

Perancangan dan Simulasi MRAC PID *Control* untuk Proses Pengendalian Temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

Amelia Sylvia, Ir. Katjuk Astrowulan, MS.EE. dan Eka Iskandar, ST., MT.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: amel_keropy@yahoo.co.id

Abstrak—*Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* memegang peran penting dalam proses pengolahan industri dan terdapat banyak proses variabel yang akan dikendalikan. Temperatur merupakan salah satu variabel proses dasar yang dikendalikan untuk menjaga suhu cairan di dalam reaktor. *Model Reference Adaptive Controller (MRAC)* dengan *MIT rule* dipilih untuk mencapai spesifikasi respon yang diinginkan pada CSTR. Beban yang bervariasi berupa debit aliran likuid yang masuk ke dalam reaktor dapat menyebabkan perubahan parameter yang mempengaruhi perubahan temperatur *output* produk pada CSTR. Sebuah simulasi dilakukan dengan menggunakan MATLAB dan hasilnya dianalisa. Respon plant dapat melakukan adaptasi parameter – parameter kontrolernya cukup baik pada nilai gain adaptasi dengan rentang 0.00000010000 sampai 0.00000000001. Waktu yang dibutuhkan untuk mengatasi beban yang bervariasi berupa debit aliran yang masuk ke dalam reaktor dengan nilai yang maksimal (1.5 m³/min) menghasilkan respon plant lebih cepat 42 detik dari pada debit aliran masuk dengan nilai yang nominal (1 m³/min) 63 detik dan minimal (0.5 m³/min) 75 detik.

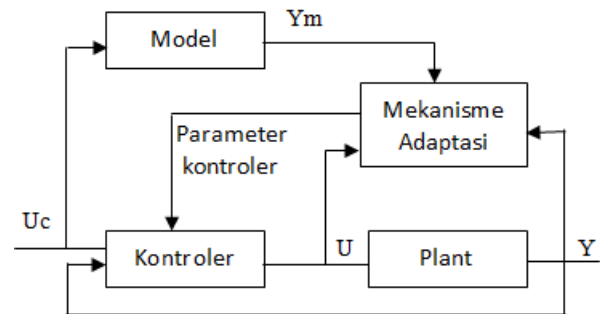
Kata Kunci—CSTR, MRAC, MIT rule.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sistem kendali otomatis (*automatic control system*) sudah merambah ke setiap sisi kehidupan manusia.

Penelitian tentang teknologi kendali juga dilakukan untuk mengendalikan proses pada industri besar, seperti pengendalian proses pada industri kimia (*chemical plant*), industri otomotif dan sebagainya. Proses kendali di industri kimia merupakan proses yang berlangsung secara dinamik, yaitu variabel-variabel yang menentukan terjadinya proses itu berubah-ubah terhadap waktu.

Reaktor kimia merupakan bagian terpenting pada industri kimia, sehingga kestabilan kerja reaktor kimia menjadi sangat penting. Pada penelitian ini menggunakan sebuah *plant continuous stirred tank reactor (CSTR)* yang telah diturunkan ke dalam bentuk matematis. Sebuah pendekatan dalam pengendalian *plant* yang memiliki kendala parameter *plant* sulit ditentukan karena kompleksitas *plant*, kondisi dinamik *plant* (proses), maupun adanya karakteristik dari gangguan (*Disturbance*) yang bervariasi dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol adaptif. Sistem kontrol adaptif memiliki kontroler dimana parameter-parameternya dapat diatur (*adjustable parameters*) dan memiliki mekanisme



Gambar 1 Blok Diagram Skema Model Reference Adaptive Control (MRAC) pengaturan terhadap parameter-parameternya (*mechanism for adjusting the parameters*). Pada perancangan ini, sistem kontrol adaptif dengan skema *Model Reference Adaptive Control (MRAC) PID control* yang akan diterapkan pada *plant* untuk proses pengendalian temperatur. MRAC merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem (*plant*) mengikuti performansi keluaran model referensinya.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Sistem kontrol adaptif

Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem (proses) mengikuti performansi keluaran model referensinya. Parameter-parameter kontroler diatur melalui mekanisme pengaturan yang didasarkan pada *error* yang merupakan selisih antara keluaran *plant* dengan keluaran model referensi. Blok diagram skema *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* ditunjukkan pada gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa skema sistem MRAC terdapat dua *loop*, *Loop* pertama adalah *loop* umpan balik normal antara *output* proses dengan kontroler sedangkan *loop* kedua adalah *loop* yang digunakan untuk melakukan mekanisme pengaturan parameter kontroler. Pada *loop* kedua ini dilakukan proses untuk *update* parameter – parameter kontroler maupun parameter *plant* sesuai dengan skema adaptif yg digunakan. Pengaturan dilakukan dengan meminimalkan sinyal *error*, sehingga keluaran sistem (*y*) sesuai dengan keluaran model referensinya (*ym*). Mekanisme pengaturan pada MRAC terhadap parameternya dapat dilakukan dengan metode

MIT rule.

B. MIT rule

Berikut ini akan jabarkan MIT Rule pada sistem loop tertutup di mana kontrolernya memiliki sebuah parameter yang dapat diatur berupa θ . Respon sistem loop tertutup ditentukan oleh model yang keluarannya dinotasikan ym , output proses dinotasikan sebagai y . Error merupakan selisih antara keluaran y dari sistem loop tertutup dan keluaran dari model ym . Error dinotasikan sebagai e . Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan fungsi kerugian (The loss function, $J(\theta)$):

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \tag{1}$$

agar J kecil dilakukan perubahan parameter pada gradient negatif dari J .

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e \frac{de}{d\theta} \tag{2}$$

Persamaan di atas disebut sebagai aturan MIT (MIT Rule). Turunan parsial $\frac{de}{d\theta}$ disebut sebagai turunan kepekaan (sensitivity derivative) sistem yang menunjukkan bagaimana error dipengaruhi oleh parameter yang dapat diatur (adjustable parameter). Jika diasumsikan parameter berubah lebih lambat dari variable lain dari sistem, $\frac{de}{d\theta}$ dapat diasumsikan konstan.

C. Model matematika reaktor

Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) adalah reaktor yang bekerja dengan cara mengaduk za-zat reaktan secara kontinyu selama proses berlangsung untuk menghasilkan produk yang diinginkan dan menghasilkan panas pada proses kimianya. Model diagram CSTR ditunjukkan pada gambar 1 di bawah ini [1].

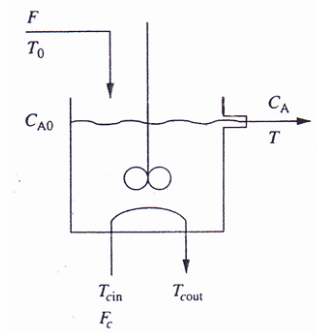
Pada gambar 2.1, aliran reaktan secara kontinyu mengalir ke dalam reaktor dengan kecepatan F , besarnya konsentrasi C_{A0} , dan temperatur T_0 . Dengan adanya pengaduk, reaktan dapat dianggap tercampur sempurna dalam reaktor sehingga konsentrasinya sebesar C_A dengan temperatur T menyebar merata dalam reaktor. Hasil produk berupa konsentrasi C_A dengan temperatur T secara kontinyu keluar dari reaktor. pemodelan matematika untuk proses reaktor pada gambar 2 adalah

$$V \frac{dC_A}{dt} = F(C_{A0} - C_A) - k_0 e^{(-E/RT)} V C_A \tag{3}$$

$$\rho C_p V \frac{dT}{dt} = \rho C_p F (T_0 - T) - k_0 e^{(-E/RT)} V C_A \Delta H$$

$$- \frac{\alpha F_c^{\beta+1} (T - T_{cin})}{F_c + \frac{\alpha F_c^\beta}{2\rho_c C_{pc}}}$$

(4)



Gambar 2 Diagram CSTR

Tabel 1.

Parameter – parameter sistem yang digunakan dalam simulasi [1]		
Parameter	Nilai	Satuan
F	1	(m ³ /min)
V	1	m ³
C _{A0}	2.0	kmole/m ³
T ₀	323	K
C _p	1	cal/(g/K)
ρ	10 ⁶	g/m ³
k ₀	1,0 x 10 ¹⁰	min ⁻¹
E/R	8330,1	K
(-ΔH)	130 x 10 ⁶	cal/(kmole)
T _{cin}	365	K
F _c	15	(m ³ /min)
C _{pc}	1	cal/(g/K)
ρ _c	10 ⁶	g/m ³
α	1,678 x 10 ⁶	(cal/min)/K
β	0.5	

Persamaan (3) dan (4) adalah persamaan – persamaan yang tidak linear dan tidak dapat diselesaikan secara analitis. Maka, perlu dilakukan proses linearisasi terlebih dahulu dengan menggunakan deret taylor.

$$f1 = \mathfrak{F}(C_A, T, F_c, C_{A0}, T_0, F) = F(C_{A0} - C_A) - k_0 e^{(-E/RT)} V C_A = V \frac{dC_A}{dt} \tag{5}$$

$$f2 = \mathfrak{F}(C_A, T, F_c, C_{Ai}, T_i, F) = \frac{d(T)}{dt} = \frac{F}{V} (T_0 - T) - k_0 e^{(-E/RT)} V C_A \Delta H - \frac{\alpha F_c^{\beta+1} (T - T_{cin})}{F_c + \frac{\alpha F_c^\beta}{2\rho_c C_{pc}}} \times \frac{1}{V\rho C_p}$$

(6)

Kemudian kedua persamaan linear dapat ditulis dalam bentuk umum (yang dikenal sebagai deskripsi state-space), Sehingga persamaan state-space adalah

$$\dot{\vec{x}}(t) = A \vec{x}(t) + B \vec{u}(t) \tag{7}$$

$$\vec{y}(t) = C \vec{x}(t) + D \vec{u}(t) \tag{8}$$

Kemudian vektor variabel yang dikontrol dan dimanipulasi adalah

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_A \\ T \end{bmatrix}$$

$$U = [F_c]$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{F}{V} - k_0 e^{(-E/RT)} & -k_0 \frac{E}{RT^2} e^{(-E/RT)} C_A & 0 \\ -\frac{(\Delta H)}{\rho C_p} k_0 e^{(-E/RT)} & -\frac{F}{V} + \frac{(-\Delta H)}{\rho C_p} k_0 \left(\frac{E}{RT^2}\right) e^{(-E/RT)} C_A & -\frac{\alpha F_c^{\beta+1}}{V \rho C_p F_c + \frac{\alpha F_c^{\beta} V}{2}} \end{bmatrix}$$

matriks – matriks yang elemennya adalah diferensial parsial dievaluasi di titik operasi *steady-state* adalah

$$B = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dF_c} \\ \frac{dF_c}{df_2} \\ \frac{dF_c}{dF_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{\alpha \beta F_c^{\beta} (F_{css} + \frac{\alpha F_c^{\beta}}{2 \rho C_p}) (T - T_0)}{V \rho C_p} \\ \left[V \rho C_p + \frac{\alpha F_c^{\beta} V}{2} \right]^{-1} \end{bmatrix}$$

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

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

D. Analisa kestabilan

Untuk mengetahui kestabilan sistem, maka dapat dilakukan dengan menganalisa harga eigen di mana nilai eigen ditentukan dengan menggunakan perhitungan matlab dari matriks A.

$$A = \begin{bmatrix} -7.55 & -0.093 \\ 852.02 & 5.77 \end{bmatrix}$$

```
>> A=[-7.55 -0.093;852.02 5.77]
Y=eig(A)
```

```
A =
    -7.5500    -0.0930
    852.0200     5.7700
```

```
Y =
    -0.8900 + 5.9061i
    -0.8900 - 5.9061i
```

Kedua nilai eigen adalah negatif dan pole berada di sebelah kiri sumbu imajiner maka sistem adalah stabil.

III. PERANCANGAN MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)

Perancangan kontroler merupakan penentuan persamaan atau rumus mekanisme pengaturan untuk melakukan update terhadap parameter – parameter kontroler ketika terjadi perubahan karakteristik sistem maupun terjadi perubahan beban. Dengan menentukan model dari sistem, maka sistem akan bekerja sesuai dengan karakteristik model yang ditentukan.

Berdasarkan pemodelan secara matematik sistem adalah orde satu sehingga model yang digunakan adalah sistem orde satu. fungsi alih orde satu model adalah:

$$y = \frac{(b_1 s + b) \theta_1}{p + a + b \theta_2} u_c \tag{9}$$

Sehingga persamaan persamaan *updating* parameter – parameter kontroler dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \left(\frac{(b_1 m s + b)}{p + a_m} u_c \right) e = -\gamma \left(\frac{0.56314 s + 22}{0.02144 s + 1} u_c \right) e \tag{10}$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = \gamma \left(\frac{(b_1 m s + b)}{p + a_m} y \right) e = \gamma \left(\frac{0.56314 s + 22}{0.02144 s + 1} y \right) e \tag{11}$$

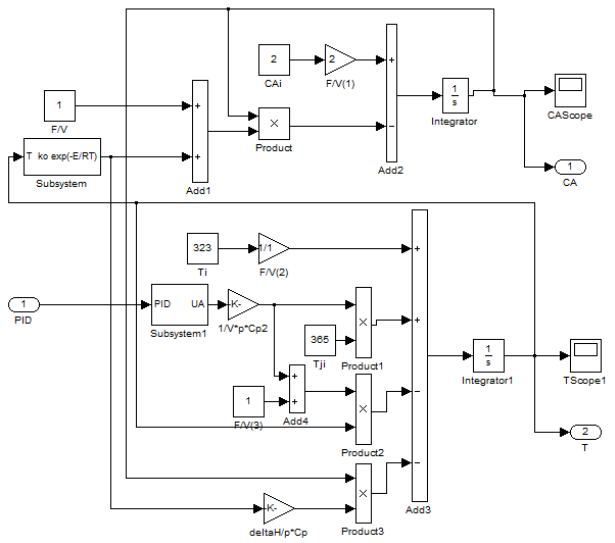
Simulink MRAC dengan pendekatan MIT rule ditunjukkan pada gambar 4.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

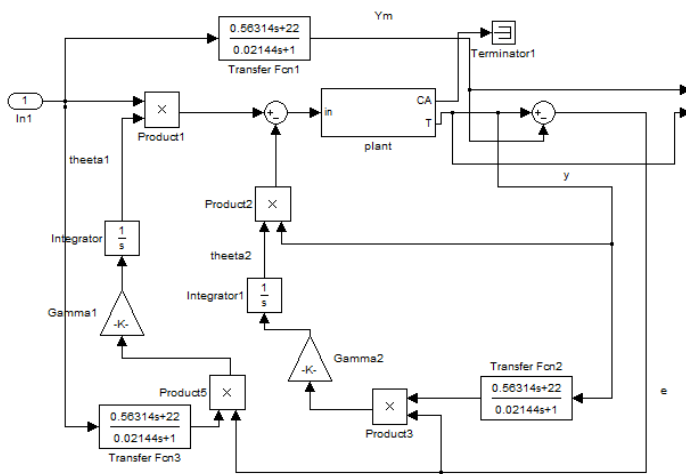
A. Open loop CSTR

Pada bagian ini dilakukan simulasi dengan Pada bagian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan *simulink* matlab di mana sinyal input adalah sinyal step. Plant dihubungkan pada input sinyal step berupa debit aliran pendingin yang merupakan variabel yang dimanipulasi agar temperatur didalam reaktor tetap terjaga sesuai yang diinginkan. Sedangkan variabel yang dikontrol adalah temperatur yang terdapat dalam tangki reaktor. Nilai dari debit aliran pendingin adalah sebesar 15 m³/min, kemudian hasil respon dianalisa dan hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 5.

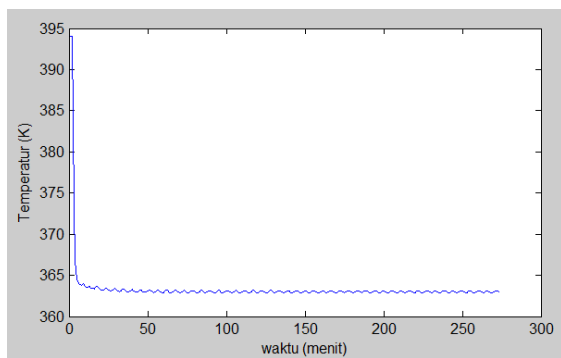
Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa hasil respon temperatur likuid ketika bereaksi pada tangki reaktor mengalami penurunan suhu dari 394 K turun mendekati 362.9 K, namun dari responnya masih terjadi *ripple* pada temperatur output. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu kontroler yang dapat mengendalikan temperatur yang diinginkan sehingga nilai temperatur tercapai sesuai *set point* sebesar 330 K.



Gambar 3 Simulink *Open Loop* CSTR



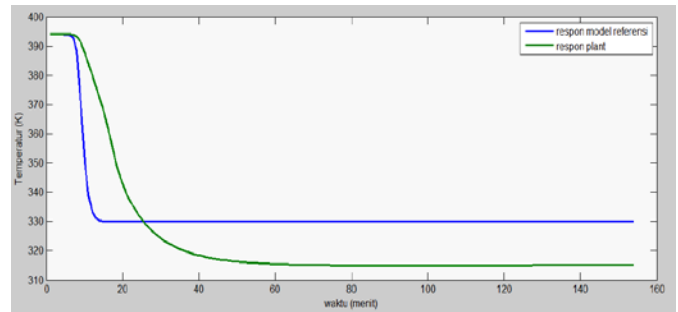
Gambar 4 MRAC Metode MIT rule



Gambar 5 Respon *Open Loop* CSTR

B. Pengujian plant dengan MRAC dengan beban konstan

Pengujian *plant* dilakukan dengan *Model Reference Adaptif control* (MRAC) metode MIT rule. Salah satu fungsi digunakannya perancangan simulink MRAC pada penelitian ini adalah untuk memperbaiki respon *output* dari *plant*. Seperti telah dibahas pada bab sebelumnya di mana hal ini dilihat pada nilai maksimum *overshoot*, sehingga hasil respon *plant* ditunjukkan pada gambar 6 dan dianalisa respon keluarannya.



Gambar 6 Respon *Plant* dengan MRAC metode MIT rule

Plant dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar $15 \text{ m}^3/\text{min}$.

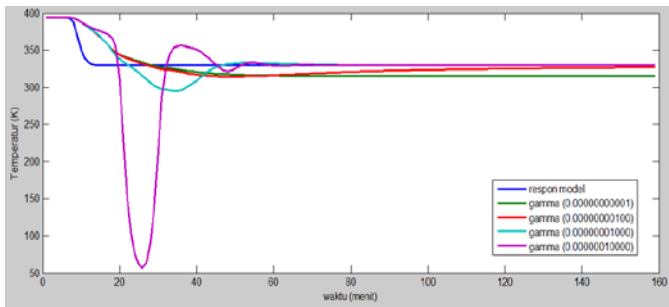
Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa respon model referensi adalah mula – mula 394 K turun mendekati 330 K. Sedangkan respon *plant* adalah mula – mula 394 K turun mendekati 315,2 K. Di mana nilai gain adaptasi (γ) yang diberikan adalah sebesar 0.0000000001. *Plant* mengalami *steady-state* pada respon *output*nya, namun masih belum mencapai *steady-state* pada nilai referensi yang diinginkan dan tidak terjadi *ripple*. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady state* adalah 76 detik dan terjadi *overshoot* sebesar 4.5%. Oleh karena itu pengujian dilakukan dengan variasi nilai gain adaptasi sehingga hasil respon diharapkan cepat dan *steady-state* pada nilai referensinya.

C. Pengujian plant dengan MRAC dengan variasi nilai gamma (γ)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan MRAC pendekatan MIT rule di mana nilai gain adaptasi yang diberikan bervariasi untuk mendapatkan hasil respon yang paling baik, sehingga hasil respon diharapkan cepat dan *steady-state* pada nilai referensinya. Besarnya nilai gain adaptasi yang digunakan adalah 0.0000000001, 0.0000000100, 0.0000001000 dan 0.00000010000.

Pengujian dengan memberikan nilai gain adaptasi adalah sebesar 0.0000000001. *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar $15 \text{ m}^3/\text{min}$. Hasil respon telah dibahas sebelumnya. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 315,2 K. *Plant* mengalami *steady-state* pada respon *output*nya, namun masih belum mencapai *steady-state* pada nilai referensi yang diinginkan, respon lambat, dan tidak terjadi *ripple*. Respon *plant* ditunjukkan pada gambar 7.

Pengujian dengan memberikan nilai gain adaptasi adalah sebesar 0.0000000100. *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar $15 \text{ m}^3/\text{min}$. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 315,2 K. *Plant* mengalami *steady state* pada respon *output*nya. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady* adalah 60 detik, kemudian pada waktu 64 detik respon mulai naik mendekati hampir mencapai nilai *steady-state* model referensi yang diinginkan, respon lambat, tidak terjadi *ripple*, namun *overshoot* sebesar 4.5%.



Gambar 7 Respon Plant dengan MRAC Untuk Nilai Gamma (γ) yang Bervariasi

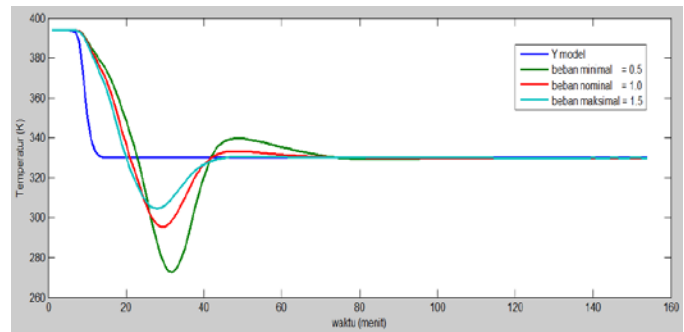
Pengujian dengan memberikan nilai gain adaptasi adalah sebesar 0.00000001000. *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar 15 m³/min. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 295.4 K. *Plant* mengalami steady state pada respon outputnya. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady* adalah 46 detik, pada waktu 38 detik respon mulai naik dan telah *steady-state* mengikuti model referensi yang diinginkan sebesar 330 K, respon cepat, tidak terjadi *ripple*, namun *overshoot* sebesar 10.5%.

Kemudian terakhir penelitian dengan memberikan nilai gain adaptasi adalah sebesar 0.00000010000. *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar 15 m³/min. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 57,3 K. *Plant* mengalami steady state pada respon outputnya. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady* adalah 55 detik, pada waktu 27 detik respon mulai naik dan telah *steady-state* mengikuti model referensi yang diinginkan sebesar 330 K, respon cepat, tidak terjadi *ripple*, namun *overshoot* sebesar 82.6%.

D. Pengujian plant dengan MRAC dengan perubahan beban

Setelah dilakukan pengujian *plant* dengan beban konstan maka selanjutnya pengujian *plant* dilakukan dengan adanya perubahan beban. Beban yang diberikan pada *plant* berupa debit aliran likuid yang masuk ke dalam reaktor dengan nilai beban yang dipilih yaitu minimal 0.5, nominal 1 dan maksimal 2 (m³/min). Dalam pengujian ini nilai gain adaptasi yang dipilih adalah sebesar 0.00000001000, karena nilai tersebut lebih sesuai untuk mencapai karakteristik respon *plant* yang diinginkan. Hasil respon *plant* ditunjukkan pada gambar 8 dan dianalisa respon keluarannya. *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar 15 m³/min. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa respon model referensi adalah mula – mula 394 K turun mendekati 330 K.

Pengujian dengan memberikan nilai debit aliran likuid yang masuk ke dalam reaktor adalah sebesar 0.5 (m³/min) *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar 15 m³/min. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 273 K. *Plant* mengalami steady state pada respon outputnya. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady* adalah 75 detik, pada waktu 34 detik respon mulai naik dan telah *steady-state* mengikuti model referensi yang diinginkan sebesar 330 K, respon cepat, tidak terjadi *ripple*,



Gambar 8 respon plant dengan beban beban minimal, nominal, dan maksimal

namun *overshoot* sebesar 17.3%.

Pengujian dengan memberikan nilai debit aliran likuid yang masuk ke dalam reaktor adalah sebesar 1 (m³/min) *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar 15 m³/min. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 295.5 K. *Plant* mengalami *steady state* pada respon outputnya. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady* adalah 63 detik, pada waktu 30 detik respon mulai naik dan telah *steady-state* mengikuti model referensi yang diinginkan sebesar 330 K, respon cepat, tidak terjadi *ripple*, namun *overshoot* sebesar 10.5%.

Pengujian dengan memberikan nilai debit aliran likuid yang masuk ke dalam reaktor adalah sebesar 2 (m³/min) *Plant* dihubungkan pada *input step* berupa debit aliran pendingin dengan nilai sebesar 15 m³/min. Di mana respon mula – mula 394 K turun mendekati 305 K. *Plant* mengalami steady state pada respon outputnya. Waktu respon *plant* saat mencapai *steady* adalah 42 detik, pada waktu 25 detik respon mulai naik dan telah *steady-state* mengikuti model referensi yang diinginkan sebesar 330 K, respon cepat, tidak terjadi *ripple*, namun *overshoot* sebesar 7.6%.

Dari gambar 8 menunjukkan bahwa pengujian dengan MRAC metode MIT *rule* waktu yang dibutuhkan untuk mengatasi gangguan dengan memberikan aliran masuk dengan nilai yang maksimal, maka respon *plant* lebih cepat dari pada debit aliran masuk dengan nilai yang nominal dan minimal.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, hasil, dan analisa pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Performansi respon *plant* dalam mengikuti respon model referensi sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai gain adaptasi. Nilai gain adaptasi yang berbeda menghasilkan respon *plant* yang berbeda dalam mengikuti modelnya. Respon *plant* pada MRAC dengan metode MIT *rule* dapat melakukan adaptasi parameter – parameter kontrolernya cukup baik pada nilai gain adaptasi dengan rentang 0.00000010000 sampai 0.00000000001.
2. Pemilihan nilai gain adaptasi yang kecil menghasilkan respon *plant* yang lambat dalam mengikuti model referensinya, sebaliknya nilai gain adaptasi yang besar menghasilkan respon sistem beresilasi.

3. Pengujian dengan MRAC metode MIT *rule* waktu yang dibutuhkan untuk mengatasi beban yang bervariasi berupa debit aliran yang masuk ke dalam reaktor dengan nilai yang maksimal ($1.5 \text{ m}^3/\text{min}$) mengalami respon plant lebih cepat dari pada debit aliran masuk dengan nilai yang nominal ($1 \text{ m}^3/\text{min}$) dan minimal ($0.5 \text{ m}^3/\text{min}$).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marlin, T.E., *Process Control : Designing, Process and Control System for Dynamic Performance*, 2nd ed, Singapore, McGraw-Hill, 2000.
- [2] Willis, M.J., *Continuous Stirred Tank Reactor Model*, Dept. of Chemical and Process Engineering, University of Newcastle, 2000.
- [3] H Seborg, D.E., T.F. Edgar, D.A. Mellichamp, *Process Dynamics and Control*, John Wiley and Sons, 1989.
- [4] Suprajitno, Agus, *Pengendalian Proses Pada CSTR Diabatik Dengan Pengendali H-Infinity*, Staf Pengajar Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri UNISSULA, Semarang, 2005
- [5] Smith, C.A., Corripio, A.B., *Principle and Practice of Automatic Process Control*, 2nd ad, Canada, Willey, 1997.
- [6] Karl J.Astrom and Bjorn Wittenmark (1995), *Adaptive control*, second edition, Pearson education private limited, Singapore. pp. 185-245.