

OTOMASI PROSES PENIMBANGAN BAHAN PADA REAKTOR PELARUTAN CERIUM STABILIZED ZIRCONIUM NITRAT DENGAN AIR

Totok Dermawan¹, Sukarsono², Endah Putri Handayani³

1. STTN- BATAN, Jl. Babarsari PO BOX 6101 Yogyakarta 55281, Indonesia, totokderma@batan.go.id
2. PTBBN-BATAN, Jl. Babarsari PO BOX 6101 Yogyakarta 55281, Indonesia, skarsono@batan.go.id
3. BAPETEN, Jl. Gajahmada No. 8 Jakarta Pusat 10120, Indonesia, e.putri@bapeten.go.id

ABSTRAK

OTOMASI PENIMBANGAN BAHAN PADA REAKTOR PELARUTAN CERIUM STABILIZED ZIRCONIUM NITRAT DENGAN AIR. Suatu kontrol untuk mengatur sistem dalam menuang bahan serbuk cerium stabilized zirconium (Ce-Zr) nitrat dan air bebas mineral (ABM) ke dalam reaktor pelarutan telah dibuat dengan menggunakan sensor load cell. Hal ini untuk memperoleh ketepatan konsentrasi, sehingga menghasilkan kualitas bahan bakar nuklir yang baik serta mengurangi resiko kontak langsung operator pada proses pencampuran bahan. Perancangan alat terdiri dari hardware dan software. Perancangan hardware terdiri dari hopper, rangkaian kontrol load cell, dan mekanis alat. Perancangan software pada simulasi pembacaan sensor beban load cell menggunakan program komputer dengan pemrograman bahasa BASIC. Sistem otomasi berbasis load cell yang telah dibuat memiliki jangkauan ukur maksimal 2000 gram dengan nilai skala terkecil (SSV) 1 gram. Hasil pengujian sistem otomasi berjalan baik dengan penerapan variasi massa anak timbangan terstandar pada alat, kesalahan relatif yang terjadi rata-rata 0.296%, tingkat akurasi load cell 99.704%.

Kata kunci: load cell, reaktor pelarutan, otomasi penimbangan bahan

ABSTRACT

DESIGN OF AUTOMATION WEIGHING MATERIAL ON CERIUM SOLVENT REACTOR STABILIZED ZIRCONIUM NITRATE WITH WATER. A control to regulate the system in pouring cerium stabilized powder zirconium (Ce-Zr) nitrate and mineral free water (ABM) into a dissolution reactor has been prepared using a load cell sensor. This is to obtain the accuracy of concentration, resulting in a good quality of nuclear fuel and reduce the risk of direct contact of the operator in the process of mixing the material. The design of the tool consists of hardware and software. The hardware design consists of a hopper, load cell control circuit, and mechanical tools. The design of software on load cell load sensor simulation using computer programming with BASIC language programming. The load cell automation system that has been created has a maximum measuring range of 2000 grams with the smallest scale value (SSV) 1 gram. The results of testing automation system run well with the application of mass variation of standardized weighing children on the tool, the relative error that occurred an average of 0.296%, the load cell accuracy level 99.704%.

Keywords: load cell, dissolution reactor, automation weighing material

PENDAHULUAN

Berdasarkan teken kontrak antara BATAN dengan Konsorsium RENUKO pada tahun 2015, Reaktor Daya Eksperimental (RDE) akan segera dibangun di Serpong Banten.

Pembuatan bahan bakar nuklir khususnya bahan bakar reaktor suhu tinggi, melalui banyak tahapan mulai dari pemurnian uranium, proses pembuatan gel ammonium di uranat (ADU), kalsinasi, reduksi, sintering, proses pelapisan dan seterusnya sampai dibuat elemen bahan bakar bentuk bola/pebble bed [1].

Proses pembuatan bahan bakar nuklir, memerlukan ketepatan konsentrasi uranium agar menghasilkan kualitas bahan bakar yang baik. Penentuan konsentrasi campuran antara uranium dan HNO₃ sebelum masuk kedalam reaktor pelarutan pada laboratorium PTBBN, masih dilakukan secara manual. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian sistem otomasi pengukur konsentrasi pada peralatan produksi.

Uranium merupakan bahan radioaktif yang dalam proses produksinya perlu penanganan khusus tanpa kontak langsung dengan operator. Resiko dalam mempelajari proses produksi, dilakukan dengan mengganti bahan uranium dengan bahan lain yang proses kimia-fisikanya hampir sama dengan uranium, yaitu digunakan cerium stabilizied zirconium (Ce-Zr) nitrat [2].

TEORI

Larutan Umpan

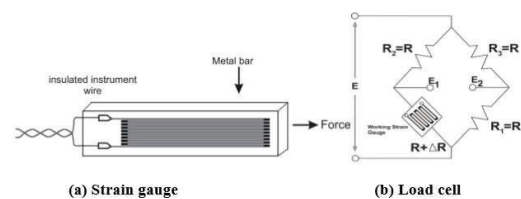
Pembuatan kernel UO₂ dengan metode gelas eksternal telah dilakukan di laboratorium BFBBR – PTBBN Yogyakarta menggunakan media gelas NH₄OH. Beberapa variabel proses telah dilakukan untuk memperoleh hasil butiran (Ce-Zr) yang baik, sehingga dihasilkan kernel (Ce-Zr) yang memenuhi syarat bila digunakan sebagai inti elemen bakar Reaktor Suhu Tinggi (RST). Salah satu variabel proses yang sangat mempengaruhi hasil butiran U₃O₈ maupun kernel UO₂ adalah kondisi larutan umpan awal [2]. Larutan umpan awal yang digunakan sebagai simulasi dalam penelitian ini adalah

serbuk Ce-Zr dan air bebas mineral (ABM).

Sensor Berat (Load Cell)

Komponen ini merupakan alat transducer yang menghasilkan keluaran proporsional dengan beban atau gaya yang diberikan [3].

Susunan *strain gauge* pada load cell seperti pada Gambar 1



Gambar 1. Strain gauge dan struktur jembatan resistansi (Ahmad A. Z., 2010)

Melalui suatu rangkaian mekanikal, gaya akan terdeteksi oleh *strain gauge* yang kemudian diukur regangannya sebagai sebuah sinyal listrik. Kemudian nilai ditampilkan ke dalam suatu display [4].

Reaktor Pelarutan

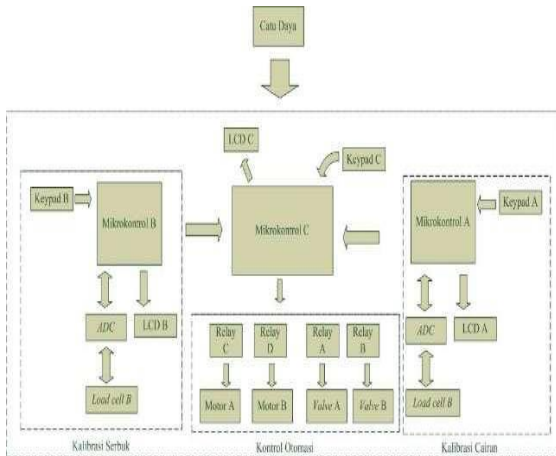
Reaktor pelarutan adalah suatu bejana tempat berlangsungnya reaksi kimia. Perubahan energi dalam suatu reaktor pelarutan kimia dapat terjadi karena adanya suatu pemanasan atau pendinginan, penambahan atau pengurangan tekanan, dan gaya gesekan (pengaduk dan cairan)[5].

METODE

Subyek Penelitian

Penelitian sistem otomasi berbasis *load cell* pada reaktor pelarutan cerium stabilized zirconium dengan ABM adalah menuang ke dua bahan sesuai dengan konsentrasi larutan yang telah ditentukan.

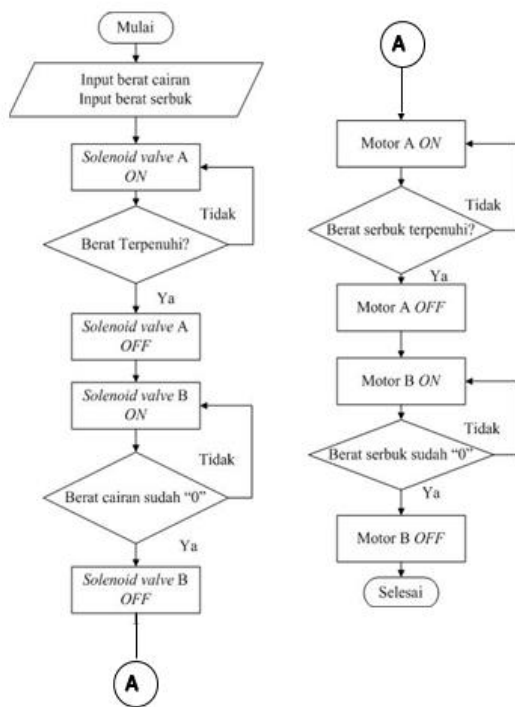
Blok diagram sistem otomasi yang akan dirancang seperti pada Gambar 2 :



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Otomasi

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 3. Flowchart Penelitian Perancangan hopper

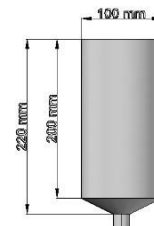
Hopper sebagai tempat penyimpanan bahan serbuk Ce-Zr nitrat dan ABM memiliki dimensi yang disesuaikan dengan kebutuhan maksimal dari masing-masing konsentrasi. Tabel 1 merupakan volume maksimal hopper berdasarkan konstruksi larutan Ce-Zr nitrat sebanyak 1 liter.

Tabel 1. Kebutuhan volume hopper

| Bahan | Volume perhitungan | Volume (mL) | Volume hopper untuk rancangan |
|--------------|--------------------|-------------|-------------------------------|
| ABM | 0,240096038 liter | 240 | 1000 gram |
| Serbuk Ce-Zr | 1415,12605 gram | | 1500 gram |

Perancangan hopper serbuk Ce-Zr

Gambar 4 adalah Spesifikasi rancangan hopper pada serbuk cerium menggunakan bahan dari stainless steel 304 dengan dimensi berikut yang jumlahnya dua buah :



Gambar 4. Perancangan hopper serbuk dalam mm

Volume hopper serbuk :

Tabung =
 Diameter (D) = 10 cm;
 Tinggi tabung (tt) = 20 cm

Kerucut Terpancung =
 Diameter (D₁) = 10 cm, jari jari (r1) = 5 cm

Diameter (D₂) = 2 cm, jari jari (r2) = 1cm
 Tinggi kerucut (tk) = 2 cm

Volume (V) = $\pi r^2 tt$
 $+ \frac{1}{3} \pi tk (R^2 + rR + r^2)$

$V = (3,14 \times 5 \times 5 \times 20) + \left(\frac{1}{3} \times 3,14 \times 2(5^2 + 1 \times 5 + 1^2)\right)$
 $= 1570 + 62,8 = 1632.8 \text{ cm}^3$
 $= 1.6328 \text{ Liter.}$

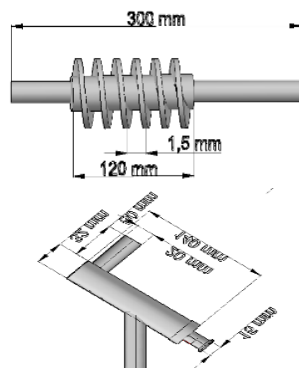
Perancangan hopper ABM

Pembuatan hopper ABM dengan volume rancangan 1000 gram menggunakan gelas beaker kimia 2000 mL.

Perancangan screw conveyor

Diameter screw conveyor (D) ditetapkan 30 mm, diameter poros (d) 15 mm, densitas Ce-Zr $6,770 \text{ g/cm}^3$, jarak pitch(s) 1,5 mm, panjang screw (L) 120 mm dan kecepatan putaran (n) 5 rpm dan sudut kemiringan screw conveyor 40 derajat.

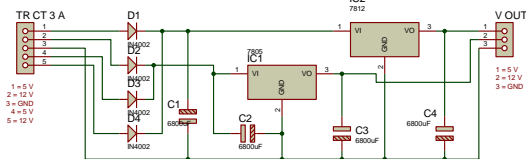
Gambar 5 merupakan gambar screw conveyor berikut :



Gambar 5. Screw conveyor

Perancangan Catu Daya

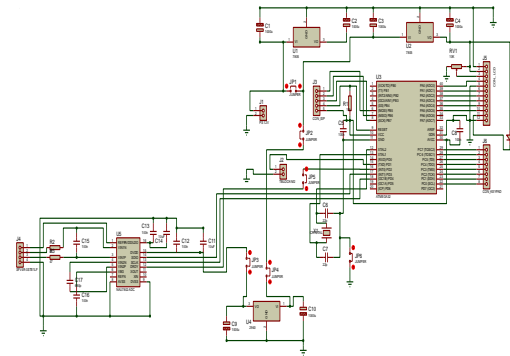
Untuk menjalankan sistem pada alat digunakan rangkaian catu daya yang menghasilkan tegangan keluaran DC 5V dan 12V. Berikut merupakan rangkaian catu daya pada Gambar 6:



Gambar 6. Rangkaian catu daya

Perancangan Rangkaian Kontrol

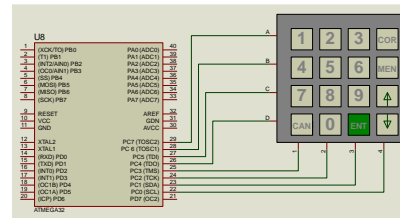
Perancangan ini menggunakan IC mikrokontroler ATmega32. Gambar 7 merupakan rangkaian sistem minimum ATmega32 pada sistem kalibrasi.



Gambar 7. Minimum System ATmega32 pada sistem kalibrasi [Atmel]

Rangkaian Keypad

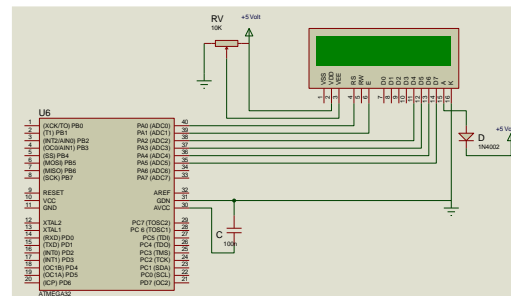
Gambar 8 merupakan rangkaian keypad ke mikrokontrol.



Gambar 8. Rangkaian keypad ke mikrokontrol

Rangkaian LCD

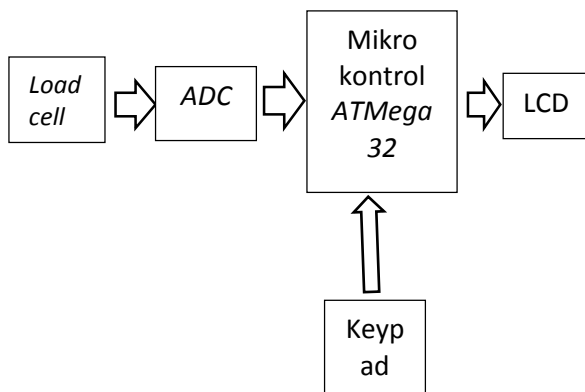
Perancangan rangkaian LCD menggunakan LCD 16x2 tipe LMB162 sebagai penampil. Rangkaian LCD ke mikrokontrol terlihat pada Gambar 9:



Gambar 9. Rangkaian LCD

Perancangan Rangkaian Load cell dan ADC

Load cell digunakan untuk sensor massa suatu material. Blok diagram sistem rangkaian load cell pada Gambar 10.

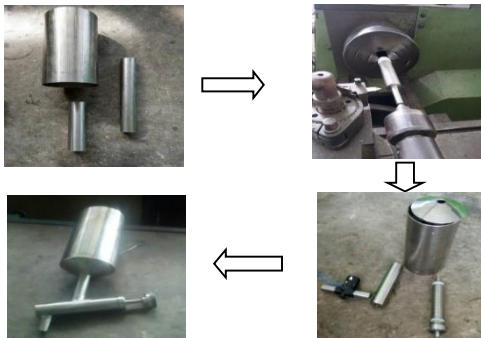


Gambar 10. Blok diagram rangkaian *load cell*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang bangun sistem otomatis ini diawali sebagai berikut :

Gambar 11 adalah pembuatan *hopper* yang dilakukan sebanyak 4 buah. Dua buah *hopper* sebagai penampung serbuk Ce-Zr nitrat dengan *load cell*, dua buah *hopper* yang lain sebagai penampung ABM, ukuran inlet pada *hopper* berdiameter 20 mm dan outlet nya berdiameter 10 mm.



Gambar 11. Pembuatan *hopper*, *screw conveyor*

Spesifikasi hasil dari perancangan dapat dilihat pada Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat *screw* terdiri dari besi pejal yang berdiameter 30 mm dan plat *stainless steel* dengan tebal 2 mm.

Tabel 2. Spesifikasi *screw conveyor*

| Rancangan | Ukuran Rancangan | Hasil Rancangan |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| Lebar alur/ <i>pitch</i> (s) | 1,5 mm | 1,5 mm |
| Diameter luar (D) | 30 mm | 30 mm |
| Diameter poros (d) | 15 mm | 15 mm |
| Panjang <i>screw</i> (L) | 120 mm | 120 mm |

| | | |
|----------------------|------------------------|------------------------|
| Panjang poros (Lp) | 150 mm | 300 mm |
| Sudut <i>screw</i> | 20° | 40° |
| Tenaga Penggerak | Motor DC wiper 12 volt | Motor DC wiper 12 volt |
| Volume <i>hopper</i> | 1,6328 dm ³ | |

Pembuatan *Hopper* ABM

Gambar 12 adalah pembuatan dua buah *hopper* untuk larutan ABM adalah dengan gelas *beaker* 2000 mL yang masing-masing disambung dengan pipa kaca dan *solenoid valve* 12 V DC.



Gambar 12. *Hopper* ABM

Rangkaian kontrol dibuat sebanyak 3 modul, yaitu sistem kalibrasi cairan, sistem kalibrasi serbuk dan sistem kontrol keseluruhan dengan menggunakan mikrokontroler AVR ATmega32.

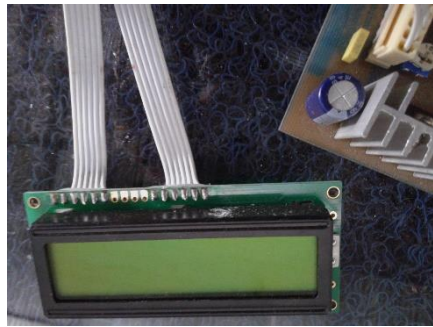
Gambar 13 merupakan rangkaian *relay* yang dibuat sebanyak 2 modul..



Gambar 13. Rangkaian *relay*

LCD yang digunakan bertipe LMB162 memiliki 16 pin yang berfungsi sebagai penampil tulisan yang menunjukkan kerja *load cell* (*lc1* dan *lc2*). Gambar 14 merupakan

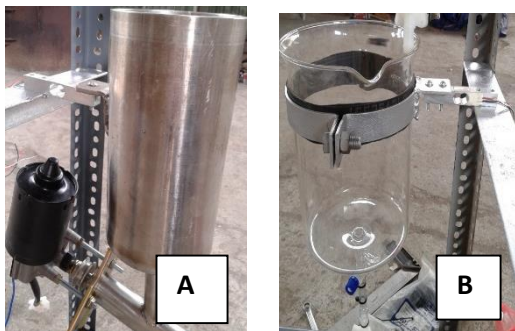
rangkaian LCD terhubung pada modul rangkaian kontrol.



Gambar 14. Rangkaian LCD LMB162

Load cell yang digunakan pada penelitian ini berkapasitas 5 kg. Sensor *load cell* memiliki tugas mengambil data dari hasil pembacaan perubahan berat dalam bentuk pulsa dan mengirimkan data tersebut ke transduser untuk merubahnya menjadi data *logic*.

Gambar 15. a dan Gambar 15. b merupakan pemasangan *load cell* pada *hopper* serbuk dan cairan.



Gambar 15 Pemasangan *load cell*:
(a) *Load cell* dan motor wiper pada *hopper*
(b) *Load cell* pada *hopper* kaca

Pengujian Alat

a. Pengujian sistem minimum ATmega32

Tabel 3 merupakan hasil pengujian Port ATmega32.

Tabel 3 Hasil pengujian Port ATmega32

| Tegangan tiap PIN | INPUT (V) | Tegangan setiap Port mikrokontrol ATmega32 | | | |
|-------------------|-----------|--|--------|--------|--------|
| | | Port A | Port B | Port C | Port D |
| 1 | 5 | 4,96 | 4,97 | 4,97 | 4,96 |
| 2 | 5 | 4,97 | 4,97 | 4,97 | 4,96 |
| 3 | 5 | 4,97 | 4,97 | 4,97 | 4,96 |
| 4 | 5 | 4,97 | 4,97 | 4,97 | 4,96 |

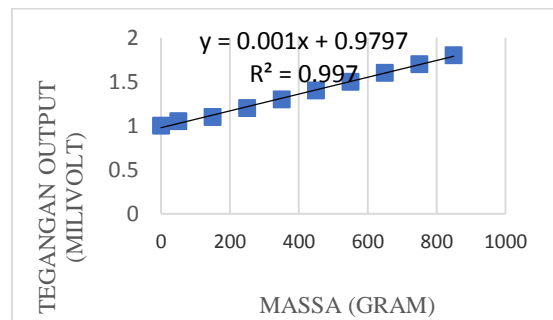
| | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|
| 5 | 5 | 4,96 | 4,96 | 4,97 | 4,97 |
| 6 | 5 | 4,97 | 4,97 | 4,97 | 4,97 |
| 7 | 5 | 4,97 | 4,96 | 4,96 | 4,97 |
| 8 | 5 | 4,97 | 4,97 | 4,97 | 4,97 |

b. Pengujian tegangan keluaran *load cell*

Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan keluaran *load cell*

| No | Massa (gr) | Tegangan output (mV) |
|----|------------|----------------------|
| 1 | 0 | 1,0 |
| 2 | 50 | 1,05 |
| 3 | 150 | 1,1 |
| 4 | 250 | 1,2 |
| 5 | 350 | 1,3 |
| 6 | 450 | 1,4 |
| 7 | 550 | 1,5 |
| 8 | 650 | 1,6 |
| 9 | 750 | 1,7 |
| 10 | 850 | 1,8 |

Berdasarkan Tabel 4. dapat dibuat grafik hubungan antara massa dengan tegangan output, grafik kelinieran pengukuran output tegangan *load cell* ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik hubungan massa dengan tegangan output *load cell*

c. Pengujian *Screw Conveyor*

Tabel 5 merupakan hasil dari pengukuran kapasitas keluaran serbuk dari *hopper* berdasarkan pengukuran putaran motor per satu menit pada motor 1. Sedangkan pada Tabel 6 adalah hasil kapasitas keluaran serbuk untuk motor 2.

Tabel 5. Hasil kapasitas serbuk pada *hopper* 1 dengan putaran motor 1

| Pengukuran putaran motor (rpm) | Waktu pengukuran (menit) | Kapasitas serbuk terukur (gram) |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 4,9 | 1 | 290 |
| 4,8 | 1 | 300 |
| 4,9 | 1 | 290 |
| 4,9 | 1 | 295 |
| 4,9 | 1 | 301 |
| Rata-rata kapasitas (gram) | | 295,2 |

Tabel 6. Hasil kapasitas serbuk pada *hopper* 2 dengan putaran motor 2

| Pengukuran putaran motor (rpm) | Waktu pengukuran (menit) | Kapasitas serbuk terukur (gram) |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 4,9 | 1 | 339 |
| 4,8 | 1 | 340 |
| 4,9 | 1 | 340 |
| 4,8 | 1 | 335 |
| 4,9 | 1 | 355 |
| Rata-rata kapasitas (gram) | | 341,8 |

d. Hasil Uji Pembacaan Sensor

Hasil pengujian pembacaan sensor *load cell* pada sistem otomasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pembacaan sensor

| Anak Tim bang-an (gr), x | Hasil Pengukuran (gr) | | | | | Rata-rata kesalahan (gr) $S = \frac{5x - (y1 + \dots + y5)}{5}$ | Tingkat kesalahan (error) $E = \frac{S}{x} \times 100\%$ |
|-------------------------------|-----------------------|----|----|-----|----|--|---|
| | y1 | y2 | y3 | y4 | y5 | | |
| 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 1 | -0,2 | 0 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 0,4 | 4 |
| 20 | 20 | 19 | 19 | 19 | 21 | 0,4 | 2 |
| 50 | 50 | 49 | 50 | 50 | 49 | 0,4 | 0,8 |
| 100 | 100 | 99 | 99 | 100 | 99 | 0,6 | 0,6 |
| Rata-rata tingkat kesalahan | | | | | | | 1,48 |

Untuk menghitung rata-rata presentase tingkat kesalahan adalah sebagai berikut:

$$\sum E = \frac{\bar{E}}{\bar{X}} = \frac{1,48\%}{5} = 0,296\%$$

e. Pengujian sistem keseluruhan

Listing program bahasa basic yang telah dibuat menggunakan software BASCOM-AVR di *download* pada konektor ISP mikrokontrol, kemudian diuji jalannya otomasi alat.

Sistem otomasi beroperasi sesuai dengan alur yang tahapannya sebagai berikut:

1. Menghidupkan *power supply*;
2. Menampilkan *Default* pada tampilan LCD 2, yaitu input data berat cairan dan serbuk yang akan ditimbang;
3. Menuang ABM ke dalam tabung *hopper* 1 dan menuang Ce-Zr nitrat ke dalam tabung *hopper* 3;
4. Menginput berat cairan dan serbuk melalui keypad B, kemudian tekan enter;
5. Secara otomatis *relay* 1 akan ON membuka valve 1 untuk menurunkan

cairan ke *hopper* 2;

6. *Hopper* 2 akan terisi sesuai dengan data cairan yang di input, setelah terpenuhi valve 1 tertutup dan *relay* 1 OFF;
7. *Relay* 2 aktif dan membuka valve 2 untuk menjatuhkan ABM ke reactor pelarutan;
8. *Relay* 2 akan OFF dan menutup valve 2 setelah berat yang tampil pada LCD adalah nol "0";
9. *Relay* 3 aktif dan menghidupkan motor menggerakkan *screw* 1 menjatuhkan Ce-Zr nitrat ke dalam *hopper* 4;
10. *Hopper* 4 akan terisi sesuai data serbuk yang diinput, setelah terpenuhi motor berhenti berputar dan *relay* 3 OFF;
11. *Relay* 4 aktif dan menggerakkan motor memutar *screw* 2 menjatuhkan Ce-Zr nitrat ke reaktor pelarutan hingga pengukuran berat yang tampil pada LCD terbaca "0";
12. *Relay* 4 akan OFF menghentikan putaran motor.

Analisis Data

a. Catu Daya

Dari hasil olah data pengukuran yang dihasilkan oleh komponen catu daya IC regulator 7805 dapat dinyatakan sesuai dan layak digunakan. Sistem penilaian kesesuaian hasil data dilakukan berdasarkan nilai yang tercantum dari datasheet keluaran IC regulator 7805. Hasil keluaran dari IC regulator yang baik berkisaran 4.5-5.5 volt. Sedangkan hasil proses persentase nilai kesalahan memiliki selisih 0.52% dari data yang ditetapkan. Selisih data hasil tersebut diduga karena adanya nilai toleransi dari IC regulator 7805. Sedangkan hasil data yang digunakan sebagai inputan IC regulator lewat adaptor yang ditetapkan memiliki presentase selisih tegangan rata-rata 0.17% dari data yang telah di tetapkan pada ketentuan pabrik.

b. Uji Coba Pengukur Massa

Dari hasil pengujian pada pengukur massa *load cell* terlihat bahwa hasil pembacaan alat terhadap beban berat yang ditimbang mempunyai tingkat kesalahan yang cukup besar. Adanya kesalahan dimungkinkan karena adanya tegangan *offset* sebesar 1mV ketika *load cell* tidak diberi beban, *noise* yang ditimbulkan akibat sentuhan dan getaran serta desain mekanik yang sudah memberi beban terlalu berat. Dari hasil pengujian pembacaan sensor Tabel 7, dapat diketahui bahwa rata-rata tingkat kesalahan beban berat yang ditampilkan adalah sebesar 0.296%, sedangkan pada *datasheet* tingkat ke presisian *load cell* adalah 0.05%. Tingkat kelinieran hubungan antara tegangan keluaran *load cell* dan massa memiliki persamaan = $0.001Y + 0.9797$, dengan demikian apabila beban massa bertambah maka tegangan *output* yang dihasilkan juga bertambah pada *load cell*. Kapasitas *load cell* yang digunakan juga mempengaruhi tingkat ketelitian, semakin besar kapasitas *load cell* yang digunakan maka tingkat ketelitiannya semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Kapasitas *load cell* 5kg memiliki nilai satuan terkecil 1gr yang terbaca pada LCD, sehingga belum dapat memenuhi pengukuran massa serbuk maupun cairan yang memerlukan nilai desimal.

c. Uji Kapasitas Keluaran Screw Conveyor

Kapasitas keluaran serbuk *pada*

screw conveyor yang diukur setiap 1(satu) menit putaran motor diketahui bahwa rata-rata tingkat kesalahan kapasitasnya masih cukup besar, yaitu 17.69% dan 4.70%, hal ini dipengaruhi oleh ukuran diameter *outlet* pipa pada *screw conveyor* terlalu kecil, yaitu 10 mm dan kurang panjang ukuran pipa keluaran pada hopper 1 sehingga serbuk yang keluar tidak semua jatuh ke *hopper load cell* melainkan tertiuap angin.

d. Uji Mikrokontrol

Dari segi perangkat keras (*hardware*), mikrokontrol ATmega32 mempunyai batas toleransi tertentu sehingga memungkinkan pemakaian komponen yang tidak terlalu presisi.

KESIMPULAN

1. Sistem otomasi berbasis *load cell* pada reaktor pelarutan dapat menuang bahan Ce-Zr nitrat dan ABM sesuai massa yang di input. Hal ini ditunjukkan oleh hubungan antara massa dengan tegangan output yang didapatkan grafik kelinieran $y = 0.001x + 0.9797$, $R^2 = 0.997$, sehingga diketahui bahwa nilai tingkat akurasi load cell sebesar 99,704%, hasil pembacaan sensor diperoleh tingkat kesalahan relatif rata rata adalah sebesar 0,296%.
2. Sistem bekerja sesuai tahapan dalam pembuatan larutan Ce-Zr nitrat dengan ABM dan memiliki menu kalibrasi untuk memulai kerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rowinski M., K., 2015. Small and Medium Reactors (SMR): A Review of Technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Issue 55, pp.643-656
2. Hidayati, Sri Rinanti S. and Didiek Herhady, "Pembuatan Butiran U308 Sebagai Bahan Awal Pembuatan Kernel U02 Untuk HTR". Yogyakarta, Prosiding PPI - PDIPTN, BATAN, 2007.
3. Ramang M., 2011. Penggunaan Strain Gauge (load Cell) Untuk Analisa Tegangan Pada Pembebanan Statik Batang Aluminium. Jurnal Mekanikal, II(1), pp. 53-61.
4. Ahmad A. Z., 2010. Building Signal

- Conditioning For Strain Gauge Sensors,
Gaza: The Islamic University of Gaza,
Deanery of Graduate, Studies Faculty of
Engineering Electrical,
Engineering Department.
5. Adryanta., 2008. Kaca Sebagai Struktur Pada Bangunan, Depok: Tugas Akhir, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
 6. ATMEL, C., 2011. Datasheet ATmega32. [Online] Available at: www.atmel.com/literatur [Accessed 24 05 2017]

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Bapak Prof. Dr. Ridwan selaku Kepala PTBBN-BATAN Serpong dan khususnya kepada ibu Ir. Ratih Langenati, M.Sc selaku Kepala Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir PTBBN-BATAN Yogyakarta atas ijin dan partisipasinya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik, sempurna dan bermanfaat bagi semuanya.