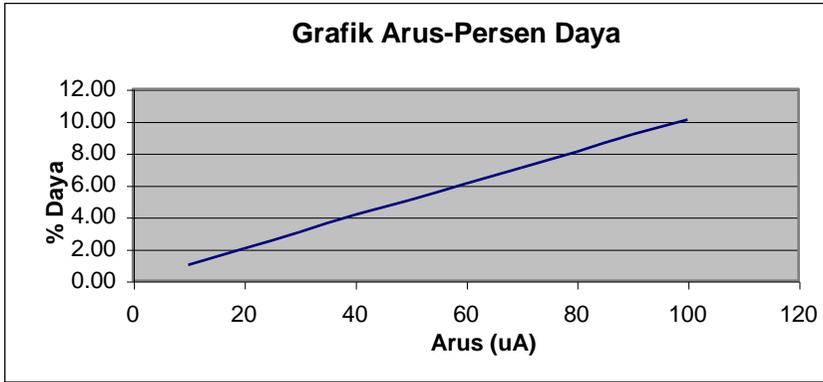
Gambar 8 Grafik Arus-Daya Terukur

Tabel 2 Data hasil pengukuran arus dengan variasi besar nilai arus dengan kontrol mikrokontroler

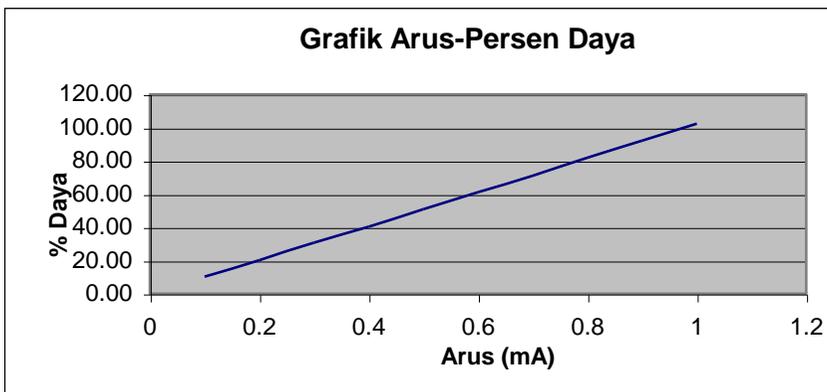
Arus (uA)	Daya rerata (%)	Arus (uA)	Daya rerata (%)	Arus (mA)	Daya rerata (%)
1	0,103	10	0,978	0,1	10,110
2	0,198	20	2,033	0,2	20,220
3	0,304	30	3,026	0,3	30,759
4	0,402	40	4,129	0,4	40,441
5	0,507	50	5,073	0,5	50,857
6	0,615	60	6,077	0,6	61,151
7	0,709	70	7,079	0,7	71,078
8	0,803	80	8,074	0,8	81,984
9	0,902	90	9,141	0,9	92,156
10	0,984	100	10,085	1	102,450



(a)



(b)

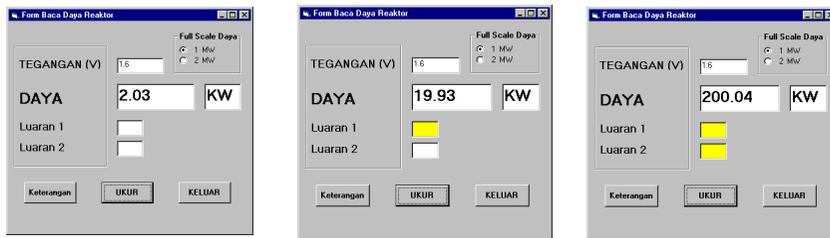


(c)

Gambar 9 Grafik Arus-% Daya Terukur

Gambar 10 memperlihatkan tampilan alat pengukur daya reaktor dengan pengaturan kinerja peralatan dengan mikrokomputer dan dengan bahasa pemrograman *Visual Basic*. Gambar 10 (a), (b) dan (c) memperlihatkan tampilan daya pada jangkauan 1%, 10% dan 100%. Luaran 1 dan 2 yang terlihat pada masing-masing gambar menunjukkan pengaturan posisi masing-masing *gain* dari rangkaian *current to voltage converter*.

Gambar 11 memperlihatkan masing-masing modul peralatan yang dibuat. Gambar 11 (a) memperlihatkan modul mikrokontroler lengkap dengan tampilan *LCD*, Gambar 11 (b) memperlihatkan modul rangkaian *current to voltage converter*, sedangkan Gambar 10 (c) memperlihatkan modul rangkaian tegangan tinggi.



(a)

(b)

(c)

Gambar 10 Tampilan Hasil Ukur dengan Visual Basic



(a) Modul Mikrokontroler



(b) Modul Pengukur arus



(c) Modul Tegangan Tinggi

Gambar 11 Foto Modul yang Dibuat.

5 Kesimpulan

Dari hasil kajian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem pengukur daya reaktor untuk kanal daya tinggi dapat dibuat dengan cukup baik dengan pengaturan skala ukur dua atau tiga dekade teratas secara manual ataupun secara otomatis dengan bantuan sistem mikrokontroler. Penggunaan FET Input mutlak digunakan mengingat pengukuran arus kecil membutuhkan penguat operasional yang mempunyai bias current yang kecil dan dikemas dalam wadah tertutup untuk menghindari gangguan dari luar. Kemungkinan membentuk sistem pengukur daya reaktor kanal daya menengah sebanyak lima dekade pun akan dapat dibuat dengan memperhatikan penguat operasional yang digunakan mempunyai bias current yang cukup kecil dan dengan pengaturan layout rangkaian yang lebih baik mengingat pengukuran arus kecil sangat rentan terhadap gangguan derau.

6 Daftar Pustaka

- [1] Anonymous., Operation And Maintenance Manual NM-1000 Neutron Monitoring System, General Atomics, 1989.

- [2] Anonymous., Operation And Maintenance Manual For The Microprocessor Based Instrumentation And Control System, General Atomics, 1993.
- [3] Knoll, Glenn F., Radiation Detection And Measurement, John Wiley & Sons, Singapore, 1989.
- [4] IAEA., Distant Learning Module of The Regional Training Course On Information Communication Technology : Nuclear Electronics CD 1 Vers. 2.0.
- [5] Anonymous., Operation And Maintenance Manual NP-1000/NPP-1000 Percent Power Channel, General Atomics, 1991.
- [6] Anonymous., Flux Controller And Multirange Picoammeter Channel Model NFC-4, General Atomic Company, 1979.
- [7] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/F/4/1/LF411.shtml
- [8] http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/H/1/1/F/H11F1.shtml
- [9] Putra, Agfianto Eko., Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55. Teori dan Aplikasi, Penerbit Gaya Media, Yogyakarta, 2003.
- [10] Microsoft Visual Basic, Learn Visual Basic 6.0. 2000.