

Perancangan Kontrol Suhu Berbasis Koefisien Muai Panjang Aluminium

Rony Haendra Rahwanto Fora

Dosen Program Studi Teknik Elektro, Univ. PGRI Adi Buana Surabaya

Abstrak

Dewasa ini, daerah pemakaian peralatan kontrol suhu memiliki areal sangat luas, terutama di bidang industri, riset maupun skala rumah tangga. Ada berbagai jenis peralatan kontrol suhu dan ada berbagai kriteria yang diperlukan untuk merancang sebuah peralatan kontrol suhu dari yang memiliki harga tinggi sampai rendah.

Dalam makalah ini, dibuat perancangan relatif terjangkau dari segi harga untuk kalangan mahasiswa dan mudah didapat di wilayah sekitarnya.

Hasil perancangan peralatan kontrol suhu menghasilkan rentang waktu ON-OFF 1,5 jam, untuk perancangan ON-OFF control action dengan suhu atas 70°C dan suhu bawah 40°C .

Kata kunci : Aksi ON-OFF, rentang waktu.

PENDAHULUAN

Mahasiswa teknik, khususnya mahasiswa teknik elektro mendapatkan mata kuliah yang membutuhkan penalaran yang tinggi diantaranya kuliah sistem kontrol, dimana untuk memahami materi kuliah tersebut akan lebih mudah jika diterangkan melalui satu peralatan kontrol yang bisa dipergunakan untuk membantu mahasiswa memahami materi mata kuliah sistem kontrol.

Peralatan kontrol adalah alat bantu untuk melengkapi materi kuliah sistem kontrol, namun untuk mendapatkan peralatan kontrol ada beberapa kendala yang harus dihadapi.

Kendala yang pertama kali ditemui untuk memperoleh peralatan sistem kontrol adalah harga yang cukup tinggi. Untuk mengatasi kendala harga yang cukup tinggi maka dirancanglah peralatan kontrol suhu berbasis koefisien muai panjang logam aluminium.

Kendala yang kedua adalah pemilihan jenis peralatan kontrol, diantaranya bahan sensor.

Pemilihan bahan aluminium yang dipergunakan sebagai sensor suhu adalah sifat aluminium yang lebih ringan daripada besi namun lebih besar dari pada koefisien muai panjang besi.

Kendala ketiga yang dihadapi mahasiswa selain harga adalah pemilihan jenis aksi kontrol yang dipakai pada peralatan kontrol berbasis koefisien muai panjang, dimana jenis aksi kontrol proporsional, proporsional integral, proporsional integral derivative yang perancangannya semakin kompleks untuk tipe berbasis koefisien muai panjang ini, sedangkan tipe yang paling sesuai untuk kontrol ini adalah ON-OFF.

Rumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan kondisi harga pemilihan bahan sensor dan pemilihan jenis aksi kontrol maka dirumuskan permasalahan untuk mengadakan pemilihan penelitian.

- Perancangan alat kontrol suhu berbasis koefisien muai panjang aluminium.
- Jenis aksi kontrol ON-OFF.

Tujuan

Tujuan utama ini adalah memberikan pemahaman kepada mahasiswa atau masyarakat ilmiah tentang karakteristik dan kegunaan mata kuliah sistem kontrol melalui pembelajaran perilaku peralatan kontrol dengan salah satu contoh aksi kontrol yang dipilih adalah tipe ON-OFF

sekaligus cara merancang peralatan kontrolnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan perancangan dan pembuatan alat, metode experimental dan analisis data system fisik dilanjutkan pembuatan blok diagram, blok matematika, pembuatan matrik keadaan dan analisis kestabilan, keterampilan dan analisis keterkendalian.

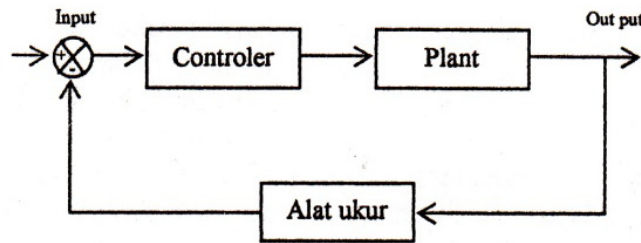
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Teori Dasar

System kontrol adalah seperangkat peralatan yang bekerja sesuai keinginan kita untuk mencapai dan mempertahankan

besaran yang kita inginkan. Suatu contoh sistem kontrol permukaan air 4 m, maka peralatan kontrol akan membuat plant mencapai ketinggian air 4 m dan mempertahankan kondisi tersebut (ketinggian 4 m). Ada satu variabel yang menjadi perhatian adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi 4 m (*time setting*).

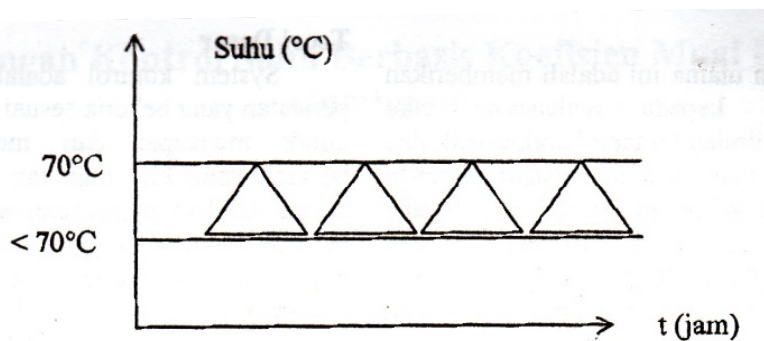
Begitu pula jika yang kita inginkan adalah suhu 70oC maka peralatan tersebut akan membuat plant mencapai 70oC dan mempertahankan suhu tersebut. Kondisi tersebut dapat digambarkan secara blok diagram dalam bentuk kanonik berikut ini (gambar 1).



Gambar 1. Bentuk Kanonik

Input berisi set point atau kondisi yang kita inginkan dalam hal ini suhu 70°C. Signal set point akan menjadi referensi sinyal feed back yang dikeluarkan alat ukur dan hasil penggabungan kedua signal ini akan menjadi masukan controller, dimana controller akan mengatur plant sesuai signal masukan untuk dikondisikan pada plant dan akan mengeluarkan signal keluaran sesuai yang kita inginkan yaitu suhu 70°C.

Keluaran 70°C biasanya tidak tercapai begitusaja, terkadang 70°C , kurang dari 70°C, apapun hasil output akan dibaca oleh alat ukur dan apapun angka yang diperoleh akan dibandingkan dengan referensi selanjutnya sebagai bahan pertimbangan controller untuk melakukan aksinya yaitu mempertahankan kondisi dimana output selalu menunjukkan angka sesuai input yaitu 70°C.



Gambar 2. Aksi Kontrol ON – OFF

Pada controller ON-OFF akan terjadi aksi ON-OFF yaitu saat suhu plant 70°C maka

saklar pemanas akan kondisi OFF sehingga pemanas tidak bekerja, sehingga suhu akan

turun hingga menunjukkan angka dibawah 70°C, saat suhu dibawah suhu 70°C maka controller akan membuat ON pada pemanas sehingga suhu menjadi naik lagi. Siklus terjadi saat suhu mencapai 70°C maka saklar akan OFF lagi demikian hal ini akan berlangsung terus secara otomatis, yang bisa dilihat pada gambar 2.

Pemodelan

Pemodelan adalah pembuatan dari sistim fisik sehingga didapat gambaran dan sistim yang sebenarnya. Pemoelan ini bervariasi ragamnya dan harus memperhatikan variabel – variabel apakah yang berpengaruh pada pemodelan tersebut. Kegunaan dari pemodelan adalah mempermudah mempelajari suatu sistim yang nantinya sangat berguna untuk dalam pembahasan lebih lanjut. Dalam menganalisis maupun merancang ulang kita banyak berkaitan dengan pemodelan. Bentuk pemodelan itu sendiri bervariasi namun bentuk yang paling sering digunakan adalah model matematik. Berbagai permasalahan sering diselesaikan dengan menggunakan model matematik.

Pada jurusan teknik Elektro, pembahasan masalah ditekankan pada

model matematik, Model matematik diperoleh dari sistim fisik.

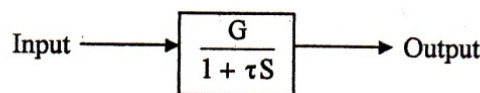
Sistim fisik secara umum dapat dibagi dalam beberapa bentuk yang secara garis besar dapat ditunjukkan menurut sifat-sifat yang dipunyainya maupun besaran-besaran yang mempengaruhinya. Pembagian tersebut dapat ditunjukkan antara lain sebagai berikut :

- Sistim Mekanik
- Sistem Hidrolik
- Sistem Elektrik
- Sistem Pneumatik

Dari keempat jenis sistim fisik tersebut semuanya dapat didekati dengan pembuatan model matematik.

Pembuatan model matematik dari sistim pengendalian mempunyai ciri khusus yang mempunyai bentuk umum ditandai dengan munculnya gain konversi dan time constant.

Yang menjadi perhatian permodelan adalah Gain Konversi dan Time Constant. Gain konversi adalah faktor perbandingan signal input dan output sedangkan time constant adalah waktu yang dibutuhkan selama perjalanan signal input dan output sedangkan time constant adalah waktu yang dibutuhkan selama perjalanan signal input sampai dengan signal output.



Gambar 1. Bentuk umum transfer function

Masing-masing komponen yang membentuk sistim pengendalian dapat dibentuk secara umum menjadi gambar yang tertera diatas.

Sistem pengendalian secara utuh adalah variasi (gabungan) beberapa komponen tersebut. Gambaran permodelan sistem pengendalian akan didapati pada bab-bab selanjutnya secara lebih jelas. Keterangan gambar 1 adalah dapat dijelaskan sebagai berikut :

- G = gain konversi
- t = time konstan
- S = simbol fungsi laplace

Teori Ruang Keadaan

Teori ruang keadaan adalah suatu teori yang menjelaskan sistim pengendalian dengan menggunakan variabel-variabel keadaan sebagai komponen yang bisa mewakili sistim pengendalian . Pengambilan variabel-variabel keadaan adalah sangat bervariasi sesuai dengan kebutuhan dalam analisis. Teori ruang keadaan ini sangat baik untuk menerangkan (menjelaskan) sistem pengendalian khusus untuk sistim pengendalian multi input output.

Suatu sistim pengendalian dapat dianalisis dengan berbagai cara,

diantaranya adalah menggunakan teori ruang keadaan. Model matematik dan persamaan matematik dan persamaan matematik yang mendasari teori ruang keadaan adalah bentuk persamaan dalam bentuk matrik. Untuk lebih jelasnya bisa kita lihat bentuk umum persamaan ruang keadaan adalah seperti yang tertera di bawah ini :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned}$$

dengan :

x, \dot{x} = variabel keadaan
 A, B, C = matriks keadaan
 Y = output
 u = input

Kestabilan

Kestabilan adalah karakter sistim yang mampu meredam gangguan. Jadi kestabilan tidak hanya dimiliki oleh sistim pengendalian saja namun juga dimiliki oleh sistim yang lain.

Suatu sistem pengendalian dikatakan stabil bila akar – akar karakteristik dari polynomial karakteristiknya adalah berharga negatif pada bagian nyata, sesuai dengan definisi yang terdapat dalam teori ruang keadaan.

Metoda pencarian akar – akar karakteristik dalam sistim pengendalian multi input multi output adalah dengan menggunakan Eigen Value. Pencarian harga Eigen Value adalah dengan mengurai dari matrik keadaan A yang dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$|\lambda I - A| = 0$$

dengan :

λ = akar – akar karakteristik
 I = matriks identitas
 A = matriks keadaan

Keteramatan

Sistim dikatakan teramati sempurna jika setiap keadaan awal dapat ditentukan dari pengamatan output selama selang

waktu terhingga. Oleh karena itu sistim teramati sempurna jika setiap transisi keadaan akhirnya mempengaruhi setiap elemen vektor keluaran. Konsep keteramatan berguna dalam menyelesaikan persoalan rekonstruksi variabel keadaan yang tidak terukur.

Suatu sistim pengendalian dikatakan teramati jika rank dari determinan matriks sama dengan jumlah baris atau lajur matriks dibawah ini :

$$|C'; AC'; (A)^2 C'; \dots; (A)^{n-1} C'|$$

atau mempunyai harga determinan tidak sama dengan nol.

Respon Dinamik

Suatu sistim pengendalian mempunyai output yang biasa diamati tingkah lakunya atau dapat diamati penampilannya, penampilan tersebut menggambarkan karakteristik sistim tersebut, selanjutnya dapat diberi istilah penampilan dinamis sistim.

Respon dinamik adalah penampilan output dengan masukan yang telah ditentukan.

Dari respon dinamik akan terlihat banyak informasi, antara lain ; peak time, setting time, dan sebagainya.

Informasi-informasi dari penampilan dinamis seperti setting time, peak time dan sebagainya tersebut adalah gambaran nyata dari sistim pengendalian yang kita bahas.

Inti dari analisis dalam artikel ini adalah perbandingan setting time yang diinginkan dengan hasil perancangan ulang yang telah dilakukan, sehingga diharapkan muncul penampilan dinamis yang lebih baik.

Analisis Sistem control Suhu

Tahap analisis adalah tahap pencarian informasi – informasi yang bisa kita dapatkan dari sistim pengendalian yang terdapat pada sistem control dengan melaksanakan metode – metode sebagai berikut :

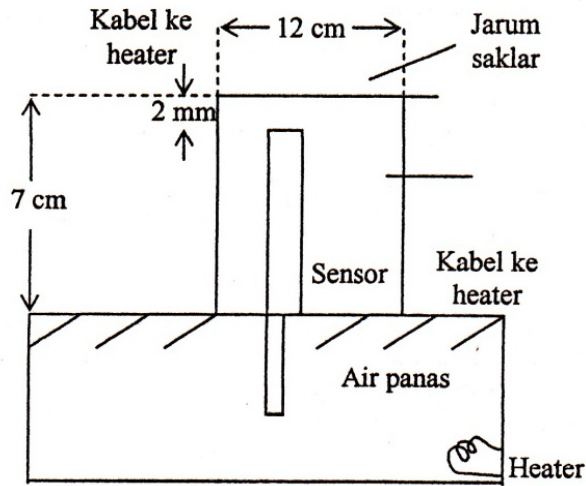
- Sistim fisik
- Blok diagram
- Model Matematika
- Matrix keadaan

Sistim Fisik

Sistim fisik sistim kontrol suhu yang dirancang secara garis besar dapat digambarkan sebagai berikut : Proses dimulai dengan pengisian tangki air yang akan dikontrol suhunya dengan satu liter air yang bersuhu rendah atau bersuhu dibawah 70oC. Tangki air adalah plan yang akan kita perlakuan suhunya, perlakuan suhu tersebut ada dua yaitu menaikkan suhu dan menurunkan suhu. Kedua perlakuan suhu tersebut menggunakan cara yang berbeda; saat menaikkan suhu dilakukan dengan pemanasan air yang nantinya menggunakan pengaktifan heater dan menurunkan suhu dengan cara tidak mengaktifkan heater. Tugas utama yang akan kita lakukan disini adalah mengontrol suhu yaitu mengendalikan suhu air terjaga pada temperature tertentu sesuai dengan yang kita inginkan, dalam hal ini diambil suatu contoh suhu 70°C; penentuan suhu ini biasanya ditentukan dari kebutuhan plan yang ada di industri atau kebutuhan tertentu yang lain. Proses selanjutnya adalah mengatur suhu air menurut keinginan kita, dalam hal ini mengatur suhu 70°C sebagai contoh. Mekanisme pengaturan suhu di sini banyak sekali dinamikanya sehingga diperlukan teori control untuk menerangkannya, dalam hal ini salah satu dari sekian banyak metode control digunakan control tipe on-off. Tipe on-off bekerja dengan cara mengaktifkan heater sampai suhu air mencapai suhu 70oC, saat proses pemanasan air sampai mencapai suhu 70°C, secara bersamaan sensor suhu juga mengalami pemanasan dan merasakan

kenaikan suhu, dalam hal ini ditandai oleh sifat termometrik sensor. Pemilihan jenis sensor memerlukan pertimbangan tertentu sehingga diputuskan oleh penulis untuk memilih salah satu diantaranya adalah memilih sensor koefisien muai panjang aluminium sebagai sifat termometrisnya. Cara kerja sensor ini adalah sensor ini akan bertambah panjang saat dikenai panas atau saat terjadi kenaikan suhu. Dari sifat muai panjang ini, kita dapat mengimplementasikannya sebagai kontrolernya seperti apa? Mekanismenya adalah menghubungkan ketiga variable yaitu suhu yang diinginkan 70°C, muai panjang aluminium dan saklar pengatur pengaktifan dan penonaktifan heater menjadi suatu kerja sama yang harmonis untuk menjaga agar temperatur air tetap terjaga pada suhu 70°C. Cara yang paling sederhana untuk menjaga suhu tepat 70°C adalah mematikan heater pada suhu 70°C secara otomatis oleh saklar dimana saklar digerakkan oleh sensor pertambahan panjang aluminium dimana pertambahan panjang aluminium ini diatur agar pada saat suhu tercapai 70°C panjang aluminium tersebut sudah mencukupi untuk menggerakkan saklar untuk mematikan heater. Mekanisme gerakan aluminium ini adalah dorongan yang bisa memutus sambungan rangkaian listrik sehingga bisa mematikan heater. Proses selanjutnya setelah heater tidak aktif adalah suhu air akan turun dan dorongan aluminium akan mengendor sehingga proses selanjutnya adalah saklar akan menyambung lagi sehingga heater akan on dan suhu akan naik lagi sampai batas 70°C sehingga terjadi siklus kedua, ketiga dan seterusnya proses pengaturan suhu.

Gambaran plan yang sebenarnya dapat dilihat dibawah ini.



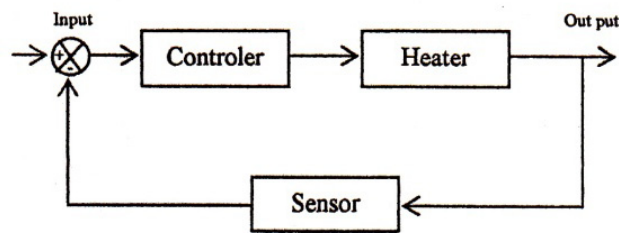
Gambar 2. Sistem Pengendalian control suhu

Blok Diagram Fungsional

Dari sistem fisik yang terdapat pada sub bab diatas maka dapat dibuat blok fungsi sebagai berikut :

Dengan keterangan sebagai berikut :

- Contoller = Berupa mekanisme sensor muai panjang aluminium yang mendorong saklar.
- Heater = Gambaran plan
- Sensor = Muai panjang aluminium



Gambar 3. Blok fungsi sistem pengendalian umpan tanur putar

Blok diagram diatas menunjukkan sistem pengendalian dengan input dan output, dengan input – inpu set point suhu 70°C dan hasil suhu 70°C.

Blok Diagram

Blok diagram adalah bentuk fungsi dengan blok matematik.

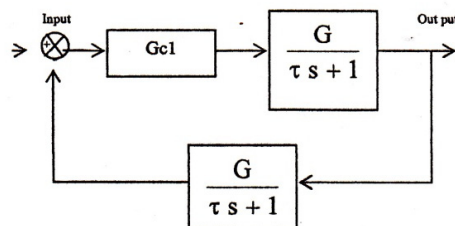
Blok diagram adalah sangat penting. Dari sini sudah dapat diinterpretasikan bagaimana bentuk blok matematik yang sebenarnya yang nantinya bisa dirubah ke dalam matrik keadaan.

Sesuai dengan yang terlihat pada blok fungsi maka dapat dijelaskan beberapa simbol:

$$\text{Controller} = Gc1$$

$$\text{Komponen lainnya} = \frac{G}{\tau s + 1}$$

Sehingga gabungan variasi komponen tersebut adalah berikut Blok diagram sistem control suhu.



Gambar 4. Blok diagram sistem control suhu

Keterangan dari gambar blok diagram sistim control suhu dapat diketahui secara jelas dari penjabaran pada bagian ini.

Dari data – data fisik dapat dihitung harga gain controller demikian :

$$\text{Gain} = \frac{(70 - 40)}{5}$$

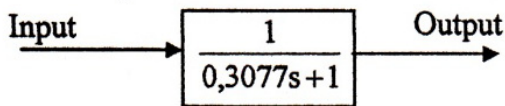
$$= 6$$

Gain Heater dan time konstan dapat dihitung sebagai berikut :

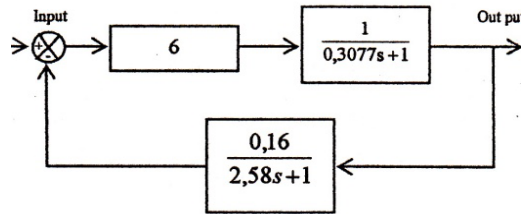
$$\text{Gain} = \frac{5}{5} = 1$$

$$\tau = \frac{\text{panjang transmitter}}{\text{laju}}$$

$$= \frac{30}{97,5} = 0,3077 \text{ detik}$$



Gambar 5. Transfer Function heater



Gambar 7. Model matematika sistim control suhu

Dari blok diagram ini kita sampaikan variabel – variabel keadaan ; x1, x2 kita tempatkan simbol – simbol input ; u1 serta simbol-simbol tersebut akan digunakan lebih lanjut dalam analisis ini dalam pembentukan matrix keadaan.

Matrix keadaan adalah identik dengan sistim fisik sebenarnya yang bisa digambarkan dibawah ini sehingga dari hasil matrik ini bisa didapat informasi-informasi lebih lanjut yang sangat penting dalam analistis maupun perancangan ulang.

Matrik Keadaan

Dari sub bab model matematika diatas didapat persamaan dalam bentuk :

Gain controller dan time constan untuk sensor yang terpasang pada sistim ini adalah sebagai berikut :

$$\text{Gain} = \frac{5}{70 - 40}$$

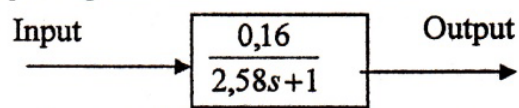
$$= 0,16$$

$$= \frac{\text{luas x panjang}}{\text{rate}}$$

$$= \frac{0,0723 \times 1,243}{0,035}$$

$$= 2,58 \text{ detik}$$

Dapat digambarkan secara umum



Gambar 6. Transfer function sensor

Sehingga secara umum dapat dibuat blok diagram model matematik secara umum adalah berikut ini

:

$$\dot{X} = \underline{A} X + \underline{B} U$$

$$Y = \underline{C} X$$

Penurunan persamaan matrix keadaan adalah sebagai berikut :

$$X1 = 0,63 X1 + 2,58 X2$$

$$X2 = Y + 6U$$

Persamaan diatas merupakan keadaan awal untuk menentukan apakah suatu sistim stabil atau tidak.

Dari penurunan persamaan keadaan tersebut diatas dapat dibentuk matrix keadaan dalam A, B dan C berikut dibawah ini :

Bentuk matrik keadaan

$$A = \begin{bmatrix} 0,63 & 2,58 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrik keadaan A adalah matrik yang menggambarkan keadaan sistim fisik sistim pengendalian umpan tanur putar di PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) khususnya mengenai kestabilan sistim.

Matrik kontrol B

$$B = \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Matrik untuk signal keluaran adalah dilambangkan berikut

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dari hasil-hasil matrik yang kita dapatkan, pengerjaan selanjutnya adalah memasukkan menyiapkan (store) matrik-

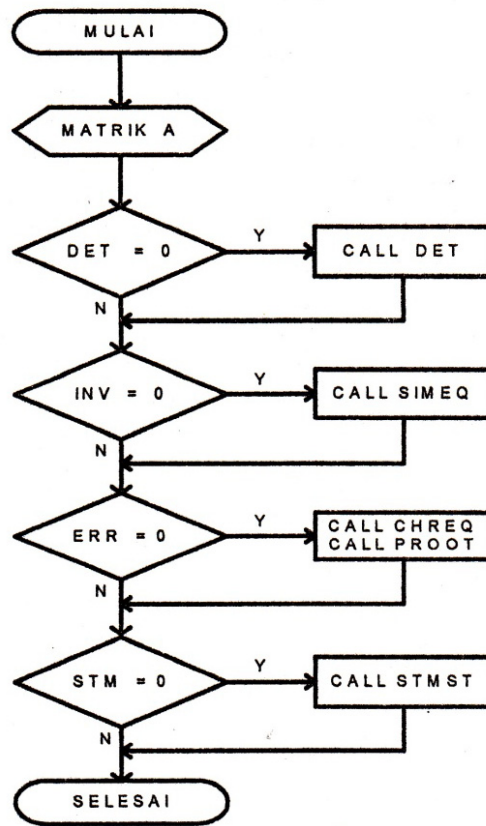
matrik tersebut sebagai masukan dari program komputer.

Proses selanjutnya adalah analisis dengan proses komputer untuk memperoleh informasi tentang kestabilan, keteramatan, keterkendalian dan respon dinamis dari sistim yang sudah terwakili oleh matriks keadaan A, B, dan C.

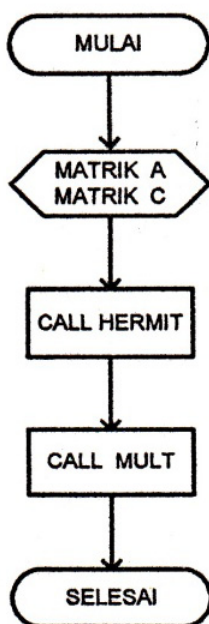
Pembahasan

Penghitungan kestabilan dapat dilihat dari jenis kontroler yang digunakan. Dalam artikel ini digunakan tipe on-off dimana didapatkan kestabilan dengan rentang waktu 1,5 jam. Penghitungan keteramatan dan keterkendalian system bisa dilihat dari pemakaian matriks dalam bentuk input.

FLOW CHART



Keteramatan



Program yang bisa kita amati pada program dan flowchart di bawah ini nampak bahwa system teramati dan terkendali.

Flow chart adalah diagram alir dari program komputer. Dari flow chart diperoleh gambaran secara global dan dapat ditelusuri algoritma-algoritma yang berlaku pada program komputer.

Flow chart untuk kestabilan dapat diterangkan sebagai berikut :

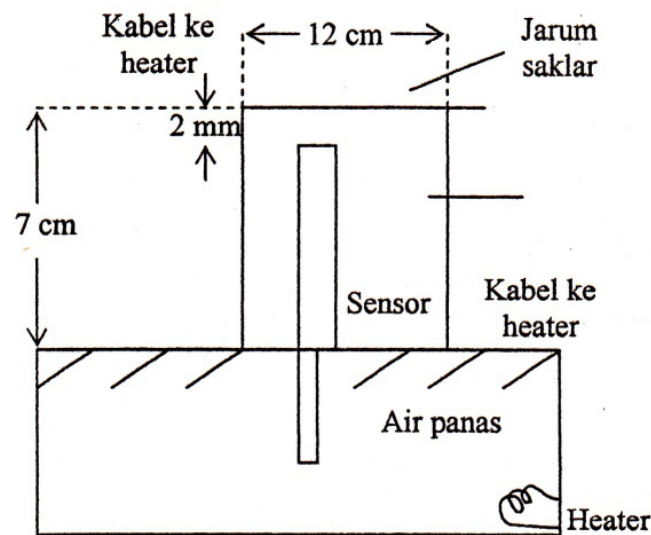
- Proses pertama adalah mulai. Eksekusi program mulai dijalankan.
- Proses kedua adalah penyiapan variabel – variabel yang akan dieksekusi dalam hal ini variabel – variabel yang disiapkan adalah orde matrik A.
- Proses ketiga adalah decision, untuk menanyakan berapakah harga variabel

- 'det', jika variasi $\det = 0$ maka proses akan menghitung determinan matrik keadaan A.
- Proses keempat adalah decision, untuk menanyakan berapakah harga 'inv', jika $inv = 0$ maka proses dilanjutkan dengan menghitung invers matrik keadaan A, dalam hal ini yang menghitung invers matrik adalah sub program SIMEQ.
- Proses kelima adalah decision untuk menanyakan berapakah harga 'err', jika harga $err = 0$ maka proses dilanjutkan dengan penghitungan resolvent matrik dan akar-akar karakteristik dalam bentuk eigen value. Dalam hal ini proses dilakukan oleh sub program CHREQ dan sub program PROOT.
- Proses terakhir adalah decision, untuk menanyakan berapakah harga 'stm', jika harga $stm = 0$ maka proses dilanjutkan dengan penghitungan matrik transisi dalam hal proses dilakukan oleh sub program STMST.

- Selesai.
- Flow chart untuk program keterampilan adalah sebagai berikut :
- Proses pertama adalah mulai.
 - Proses kedua adalah penyiapan variabel – variabel. Dalam hal ini adalah orde matrik, matrik A dan matrik C.
 - Proses dilanjutkan dengan penghitungan rank matrik, dalam hal ini proses dilakukan oleh sub program HERMIT.
 - Proses dilanjutkan oleh sub program MULT untuk mengalihkan matrik A dan C.
 - Selesai.

Percobaan dan Analisis Data

Pada bab ini akan dibahas perancangan dan pembuatan alat, dimana pembuatan alat dibagi 2 yaitu controller dan pemasak air (heater). Pemasak air (heater) tidak dibuat disini namun alat kontrol tetap dibuat seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 8. Perancangan alat cara kerja controller

Bagian sensor yang terbuat dari aluminium bagian kaki akan tercakup pada pemanas air sehingga dengan bertambahnya suhu akan membuat aluminium memuai sehingga mendorong jarum saklar. Kondisi ini dibuat agar saat suhu 70°C maka dorongan saklar ke jarum akan membuat

saklar terpanas sehingga heater akan berhenti memanaskan air sampai suhu turun dari 70°C .

Begitu suhu turun dari 70°C maka sensor aluminium akan menyusut lagi sehingga saklar akan tertutup (tersambung

lagi). Hal ini akan terus menerus secara otomatis pada kondisi ON-OFF.

Pada percobaan dilakukan pemanasan air sebanyak 2 liter yang diisikan pada heater yang menghasilkan data. Data yang akan dianalisis urutan percobaan dikerjakan teliti dan serapi mungkin untuk mendapatkan hasil yang tepat sehingga membentuk pemahaman kita tentang perilaku sistem kontrol yang sudah dijabarkan pada teori dasar sistem kontrol. Urutan pekerjaan yang mempertimbangkan tujuan pemahaman sistem kontrol tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan alat kontrol
2. Persiapan percobaan
 - Menyiapkan air dingin 2 liter ke dalam heater.
 - Mengatur peralatan percobaan sehingga mudah diamati.
3. Pelaksanaan percobaan.
4. Pengamatan
5. Analisis perbandingan antara teori dan praktek.

Keterangan 1 : Pembuatan alat kontrol kegiatan merangkai sensor (aluminium), jarum saklar dan pengkabelan menuju heater.

Hal yang perlu diperhatikan disini ada dua yaitu sistem mekanik dan sistem listrik dan rangkaian mekanik harus kokoh tidak goyang sedangkan listrik harus kuat terutama penampilan kabel ke jarum saklar dan tiang penyangga saklar semuanya harus dibuat serapi mungkin.

Keterangan 2 : Persiapan percobaan adalah menyediakan air dua liter kedalam heater dan menyambung pengkabelan kerapian sehingga memudahkan kita untuk mengamati percobaan tanpa diganggu oleh tidak bekerjanya alat dengan baik.

Keterangan 3 dan 4 : Pelaksanaan percobaan dilakukan dengan cermat dan percobaan dilakukan selama dua kali dan dihasilkan pengamatan dengan seksama untuk memperoleh hasil optimal.

Keterangan 5 : Hal terpenting dari analisis adalah membandingkan teori dengan

praktek yang telah dilaksanakan seperti dikatakan pada teori dasar bahwa sistem kontrol akan mencapai dan mempertahankan suhu 70°C. Pada praktikum suhu 70°C bisa dicapai selama rentang waktu sekitar 1,5 jam dan suhu akan turun menjadi 40°C selama sekitar 1,4 jam. Begitu seterusnya keadaan ini terjadi.

No	Akhir Suhu	Waktu
1	70°C	1,5 jam
2	40°C	1,4 jam
3	70°C	1,51 jam
4	40°C	1,42 jam

Dari hasil ini didapat data rentang suhu tinggi 70°C dan suhu rendah 40oC hasil ini menunjukkan rentang yang cukup jauh dan waktu 1 siklus berkisar $1,5 + 1,4 = 2,9$ jam ini juga rentang yang cukup lama. Kedua hasil diatas menunjukkan rentang yang jauh dibanding dengan kontroler berbasis listrik yang mempunyai rentang lebih pendek 10% terhadap rancangan berbasis koefisien muai panjang aluminium ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Rancangan alat kontrol berbasis koefisien muai panjang aluminium sudah bisa mengatur kondisi suhu yang diinginkan 70°C dengan rentang.

* 40°C – 70°C

* Waktu 1,4 jam s/d 1,5 jam

Rancangan alat ini sudah bisa membantu pemahaman tentang sistem kontrol dan dapat dibuat dengan harga terjangkau.

SARAN

Rentang suhu dan waktu yang cukup tinggi ini bisa diperbaiki dengan memperpendek rentang dengan cara :

- Akurasi engsel
- Ketegangan saklar dipertinggi
- Mengganti basis dengan basis elektronika.

DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, *Teknik Kontrol Automatic*, Erlangga, Jakarta, 1997.
- Higdon, D. T and R. H Cannon, Jr. "On the Control of Unstable Multiple – Output Mechanical System", ASME Paper No. 63 – Wa 148, 1963.
- Kalman, R. E., "When is a Linear Control System Optimal?" *ASME J. Basic Engineering*, ser. D, 86 (1964), pp 596 – 600.
- LaSalle, P.P and S. Lefshetz, *Stability by Liapunov's Direct Method with Application*. New York : Academic Press, Inc, 1961.
- Melbourne, W. G. and C. G Sauer, Jr. "Optimum Interplanetary Rendezvous with Power – Limited Vehicles, AIAA I, 1 (1963), PP. 54 – 60.