

STUDI ANALISIS SISTEM FISIK THERMAL DENGAN PEMODELAN STIRRER TANK HEATER MENGGUNAKAN SIMULINK MATLAB

Mochamad Denny Surindra

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275
E-mail: dennysurindra@polines.ac.id

Abstrak

System thermal dengan model Stirrer Tank Heater diturunkan secara matematik dan memodelkan di dalam Simulink Matlab. Hasil akan dianalisis dan dibandingkan antara system yang menggunakan gangguan dan system yang tidak ada gangguannya. Dengan demikian transfer *function* untuk perubahan laju kalor input dengan temperature output adalah R/RCs , sedangkan untuk temperature cairan aliran masuk berfluktuasi adalah $1/RCs$ dan berfungsi sebagai gangguan (*disturbance*). Sistem thermal stirrer tank heater tanpa gangguan dengan sisi aliran masukan ditutup setelah penuh dan sisi output tidak bervariasi memberikan analisi performance yang lebih baik dengan data 1,56.

Kata Kunci: *Stirred Tank Heater, Sistem fisik thermal, Simulink, Matlab*

PENDAHULUAN

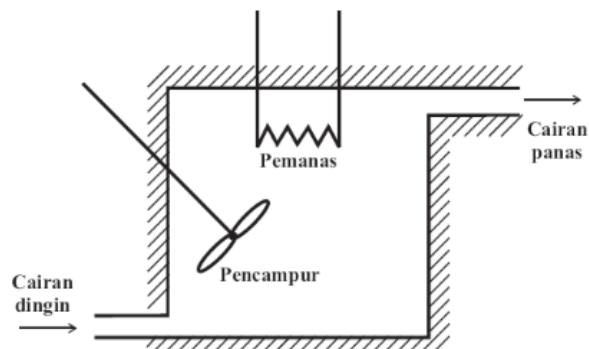
Fungsi alih dalam mata kuliah Sistem Pengaturan/Teori Kontrol sering digunakan untuk mencirikan hubungan masukan dengan keluaran dari system linear parameter konstan. Menurut Ogata K [1] mendefinisikan fungsi alih sebagai perbandingan dari transformasi Laplace keluaran (fungsi respon) dan transformasi Laplace masukan (fungsi penggerak) dengan anggapan bahwa semua syarat awal adalah nol.

Surindra et al [2] melakukan penelitian dengan membuat modul motor DC untuk dianalisis respon fungsi alih dan telah menyajikan karakteristik performance untuk mengatur kecepatan motor DC. Mereka menambahkan system control PID untuk memperbaiki performancenya. Penelitian ini berdsarkan pemodelan sebelumnya yang dilakukan oleh Surindra [3] dimana menggunakan motor DC untuk dimodelkan dan dianalisa dengan menggunakan system kontrol proportional. Hasil penelitian dari Surindra [2,3] masih belum memberikan laporan yang komprehensif disamping itu masih banyak Sistem yang sangat perlu untuk dimodelkan agar dapat dipelajari dengan lebih baik.

Paper ini mengungkapkan karakteristik Sistem Pengaturan untuk system thermal yang memodelkan Stirrer Tank Heater. Hal ini untuk memberikan gambaran yang lebih jelas dengan menurunkan secara matematik dan memodelkan di dalam Simulink Matlab. Hasil akan dianalisis dan dibandingkan dengan system yang menggunakan gangguan dan system yang tidak ada gangguannya. Paper ini akan melaporkan tahap permulaan untuk mendesign heat exchanger dan juga perilaku perpindahan panas fluida.

METODE PENELITIAN

Pemodelan system pengaturan untuk sistem thermal dengan *Stirred Tank Heater* yang didesripsikan sebuah tangki yang ideal digunakan untuk mencampurkan secara seragam diseluruh bagian fluida di dalam tangki dan memanaskan cairan ke temperature yang diinginkan. Diidealkan tangki diisolasi sempurna sehingga tidak ada energy kalor yang masuk ataupun hilang ke udara luar. Selain itu diasumsikan tidak ada energy kalor yang tersimpan di dalam tangki tersebut serta pemanasan dilakukan secara sempurna oleh pemanas secara elektronik menggunakan heater, sehingga temperature fluida merata diseluruh bagian tangki. Gambar 1 adalah skematik dari model Stirred Tank Heater seperti berikut ini:



Gambar 1. Model *Stirred Tank Heater*

Fluida air yang digunakan berdasarkan laporan dari Perusahaan Hot Disk AB yang mengukur air, melalui prosedur yang ketat diantaranya dengan menyuling air untuk membuang semua ion. Selain itu juga harus dihilangkan gasnya dan disimpan dalam wadah tertutup, untuk menghilangkan gas terlarut dan mencegah serapan baru ketika kontak dengan udara. Sampel air yang disiapkan dengan cara ini dimasukkan ke dalam

bejana dengan sensor Hot Disk dan diuji dengan *standart operation procedure*. Tabel 1 memberikan hasil laporan properties air pada temperature yang berbeda-beda.

Tabel 1
Thermal Conductivity air antara 0 sampai 100 °C, diukur dengan Hot Disk TPS 2500 S.

Temp. [°C]	λ [W/m/K]	Std.	ρC_p [MJ/m ³ K]	Std.
0	0.5864	0.009	4.41	0.11
20	0.6075	0.028	4.18	0.33
40	0.6691	0.038	3.94	0.47
60	0.7310	0.027	3.68	0.27
80	0.7938	0.028	3.35	0.22
100	0.8580	0.017	3.21	0.17
20	0.6270	0.012	3.97	0.13

Air awalnya diukur pada suhu 20 °C dan hasilnya kemudian menunjukkan Cp sebesar 4,186 MJ/m³K. Pengujian kemudian dilakukan pada 0 °C dan pada setiap langkah 20 °C hingga 100 °C, dan terakhir pada 20 °C kembali. Saat sampel mulai melarutkan gas dari udara sekitarnya, nilai Cp secara bertahap menurun, seperti yang terlihat pada nilai yang diperoleh pada 20 °C di Tabel 1. Satu kalori per definisi adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu gram air dengan satu derajat Celcius pada 20 °C. Dalam satuan SI, pada suhu 20 °C massa jenis air murni adalah 1 g/cm³ sehingga kalor jenis per satuan volume akan menjadi 4,18 MJ/m³[4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diskripsi matematik dari karakteristik dinamik suatu system disebut dengan model matematik. Langkah pertama dalam suatu analisa suatu system dinamik adalah menurunkan modelnya. Penurunan model matematik yang masuk akal adalah bagian yang paling penting dalam keseluruhan analisa. Model heater yang digunakan untuk memanaskan air dengan laju aliran temperature berubah-ubah karena terjadi penambahan fluida masuk dan laju kalor input yang semakin meningkat. Seandainya laju temperature output fluida ditentukan dengan Θ atau tidak terjadi perubahan temperature, analisis model tersebut dapat didiskripsikan sebagai berikut.

a. Transfer Function untuk Stirred Tank Heater

Laju pemanasan kalor dapat diubah-ubah dari H menjadi H+h_i, dimana h_i menyatakan perubahan kecil dari laju kalor input. Laju kalor output kemudian akan berubah perlahan-lahan dari H menjadi H+h_o. Temperature fluida keluar juga akan berubah dari Θ_o menjadi Θ_o+ θ. Untuk kasus ini h_o, C dan R masing-masing diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$h_o = G c \theta$$

$$C = M c$$

$$R = \frac{\theta}{h_o} = \frac{1}{Gc}$$

Persamaan deferential untuk system ini adalah:

$$C \frac{d\theta}{dt} = h_i - h_o$$

Sehingga dapat ditulis kembali sebagai berikut

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = R h_i$$

Dengan memperhatikan bahwa konstanta waktu system ini sama dengan RC atau M/G detik. Fungsi alih yang merelasikan θ dan h_i diberikan sebagai berikut

$$\frac{\Theta(s)}{H_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1}$$

Dimana

$$\Theta(s) = \mathcal{L}[\theta(t)]$$

$$H_i(s) = \mathcal{L}[h_i(t)]$$

Dalam prakteknya, temperatur zat cair pada aliran masuk dapat berfluktuasi dan berperan sebagai beban gangguan. Jika temperatur zat cair pada aliran masuk tiba-tiba diubah dari Θ_i menjadi Θ_i + θ_i sementara laju panas masuk H dan laju aliran zat cair G dijaga tetap, maka laju panas keluar akan berubah dari H menjadi H + h_o dan temperature zat cair pada aliran keluar akan berubah dari Θ_o menjadi Θ_o + θ.

Persamaan differensial system untuk keadaan ini adalah:

$$C \frac{d\theta}{dt} = Gc\theta_i - h_0$$

Dengan mensubstitusikan persamaan untuk h_0 , C dan R ke dalam persamaan differensial system diperoleh

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_i$$

Maka fungsi alih system yang menghubungkan θ (s) dan θ_i (s) adalah:

$$\frac{\Theta(s)}{\Theta_i(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$$

Dimana

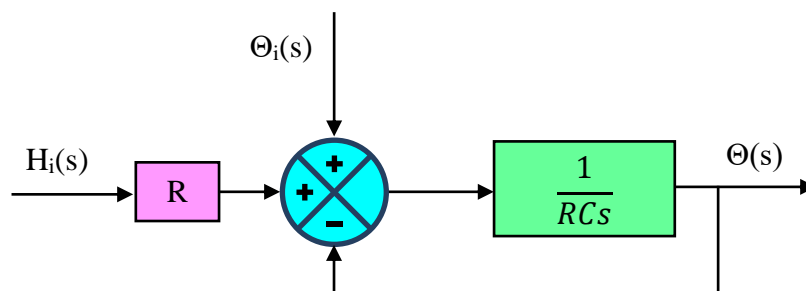
$$\Theta(s) = \mathcal{L}[\theta(t)]$$

$$\Theta_i(s) = \mathcal{L}[\theta_i(t)]$$

Jika system termal ini mengalami perubahan temperature cairan aliran masuk dan laju masukan kalor, sedangkan laju aliran cairan dijaga konstan, maka perubahan temperature cairan ke luar θ dapat dinyatakan oleh persamaan

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_i + Rh_i$$

Diagram block untuk kasus ini dapat didiskripsikan dalam gambar 2 seperti berikut ini

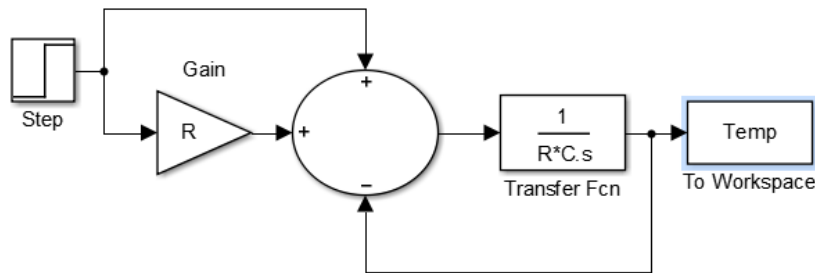


Gambar 2. Diagram Block Sistem thermal *Stirred Tank Heater*

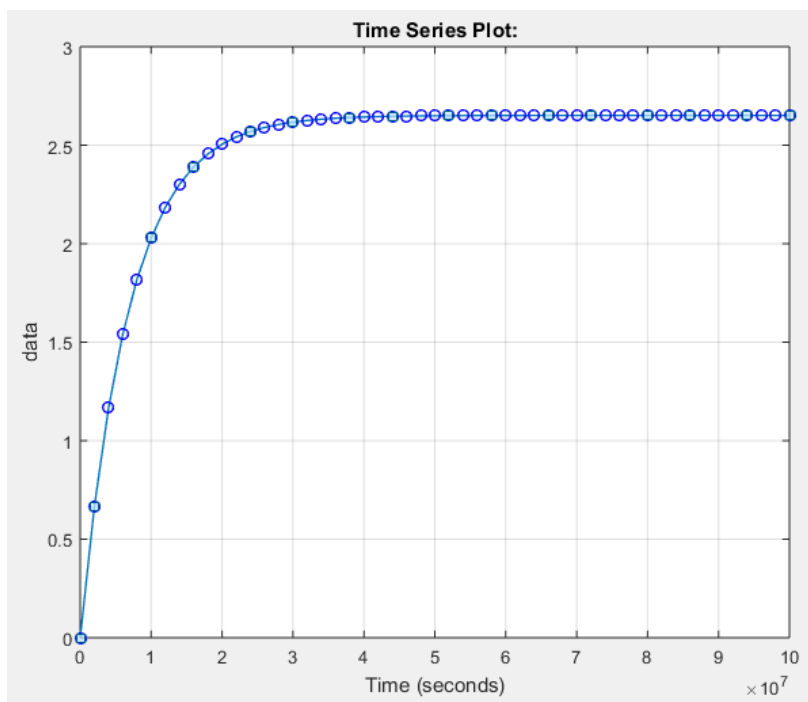
Dengan demikian transfer function untuk perubahan laju kalor input dengan temperature output adalah $\frac{R}{RCs}$, sedangkan untuk temperature cairan aliran masuk berfluktuasi adalah $\frac{1}{RCs}$ dan berfungsi sebagai gangguan (*disturbance*).

b. Pemodelan Simulink Matlab

Simulasi menggunakan fluida air pada temperature 20°C, dengan konduktifitas thermal sebesar 0.6075 W/m/K dan specific heatnya 4.18 MJ/m³K seperti yang ada didalam Tabel 1. Volume tangki yang digunakan adalah 1 m³ dan tahanan thermal R sebesar 0,000165 K/W. Dari gambar diagram block system thermal *stirred tank heater* dapat dibuat pemodelan didalam Simulink seperti berikut Gambar 3.



Gambar 3. Model simulasi *Stirred Tank Heater* menggunakan simulink



Gambar 4. Hasil run simulasi *Stirred Tank Heater* dengan simulink

Kurva respon eksponensial yang diberikan pada rangkaian Simulink pada Gambar 3 ditampilkan pada Gambar 4 Tinjauan system pada Gambar 4 yang merupakan hasil eksperimental menggunakan simulink menunjukkan kurva yang dihasilkan adalah garis

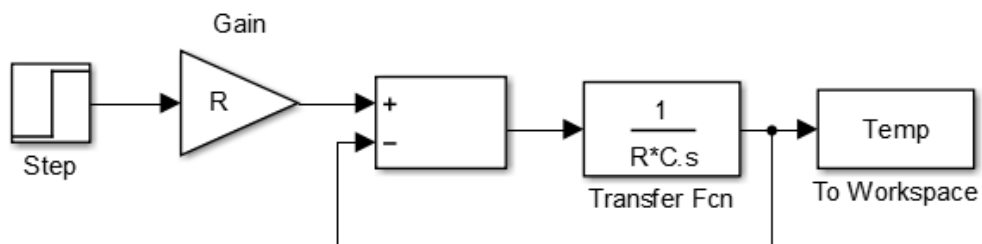
lurus maka system adalah orde pertama. Dimana data adalah keluaran system sebagai fungsi dari waktu.

Tabel 2
Spesifikasi respon transient

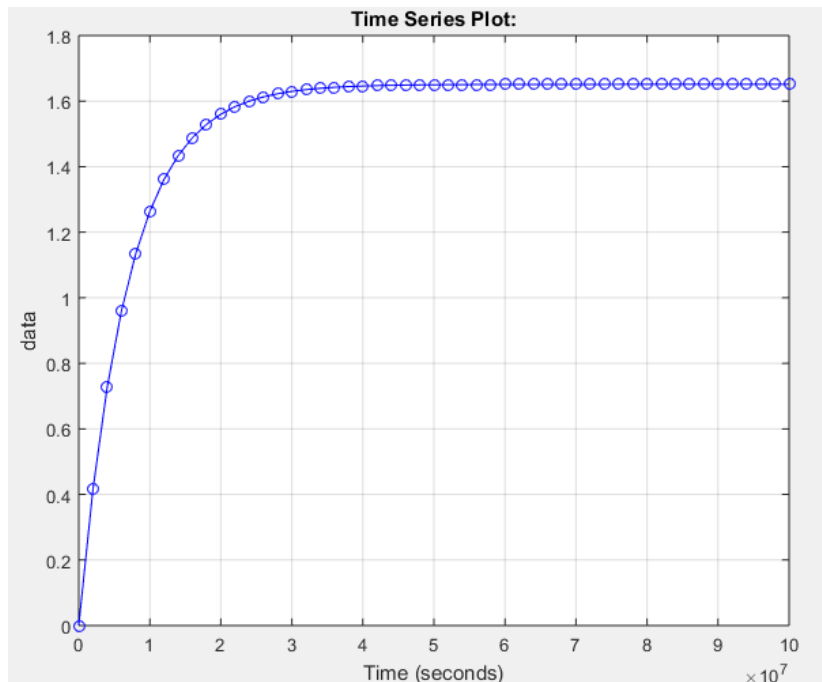
Discription	Data	Time (detik)	Karakteristik
10% dari Nilai maksimum	0,265	4.851.960	Rise time start
50% dari Nilai Maksimum	1,32	15.904.733	Delay time
90% dari nilai maksimum	2,38	20.739.480	Rise time end
95% dari Nilai maksimum	2,51	60.000.000	Settling time

Hasil data dalam table 2 rise time dimulai pada data 0,265 pada waktu 4.851.960 detik sampai pada detik ke 20.739.480 dengan demikian rise time selama 15.887.520 detik. Delay time terjadi pada saat data mencapai 50% nilai maksimum yaitu 1,32 dalam waktu 15.904.733 detik. Settling time ketika data mencapai 5% dari nilai maksimum dan berlangsung dengan stabil pada saat data 2,51 dengan waktu 60.000.000 detik.

c. Pemodelan Simulink Matlab dengan Menghilangkan Gangguan



Gambar 5. Model simulasi *Stirred Tank Heater* tanpa gangguan perubahan temperature input



Gambar 6. Hasil run simulasi *Stirred Tank Heater* tanpa gangguan perubahan temperature input

Tabel 3.
Spesifikasi respon transient

Discription	Data	Time (detik)	Karakteristik
10% dari Nilai maksimum	0,16	2.500.120	Rise time start
50% dari Nilai Maksimum	0,82	8.250.503	Delay time
90% dari nilai maksimum	1,48	15.883.017	Rise time end
95% dari Nilai maksimum	1,56	20.666.392	Settling time

Hasil data dalam table 2 rise time dimulai pada data 0,16 pada waktu 2.500.120 detik sampai pada detik ke 15.883.017 dengan demikian rise time selama 13.382.897 detik. Delay time terjadi pada saat data mencapai 50% nilai maksimum yaitu 0,82 dalam waktu 8.250.503 detik. Settling time ketika data mencapai 5% dari nilai maksimum dan berlangsung dengan stabil pada saat data 1,56 dengan waktu 20.666.392 detik.

Pemodelan Simulink Matlab dengan objek Stirrer Tank Heater, pada saat system memperhitungkan sisi masukan yang berfluktuasi hasil data mencapai 2,51 sedangkan pada system yang tidak memperhitungkan sisi masukan atau dapat diartikan ketika system mengisi tangki dan tangkinya penuh sisi masukan ditutup sehingga tidak ada laju aliran fluida input, data yang didapatkan 1,56. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan kedua dimana sisi masukan ditutup memberikan performance yang lebih baik karena

mendekati nilai 1. Hal ini dapat diartikan bahwa energy kalar yang dibutuhkan lebih besar 56%, sehingga system harus diperbaiki akan mendapatkan harga 1 yang dapat diartikan besarnya kalor sebanding dengan temperature yang diinginkan.

SIMPULAN

Dari hasil analisa data dan pembahasan maka kami dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan demikian transfer function untuk perubahan laju kalor input dengan temperature output adalah $\frac{R}{RCs}$, sedangkan untuk temperature cairan aliran masuk berfluktuasi adalah $\frac{1}{RCs}$ dan berfungsi sebagai gangguan (*disturbance*).
2. Sistem thermal Stirrer Tank Heater yang dimodelkan tergolong dalam system orde pertama dengan hasil kurva garis lurus.
3. Sistem thermal stirrer tank heater dengan asumsi sisi aliran masukan ditutup setelah penuh dan sisi output tidak bervariasi memberikan analisi performance yang lebih baik dengan data 1,56.

NOMENCLATURE

Θ_i : Temperature steady fluida masuk, °C

Θ_o : Temperature steady fluida keluar, °C

G : laju aliran fluida steady, kg/det

M : massa fluida dalam tangki, kg

c : kalor jenis fluida, J/N°C

R : resistansi termal, °C/W

C : kapasitansi termal, J/C

H : laju kalor input steady, W

H_i : laju kalor input steady, W

h_i : perubahan kecil dari laju kalor input, W

h_o : perubahan kecil dari laju kalor output, W

θ : perubahan temperature cairan output, °C

θ_i : perubahan temperature cairan input, °C

λ : konduktivitas thermal, W/m/K

Cp: specific heat, J/(K kg)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ogata, K. Laksono E., Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan), Penerbit Erlangga.
- [2] Surindra, MD, Widyaningsih, WP, Margana, Supriyo, Mulud, TH. Sistem Kontrol Proportional Integral Derivative (PID) Untuk Mengatur Kecepatan Motor DC Menggunakan Mikrokontroler, Prosiding Seminar Nasional NCIET, Vol.1 (2020), B528-B534.
- [3] Surindra M.D. (2013). Analisis Respon Output Dari Pemodelan Kontrol Proporsional Pada Aktuator Motor DC, Eksergi, Vol. 9 No. 2 Mei 2013, 43 – 46.
- [4] Measurement Accuracy and Thermal Conductivity of Water, <https://www.hotdiskinstruments.com/applications/measurement-accuracy-and-thermal-conductivity-of-water/>, The expert team at Hot Disk's head office, located at the Johanneberg Science Park on the Chalmers University of Technology campus in Gothenburg, Sweden. (Diakses pada tanggal 14 Jan 2021)