

RANCANG BANGUN SISTEM PENAMPIL DIGITAL LAJU ALIR AIR PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR KARTINI MENGUNAKAN *PADDLEWHEEL FLOSENSORS MK 515*

SUYAMTO, SUDIONO, EDY EKO PRASETIYO
Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) - BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008
Sleman 55010, DI Yogyakarta Telp (0274) 489716

Abstrak

RANCANG BANGUN SISTEM PENAMPIL DIGITAL LAJU ALIR AIR PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR KARTINI MENGGUNAKAN *PADDLEWHEEL FLOSENSORS MK 515*. *Telah dirancang sistem penampil digital laju alir air pendingin reaktor Kartini menggunakan paddlewheel flosensors. Laju alir atau debit ditampilkan dalam bentuk digit agar pembacaannya lebih mudah, karena dalam pemonitorannya selama ini mengalami kesulitan. Jadi perancangan alat penampil laju alir ini bertujuan untuk mengetahui besarnya laju aliran pada sistem pendingin sekunder reaktor Kartini secara langsung. Peralatan yang dibuat terdiri dari beberapa rangkaian yaitu penguat awal, pengubah frekuensi ke tegangan FVC (Frequency to Voltage Converter), penguat akhir, rangkaian ADC (Analog to Digital Converter), mikrokontroler dan penampil berupa LCD (Liquid Crystal Display). Frekuensi keluaran sensor diubah menjadi tegangan oleh rangkaian FVC menggunakan IC LM2907 sebagai komponen utama, kemudian diproses oleh rangkaian ADC dan mikrokontroler menjadi laju alir dalam satuan liter/menit dan ditampilkan pada LCD. Dari pengujian diketahui bahwa peralatan dapat berfungsi dengan baik, mempunyai linearitas yang tinggi dan besarnya laju aliran yang dapat dijangkau adalah 4.558,05 liter/menit.*

Kata kunci : reaktor, air pendingin, sensor aliran paddlewheel

Abstract

THE DESIGN CONTRACT OF DIGITAL FLOWMETER DISPLAY FOR SECONDARY COOLING WATER OF KARTINI REACTOR USING *PADDLEWHEEL FLOSENSORS MK 515*. *The design contract of digital flowmeter display for secondary cooling water of Kartini reactor has been done using Paddlewheel flosensors MK 515. The water flow or debit is displayed digitally in order to ease the reading because a difficulty frequently appears when monitoring is conducted. The design of flowmeter, therefore, is aimed to know the value of flow rate in the secondary system of Kartini reactor directly. The device consist of several circuits, i.e pre-amplifier, frequency to voltage converter, end-amplifier, ADC, microcontroller and LCD. The frequency output is converted to voltage by FVC using IC LM2907 as main component, and then proceeded by ADC and microcontroller to be flow rate in the liter/minute unit and displayed on the LCD. The testing shows that the device function well, has a high linearity and the achievable flow rate value is 4558.05 liter/minute.*

Keywords: reactor, cooling water, paddlewheel flosensors.

PENDAHULUAN

Pada reaktor nuklir seperti reaktor Kartini terdapat komponen-komponen utama dan penunjang agar reaktor dapat dioperasikan sebagaimana mestinya. Komponen-komponen tersebut di antaranya adalah teras reaktor,

moderator, batang kendali, sistem pendingin, sistem pengungkung dan lain-lain. Pada reaktor Kartini terdapat 2 macam sistem pendingin, yaitu sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder dengan fluida kerja berupa air ringan.

Sistem pendingin primer adalah sistem pendingin yang berhubungan langsung dengan

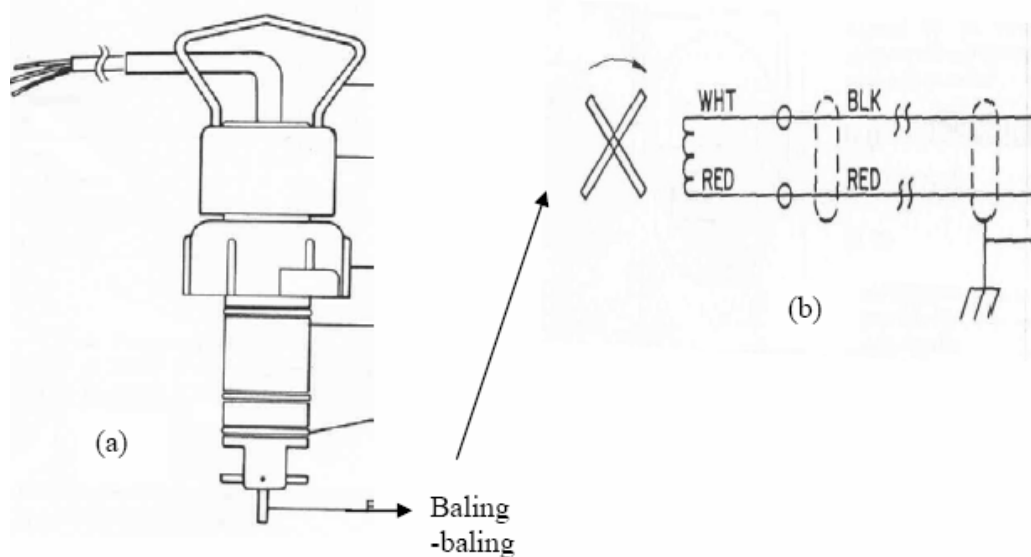
air tangki reaktor. Dalam sistem pendingin primer, air panas dari tangki reaktor dialirkan ke sistem penukar kalor atau *Heat Exchanger* (HE) menggunakan pompa primer. Di dalam HE, air tersebut didinginkan oleh air pendingin sekunder yang terdapat pada sistem pendingin sekunder, selanjutnya di buang ke lingkungan menggunakan *Cooling Tower* dengan cara hamburan atau *spray* menjadi butiran-butiran air. Besarnya laju aliran air dari sistem pendingin primer maupun sekunder sangat menentukan proses terjadinya perpindahan atau pertukaran panas dari sistem. Karena hal tersebut merupakan masalah yang sangat penting maka ke dua laju aliran tersebut harus selalu diukur dan dimonitor. Untuk laju alir sistem pendingin sekunder, selama ini jarang dimonitor secara langsung karena adanya beberapa kesulitan misalnya tidak tersedianya alat ukur yang sesuai dan kalibrasinya mengalami kesulitan.

Tujuan dari rancang bangun ini adalah untuk membuat alat ukur laju alir digital air

pendingin sekunder reaktor Kartini menggunakan *paddlewheel flosensors* MK 515/415, dimana dengan alat ukur yang telah dibuat tersebut, diharapkan laju alir air pendingin sekunder reaktor Kartini dapat diketahui dan dipantau setiap saat dengan mudah.

LANDASAN TEORI

Sesuai dengan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor, setiap besaran operasi reaktor seperti reaktor Kartini harus diukur dan selalu dimonitor. Pada reaktor Kartini terdapat banyak besaran operasi di antaranya adalah aliran fluida pendingin yang berupa air ringan (H_2O). Pengukuran suatu aliran fluida dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, salah satunya adalah dengan menggunakan sensor aliran berupa baling-baling atau kincir (*Paddlewheel Flosensors*) merk Signet MK 515 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Paddlewheel Flosensors* MK 515 dan Rangkaian Listriknya
a. Baling-Baling (Berisi Magnit)
b. Kumputan dan Kabel Keluarannya (Pada Bodi)

Sensor aliran tersebut juga sering disebut sebagai *flosensor transducer* karena juga berfungsi untuk mengubah tenaga aliran dalam suatu pipa menjadi tenaga listrik. Bila suatu aliran fluida mengenai baling baling (yang berisi magnet) dari flosensor (Gambar 1a), baling-baling tersebut akan berputar dan fluks-

nya memotong kumparan yang terdapat pada badan transduser (Gambar 1b). Akibatnya adalah seperti pada generator, pada ujung kumparan akan timbul tegangan bolak-balik dengan amplitudo dan frekuensi yang sesuai atau proporsional terhadap kecepatan alir dari aliran fluida di dalam pipa. Dari *datasheet flowmeter*

diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan oleh transduser Signet MK 515 adalah 0 – 118 Hz dengan tegangan keluaran maksimal sebesar 19,8 V_{pp} . Keluaran dari transduser kemudian diperkuat sebelum dimasukkan ke rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan atau *Frequency to Voltage Converter* (FVC).

Banyak sistem penguat yang dapat dipakai, tetapi kebanyakan dipakai Op-Amp karena mempunyai banyak keuntungan misalnya karena *gain*-nya yang besar. Untuk penguat membalik (*Inverting Amplifier*) pada Gambar 2a, besar penguatannya ditunjukkan oleh persamaan (1), sedangkan untuk penguat tak membalik pada Gambar 2b, besar penguatannya ditunjukkan oleh persamaan (2)^[1].

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (1)$$

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) \quad (2)$$

dengan :

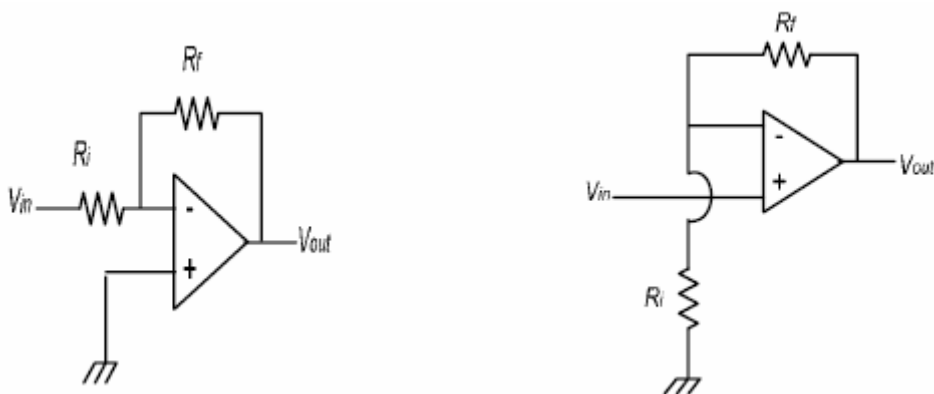
V_{out} : Tegangan keluaran (V)

R_f : Tahanan feed back (Ω)

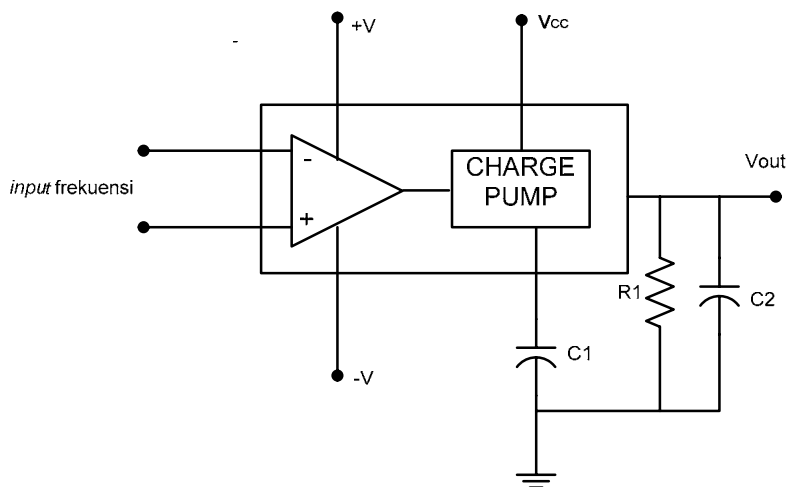
R_i : Tahanan input (Ω)

V_{in} : Tegangan masukan (V)

Pengubahan frekuensi menjadi tegangan dilakukan dengan teknik pompa muatan (*charge pump*) dan pembangkit frekuensi untuk memperkecil tegangan riak (*ripple*). Blok diagram pengubah frekuensi ke tegangan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Rangkaian Penguat (a) *Inverting* dan (b) *Non-inverting*



Gambar 3. Blok Diagram Pengubah Frekuensi Ke Tegangan (FVC)

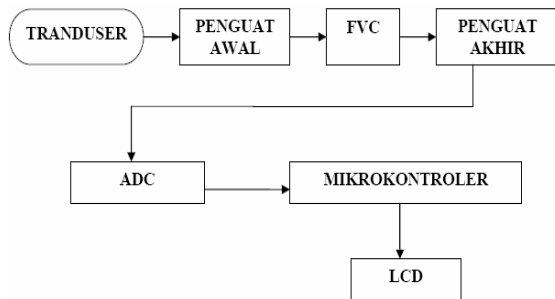
Sebuah pompa muatan terdiri dari kapasitor C_1 , tahanan beban R_1 dan kapasitor penyaring C_2 . Ketika terjadi perubahan beda tegangan masukan V_{in} , kapasitor C_1 akan termuati dan terlucuti secara linier di antara dua tegangan yaitu $1/2 V_{CC}$. Tegangan keluaran dari rangkaian tersebut dicerminkan pada ujung R_1 yang besarnya adalah^[8]

$$V_o = V_{CC} \cdot f_{in} \cdot C_1 \cdot R_1 \cdot K \quad (3)$$

dengan K adalah konstanta penguatan yang besarnya = 1 (dari tabel *typically*).

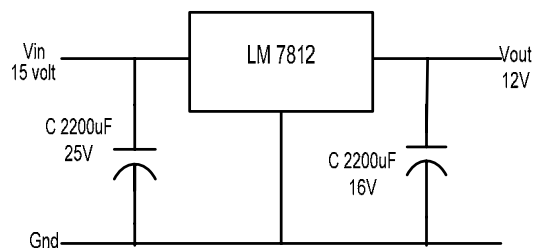
PERANCANGAN

Pokok perancangan alat ukur ini terletak pada sistem penampil laju aliran yang terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Untuk perangkat kerasnya ditunjukkan pada blok diagram Gambar 4



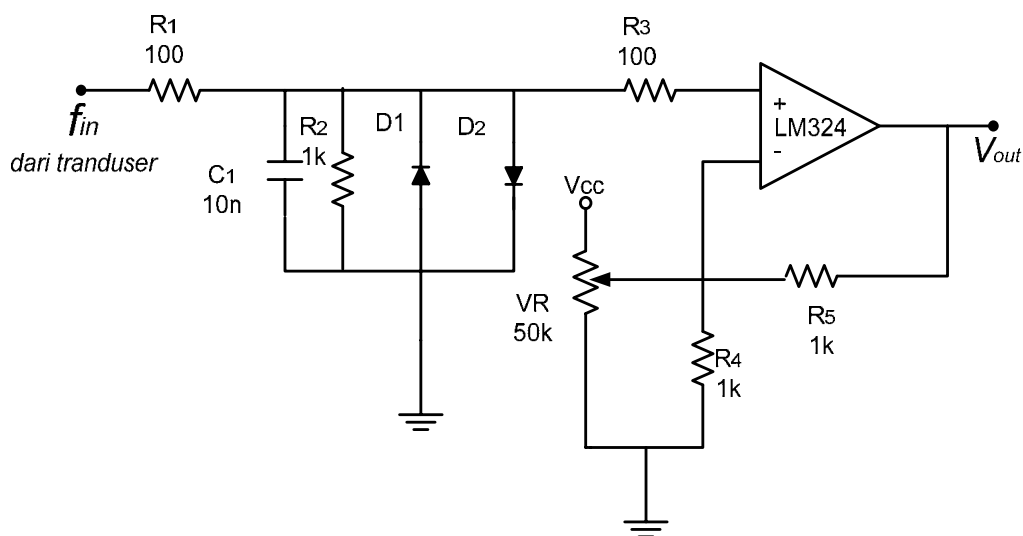
Gambar 4. Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

Untuk mencatu seluruh rangkaian diperlukan sebuah catu daya (power supply) dengan kestabilan yang tinggi menggunakan komponen utama IC regulator LM 7812 dan kapasitor C sebagai filter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Karena dalam IC LM 7812 ditentukan $\Delta V_{min} = 2,5$ volt maka *input* yang dibutuhkan minimal 15 volt supaya saat pembebanan maksimal, keluarannya stabil pada tegangan 12 volt. Hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan IC ini adalah selisih minimum antara tegangan masukan dengan tegangan keluaran adalah 2,5 volt.



Gambar 5. Rangkaian Catu Daya

Untuk penguat awal digunakan IC Op-Amp jenis LM 324, dimana penguat awal memiliki fungsi utama agar sistem rangkaian FVC tidak membebani rangkaian sebelumnya dan melindungi sistem dari masukan yang terlalu tinggi, yang dapat merusak rangkaian FVC. Rangkaian penguat awal untuk FVC dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

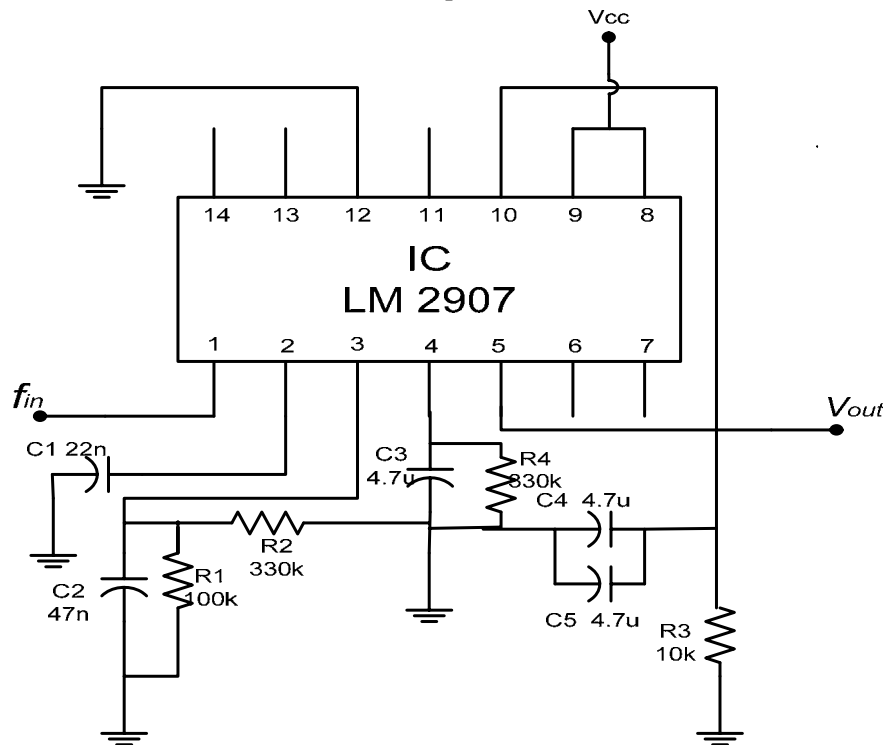


Gambar 6. Rangkaian Penguat Awal untuk FVC

R_1 dan R_2 membentuk rangkaian pembagi tegangan untuk melindungi *Op-Amp* dan bersama C_1 berfungsi sebagai *filter* untuk memperkecil *noise*. D_1 dan D_2 adalah dioda Si 1N4148 membentuk rangkaian

clamping untuk melindungi *Op-Amp* terhadap tegangan *input* yang terlalu besar.

Untuk pengubah frekuensi ke tegangan digunakan rangkaian FVC dengan komponen dasar IC LM 2907 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian FVC

Tegangan keluaran V_{out} dari rangkaian tersebut ditunjukkan pada persamaan (3), sedangkan frekuensi maksimal f_{max} yang direspon oleh rangkaian ini adalah^[5]

$$f_{max} = \frac{I_2}{C_1 \cdot V_{CC}} \quad (4)$$

dengan, $I_2 = 180 \mu A$ (dari tabel *Typically LM 2907*) sehingga f_{max} yang dapat direspon oleh rangkaian adalah

$$f_{max} = \frac{180 \mu A}{22 nF \cdot 12V} = 681,82 Hz$$

Dalam rangkaian FVC terdapat frekuensi yang disebabkan oleh C_3 dan R_4 . Frekuensi ini mempengaruhi besarnya T_{respon} dari rangkaian FVC dan dirumuskan sebagai berikut^[5]

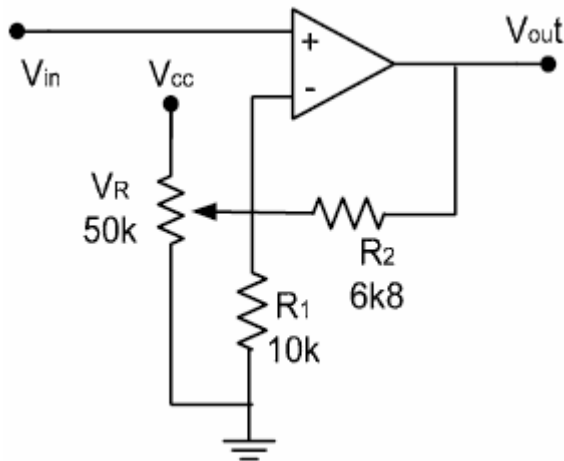
$$f_{pole} = \frac{0,707}{2\pi R_4 C_3} \quad (5)$$

$$T_{respon} = \frac{2,56}{2\pi f_{pole}} \quad (6)$$

Besarnya R_4 dan C_3 pada rangkaian masing-masing adalah 330 k Ω dan 4,7 μF sehingga $f_{pole} = 0,073$ Hz, dan $T_{respon} = 5,638$ dt.

T_{respon} adalah waktu yang dibutuhkan rangkaian FVC untuk mencapai kondisi stabil saat terjadi perubahan frekuensi masukan.

Untuk rangkaian penguat akhir ditunjukkan pada Gambar 8. V_R adalah tahanan variabel sebagai pengatur *zero-offset*.



Gambar 8. Rangkaian penguat akhir

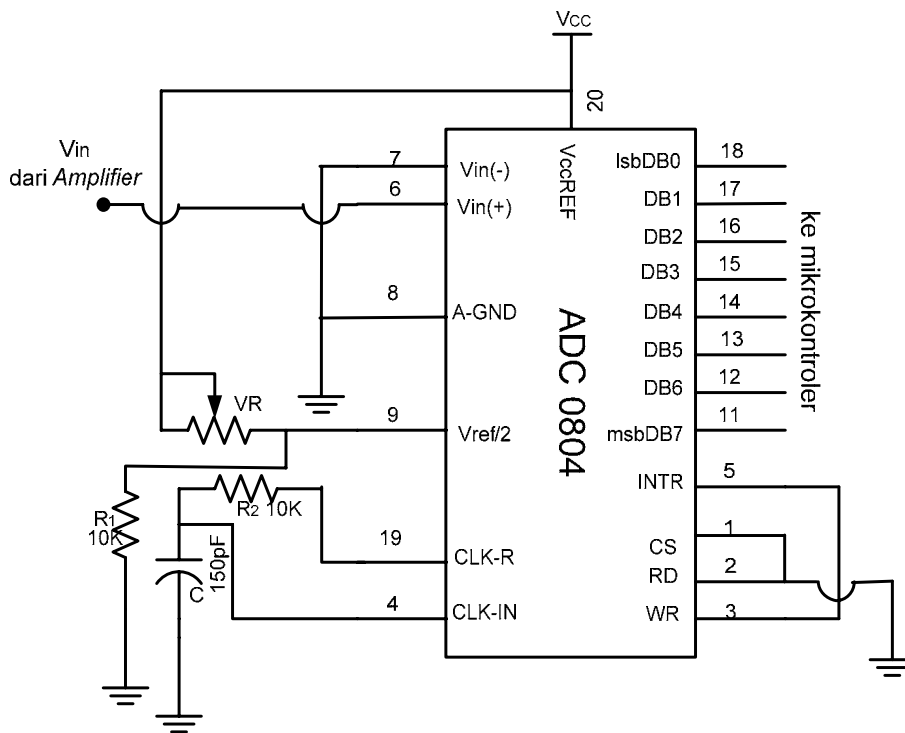
Untuk pengubah besaran tegangan analog ke digital digunakan rangkaian seperti pada Gambar 9 dengan komponen berupa IC ADC 0804.

Pembangkit *internal clock* yang dihasilkan rangkaian ADC di atas ditentukan oleh nilai dari R_2 dan C yaitu^[8]:

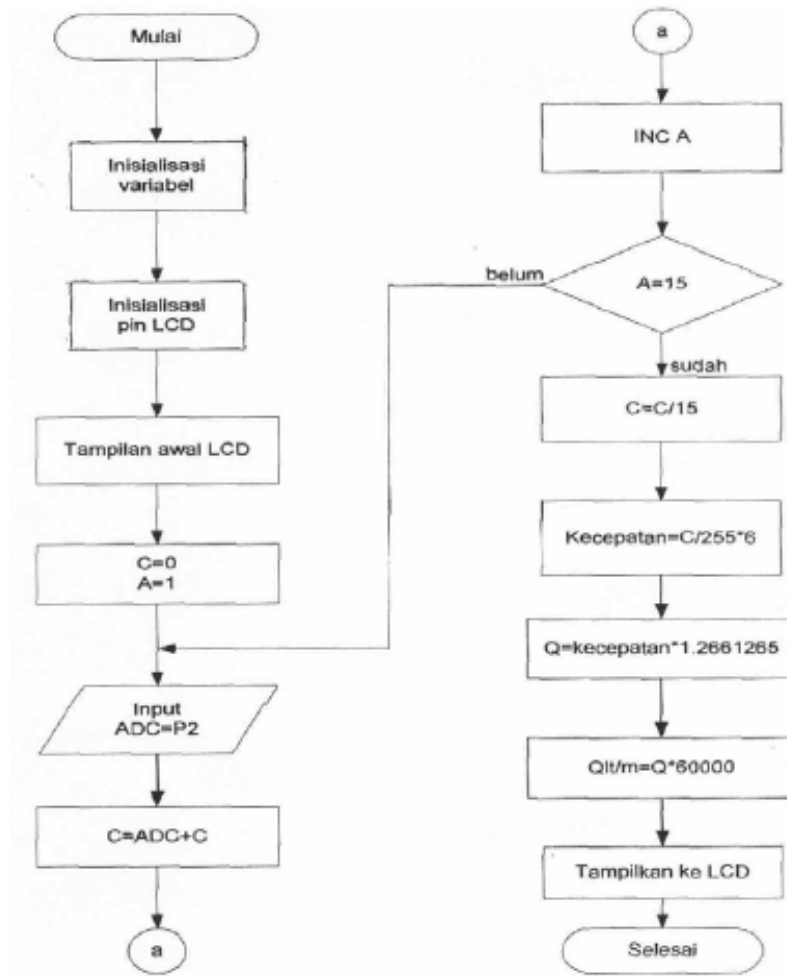
$$f_{\text{clock}} = \frac{1}{1.1R_2C} \quad (7)$$

sehingga dengan $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ dan $C = 150 \text{ pF}$, didapat f_{clock} sama dengan 606 kHz.

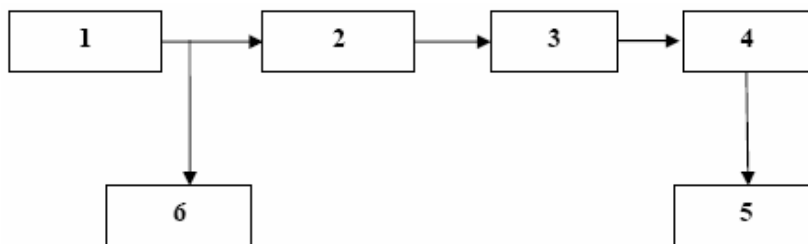
Sinyal digital keluaran rangkaian ADC pada pin DB0 hingga DB7 pada Gambar 10 selanjutnya dimasukkan ke IC mikrokontroler AT 89C51 melalui *port 2* seperti yang ditunjukkan pada rangkaian Gambar 10.



Gambar 9. Rangkaian ADC



Gambar 11. Diagram Alir Program



Gambar 12. Blok Diagram Pengujian FVC

keterangan

1. Function generator
2. Penguat awal
3. FVC

4. Penguat akhir
5. Digital voltmeter
6. Frequency counter

Tabel 1. Hasil pengujian FVC dengan rangkaian penguat

No	Frekuensi (Hz)	V_{out} (volt)		Penyimpangan (volt)
		Perhitungan	Pengukuran	
1	0	0	0	0
2	5	0.22	0.26	0.04
3	10	0.44	0.45	0.01
4	15	0.66	0.67	0.01
5	20	0.89	0.87	0.02
6	25	1.11	1.01	0.10
7	30	1.33	1.31	0.02
8	35	1.56	1.51	0.05
9	40	1.78	1.72	0.06
10	45	2.00	1.96	0.04
11	50	2.23	2.14	0.09
12	55	2.45	2.37	0.08
13	60	2.67	2.58	0.09
14	65	2.90	2.78	0.12
15	70	3.12	3.02	0.10
16	75	3.34	3.22	0.12
17	80	3.56	3.42	0.14
18	85	3.79	3.62	0.17
19	90	4.01	3.83	0.18
20	95	4.23	4.10	0.13
21	100	4.4	4.27	0.13
22	105	4.68	4.46	0.22
23	110	4.90	4.69	0.21
Jumlah				0,973

Dari Tabel 1 diketahui bahwa rata-rata penyimpangannya sangat kecil yaitu sebesar 0,0423 volt atau 4,347 %. Disamping itu perbedaan nilai tegangan menurut perhitungan dan pengukuran juga sangat kecil sehingga peralatan FVC dengan penguatnya sangat baik.

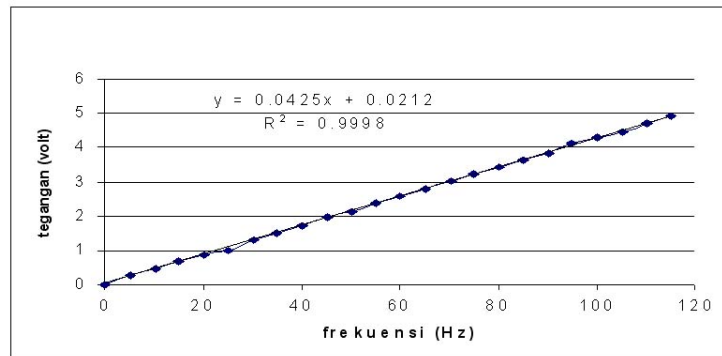
Selanjutnya pada Gambar 13 ditunjukkan grafik antara tegangan terhitung dan terukur terhadap frekuensi masukan. Dari Gambar 13 dapat diketahui bahwa linearitas keluaran tegangan terhadap frekuensi masukan sangat baik, artinya besarnya tegangan keluaran proporsional terhadap frekuensi masukan.

Pengujian yang kedua ditujukan untuk mengetahui unjuk kerja peralatan secara lengkap dimana hasil pengukuran laju alir fluida dibandingkan dengan hasil kalibrasi yang tercantum dalam *datasheet* dari transduser dan

blok diagram pengujianya ditunjukkan pada Gambar 14.

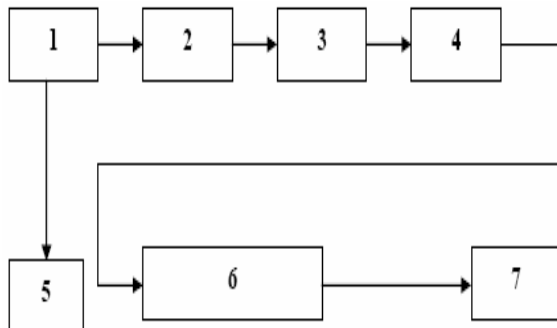
Dalam pengujian ini frekuensi keluaran dari *function generator* diset sama dengan frekuensi kalibrasi alat yang terdapat dalam *datasheet test certificate* kemudian dimasukkan ke bagian masukan alat penampil laju alir. Hasil pengujianya ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan grafik frekuensi masukan versus laju alir yang terukur ditunjukkan pada Gambar 15.

Nilai dari laju alir transduser pada Tabel 2 diperoleh dari nilai kecepatan alir yang dihasilkan oleh transduser pada *datasheet* kemudian dikoreksi dengan dimeter pipa pendingin sekunder yang dipakai di reaktor Kartini sebesar 5 inci atau luas penampangnya sama dengan $126,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.



Gambar 13. Grafik Frekuensi Masukan Terhadap Tegangan Terhitung dan Terukur dari FVC Beserta Rangkaian Penguatnya

Dari Tabel 2 terlihat adanya sedikit penyimpangan laju alir yang ditunjukkan oleh keluaran dari alat yang dibuat terhadap keluaran dari transduser. Hal ini terjadi disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah tegangan pada saat dilakukan pengujian kurang stabil, spesifikasi komponen yang digunakan kurang tepat dan adanya *noise* pada saat perubahan frekuensi menjadi sinyal tegangan oleh rangkaian FVC.



Gambar 14. Blok Diagram Pengujian Alat

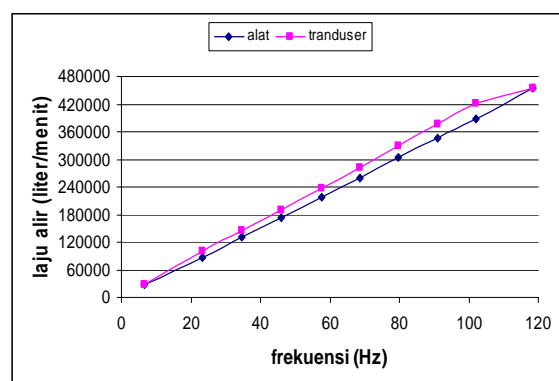
keterangan:

1. *Function generator*
2. Penguat awal
3. FVC
4. Penguat akhir
5. *Frequency counter*
6. ADC dan mikrokontroler
7. LCD

Tabel 2. Hasil Pengujian Alat Secara Keseluruhan

No.	Frekuensi (Hz)	Laju alir (liter/menit)		Penyimpangan (%)
		Alat	Tranduser	
1	6.71	273,48	265,88	0.02
2	23.25	1.002,77	873,62	0.14
3	34.59	1.4509,81	1.299,46	0.11
4	45.99	1.891,59	1.739,65	0.08
5	57.65	2.377,78	2.172,67	0.09
6	68.77	2.810,80	2.605,68	0.07
7	79.81	3.281,80	3.038,70	0.08
8	90.93	3.775,58	3.464,12	0.09
9	101.89	4.223,79	3.881,94	0.08
10	118.36	4.558,05	4.542,86	0.01

Grafik laju alir versus frekuensi hasil pengujian dari alat yang telah dibuat secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Laju Alir Versus Frekuensi Hasil Pengujian Alat yang Dibuat.

KESIMPULAN

Dari hal-hal yang telah diterangkan dapat disimpulkan bahwa

1. Peralatan penampil laju aliran yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik dan mempunyai linearitas yang tinggi.
2. Sistem penampil laju alir tersebut dapat mengukur laju air pendingin sekunder sampai dengan 4.558,05 liter/menit.

DAFTAR PUSTAKA

1. COUGHLIN R. F; DRISCOLL F. F. dan SOEMITRO, H. W. (alih bahasa). 1999. *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*. Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
2. EKO PUTRA, AGFIANTO. 2002. *Diktat Teknik Antarmuka*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
3. HANAPI GUNAWAN, MALVINO. 1989. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
4. PUSPORINI, KRIS dan CRISTANTO, DANNY. 2004. *Panduan Dasar Mikrokontroler Keluarga MCS-51*. Innovative Electronics, Surabaya.
5. STEEMAN, J. P. M. 1996. *Datasheet Book 2*. P. T. Elexmedia Komputindo, Jakarta.
6. SUTRISNO. 1986. *Elektronika Teori dasar dan penerapannya*. ITB, Bandung.
7. SYARIP. 1987. *Komponen Reaktor*. Pendidikan Ahli Teknik Nuklir - BATAN, Yogyakarta.
8. TIRTAMIHARDJA, SAMUEL. 1996. *Elektronika Digital*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.
9. TOOLEY, MICHAEL. 2003. *Rangkaian Elektronika Prinsip dan Aplikasi*. Erlangga, Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

1. Gambar diagram alir sistem pendingin sekunder reaktor Kartini
2. Gambar lengkap rangkaian alat yang dibuat

TANYA JAWAB

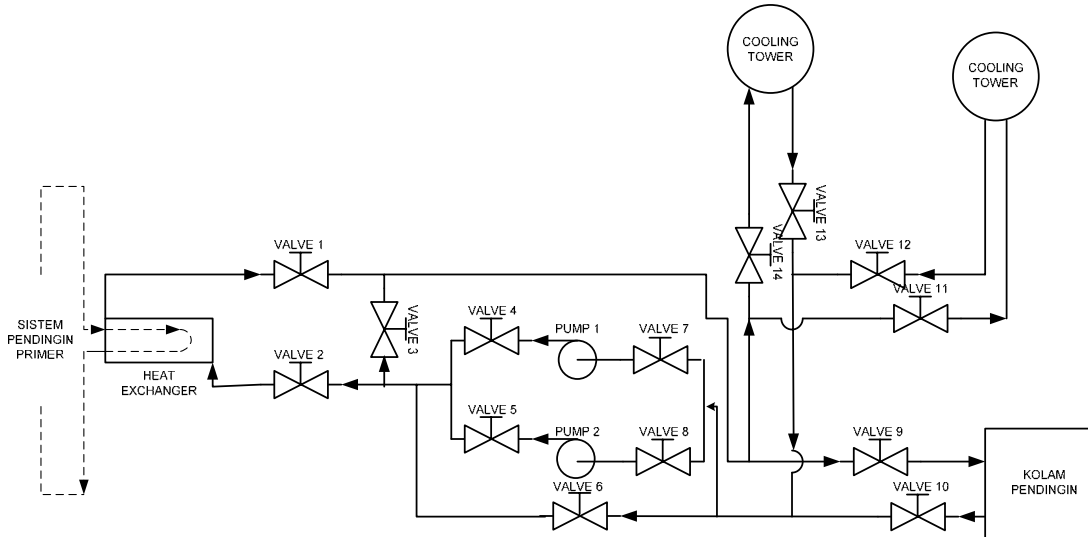
Pertanyaan

1. Berdasarkan *data sheet* detektor, berapa jarak minimum yang dibolehkan untuk pemasangan detektor dari .untuk menghindari/mengurangi turbulensi? (Ari Satmoko)
2. Telah dibuat rangkaian elektronik dan berfungsi dengan baik, namun tidak dapat digunakan lagi, bagaimana rencana pengembangan lebih lanjut? (Subari)
3. Jelaskan pengaruh diameter dan panjang pipa terhadap alirannya? (Subari Santoso)
4. untuk menghindari kesalahan pengukuran karena proses kalibrasi yang sulit di lakukan, saya usul dibuat dua alat yang sama yang dipasang berdekatan! (Achmad Suntoro)

Jawaban

1. Ada di *data sheet* lengkap.
2. Dapat digunakan, tapi tidak dipasang karena bukan kepunyaan institusi/PTAPB.
 - a. Pengaruh diameter dan pipa adalah:
 - b. jenis atau bentuk aliran pipa berbeda
3. panjang paddle wheel flow sensor sudah tertentu sehingga bila pipa terlalu besar maka baling-baling (*paddlewheel*) tidak berada tepat di tengah-tengah aliran (*center of flow*) akibatnya frekwensinya akan berbeda-beda.
4. Terima kasih atas usulannya, tetapi masih ada beberapa kendala, yaitu:
 - a. harus di buat lubang baru yang beresiko bocor, atau instalasinya tidak mudah.
 - b. Butuh biaya tambahan karena harga sensor mahal.

LAMPIRAN 1. GAMBAR DIAGRAM ALIR SISTEM PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR KARTINI



LAMPIRAN 2. GAMBAR RANGKAIAN ALAT YANG DIBUAT

