

MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL UNTUK PENGATURAN PROSES TINGGI PERMUKAAN SPHERICAL TANK

Yudha Kencana Putra¹, Sugiarto², Oni Yuliani³
Prodi Teknik Elektro, FTI, ITNY
yudhakencana250@gmail.com

Abstrak

Industri kimia saat ini *Liquified Natural Gas (LNG)* yang proses distribusinya menggunakan *LNG tanker vessel* dan/atau kereta pengangkut dengan wadah penyimpanan *spherical tank*. Sistem kendali aliran tangki *LNG* merupakan kendali tinggi permukaan. Parameter kontrolernya akan bekerja apabila nilai referens dijaga konstan. Faktanya adalah bahwa nilai referens (tinggi permukaan) sering keluar dari batas ambang akibat *LNG* yang keluar melebihi ukuran. Salah satu solusi untuk perbaikan sistem kendali itu adalah proses penalaan-ulang parameternya menggunakan sistem kendali adaptif *Model Reference Adaptif Control (MRAC)*. Basis dari *MRAC* adalah metode *Massachusetts Institute of technology (MIT) rules* sebagai mekanisme penalaan-ulang parameter. Hasil simulasi berbasis *Matlab-Simulink* memperlihatkan bahwa luaran sistem sudah sesuai dengan yang diinginkan dengan *settling time* sebesar 4 detik, *rise time* sebesar 0,95 detik dan *over-shoot* sebesar 0,2 p.u.

Kata kunci: Liquified Natural Gas (LNG), Model Reference Adaptif Control (MRAC). Massachusetts Institute of technology (MIT) rules.

Abstract

The chemical industry is currently *Liquified Natural Gas (LNG)* whose distribution process uses *LNG tanker vessels* and/or transport trains with *spherical tank storage containers*. The *LNG tank flow control* system is a surface level control. The controller parameter will work if the reference value is kept constant. The fact is that the reference value (surface height) is often out of the threshold due to the *LNG* that comes out exceeding the size. One solution for improving the control system is the parameter tuning process using the *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* adaptive control system. The basis of *MRAC* is the *Massachusetts Institute of technology (MIT) rules* method as a parameter tuning mechanism. The simulation results based on *Matlab-Simulink* show that the system output is in accordance with the desired with a *settling time* of 4 seconds, a *rise time* of 0.95 seconds and an *over-shoot* of 0.2 p.u.

Keywords : Liquified Natural Gas (LNG), Model Reference Adaptif Control (MRAC). Massachusetts Institute of technology (MIT) rules.

1. PENDAHULUAN

Spherical tank merupakan tangki penyimpanan *LNG (Liquified Natural Gas)* sementara sebelum digunakan oleh *user*. Kecepatan aliran luaran tangki akan konstan apabila volumenya konstan (volume tangki dapat dimanipulasi dengan tinggi permukaan *LNG* apabila diameternya dianggap konstan). Faktanya adalah permukaan fluida *LNG* keluar dari batas toleransi dari referencenya dan konsekuensinya *controler velve* harus ditala ulang. Salah satu kendali untuk menala ulang itu adalah *MRAC*.

Liquefied Natural Gas merupakan salah satu kompetitif bahan bakar yang diaplikasikan di Indonesia sebagai pengganti bahan bakar fosil. Penggunaan LNG dapat diterapkan di Indonesia karena salah satunya didukung oleh cadangan gas alam yang melimpah yang mencapai 101,2 Trillion Standard Cubic Feet (TSCF) tahun 2016 (Supriyadi, 2017). Terdapat dua sumber LNG terbesar yaitu Bontang (Kalimantan Timur) dan Tangguh (Papua Barat), terlihat pada Gambar 1.1. Sedangkan lokasi PLTU dengan kapasitas besar terdapat di Pulau Jawa dan PLTU skala kecil tersebar di NTT, Maluku, dan Papua. LNG dari Bontang digunakan untuk PLTU berskala Besar dan LNG dari Tangguh digunakan untuk PLTU berskala kecil. LNG dapat didistribusikan ke konsumen relatif mudah, baik dengan mode transportasi laut dan transportasi darat (Supriyadi, 2017).

Pendistribusian LNG dari sumber ke pengguna (berupa PLTU) digunakan LNG tanker *vessel* dan/atau kereta pengangkut. LNG tanker *vessel* merupakan kapal pengantar berskala besar yaitu 126.000 m³ yang dimana adalah pengembangan dari kapal tanker tapi dikarenakan desain kapal tanker yang tidak diperuntukan untuk membawa LNG, maka dilakukan pengembangan kapal tanker yang bisa kompatibel membawa muatan berupa LNG. (Rasya dkk, 2014)

LNG tanker tersebut terdapat beberapa kubah yang dinamakan *spherical tank* yang berbentuk setengah bola ataupun *watermelon*. *Spherical tank* merupakan tangki penyimpanan LNG sementara sebelum digunakan oleh *user*. Karena sementara LNG tersebut akan dikeluarkan maka volume gas di dalam harus konstan. Kecepatan aliran LNG (luaran tangki) akan konstan apabila volumenya konstan; volume tangki dapat dimanipulasi dengan tinggi permukaan LNG apabila diameternya dianggap konstan. Faktanya adalah tinggi permukaan fluida LNG pada tangki selalu berubah (Karena sebagian LNGnya telah dikeluarkan) dan keluar dari batas ambang toleransi ($\pm 2\%$) referensinya; konsekuensinya adalah nilai dari parameter kontroler harus ditala-ulang.

Suatu sistem kendali umpan-balik yang menambahkan mekanisme penalaan-ulang parameter kontrolernya akibat perubahan lingkungan (volume fluida dalam tangki berubah karena sebagian dikeluarkan secara konstan) dikategorikan ke dalam sistem kendali adaptif. Adapun jenis dari teknik kendali adaptif ada 3 jenis, yaitu STR (Self Tuning Regulator) merupakan bagian dari sistem pengaturan adaptif, dimana adaptif adalah sistem pengaturan yang memiliki algoritma untuk merevisi nilai parameter atau struktur kontroler yang mengikuti perubahan parameter struktur plant sehingga sistem yang dikendalikan selalu memenuhi spesifikasi desain yang ditentukan (Nurul Aini dkk, 2013), Gain Scheduling adalah sistem kendali dengan penguatan sinyal kontrol pada rentang waktu proses yang berbeda dan sudah ditentukan (Wisnu dkk, 2009), serta kendali adaptif yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) karena sistem yang akan dikendalikan hanya satu kalang dan lebih mudah dengan membandingkan luaran sistem dengan luaran referensinya.

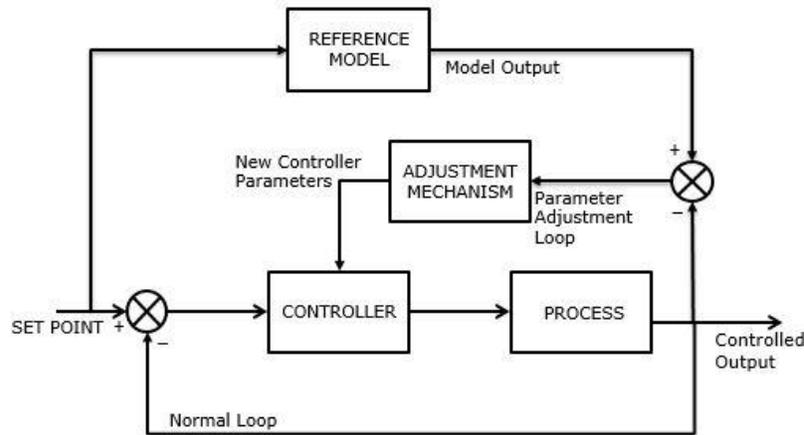
Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan salah satu struktur kendali adaptif dengan performans luaran sistem mengikuti performans keluaran model referensinya. Parameter-parameter kontroler ditala (mekanisme pengaturan) berdasarkan pada *error* yang merupakan selisih antara nilai luaran sistem dan nilai referens. Dalam penentuan parameter dari kontroler ada beberapa mekanisme pendekatan, diantaranya adalah *MIT rule*. (Feri Rusmawan dkk, 2011) Aturan ini dikembangkan di *Massachusetts Institute of technology* untuk kegiatan yang praktis.

Skripsi ini akan melakukan perancangan sistem kendali adaptif dengan skema *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) berbasis aturan MIT yang akan diterapkan pada tangki *spherical* untuk proses pengendalian tinggi permukaan cairannya. Simulasi sistem kendali menggunakan program MATLAB/Simulink.

2. METODE

Metode penelitian pada penelitian skripsi ini bersifat eksperimental. Yaitu penelitian yang memanipulasi data-data keluaran pada Spherical tank dengan menggunakan MATLAB. Penelitian untuk memanipulasi data-data keluaran pada spherical tank akan dilakukan di laboratorium industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performans luaran sistem mengikuti performans luaran 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 MRAC ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema dasar MRAC

Gambar 2.3 terlihat bahwa sistem MRAC terdapat dua kalang, kalang pertama adalah kalang umpan balik normal antara *output* proses dengan kontroler sedangkan kalang kedua adalah kalang yang digunakan untuk melakukan mekanisme pengaturan parameter kontroler. Pada *kalang* kedua ini dilakukan proses untuk pembaruan parameter-parameter kontroler maupun parameter proses sesuai dengan skema adaptif yg digunakan. Pengaturan dilakukan dengan meminimalkan isyarat *error* sehingga keluaran sistem (y) sesuai dengan keluaran model referensinya (y_m). Mekanisme pengaturan pada MRAC terhadap parameternya dapat dilakukan dengan metode aturan MIT.

Aturan MIT pada sistem kalang tertutup mempunyai kontroler dengan sebuah parameter yang dapat diatur berupa θ . Respon sistem kalang tertutup ditentukan oleh model yang luarannya yang dinotasikan dengan y_m dan luaran proses dinotasikan sebagai y . Error merupakan selisih antara keluaran y dari sistem loop tertutup dan keluaran dari model y_m . Error dinotasikan sebagai e . Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan lost function atau fungsi kerugian $J(\theta)$

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

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

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{dt} = -\gamma e \frac{de}{dt} \quad (2)$$

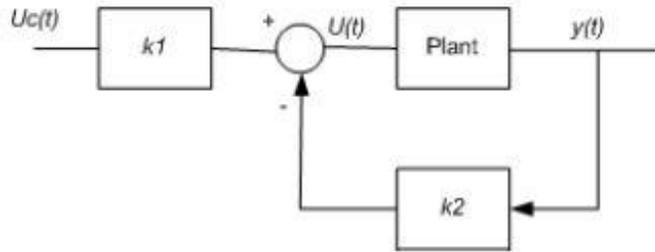
Persamaan 2 dinamakan aturan MIT. Derivatif parsial $d\theta/dt$ disebut sebagai sensitivity derivative atau derivatif kepekaan sistem yang menunjukkan bagaimana error dipengaruhi oleh parameter yang dapat diatur atau adjustable parameter. Jika diasumsikan parameter berubah lebih lambat dari peubah lain dari sistem maka $d\theta/dt$ dapat diasumsikan tetap.

Pada MRAC orde satu berlaku

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu \quad (3)$$

Dimana u adalah peubah kendali dan y adalah luaran yang terukur. Diinginkan keluaran respon sistem sesuai dengan keluaran model sistem kalang tertutup sesuai

$$\frac{dy}{dt} = -a_m y_m + b_m u \quad (4)$$



Gambar 2. Struktur sistem *pole placement*

Perancangan gambar 2 digunakan kontroler dengan algoritma penempatan pole atau *pole placement*. Pada algoritma ini terdapat dua parameter yang digunakan untuk mengatur besarnya isyarat kendali keluaran dari kontroler yaitu k_1 dan k_2 . Algoritma penempatan *pole* terlihat pada Gambar 2.

Persamaan isyarat kontroler selanjutnya dapat ditulis sebagai

$$u_t = k_1 u_c(t) - k_2 y(t) \quad k_1 = b_m/b \quad k_2 = (a_m - a)/b \quad (5)$$

Jika kedua parameter tersebut memenuhi Persamaan (5) maka hubungan masukan-luaran sistem dan modelnya akan sama. Error merupakan selisih antara keluaran sistem loop tertutup (y) dengan keluaran model (y_m) yang dituliskan sebagai

$$e = y - y_m \quad (6)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan 5 ke Persamaan 6 maka didapatkan persamaan

$$y = \frac{bk_1}{p + a + bk_2} u_c \quad (7)$$

Dimana $p = d/dt$ adalah operator diferensial. Derivatif kepekaan atau sensitivity derivative didapatkan dengan melakukan turunan parsial pada error terhadap parameter k_1 dan k_2 yang dituliskan dengan

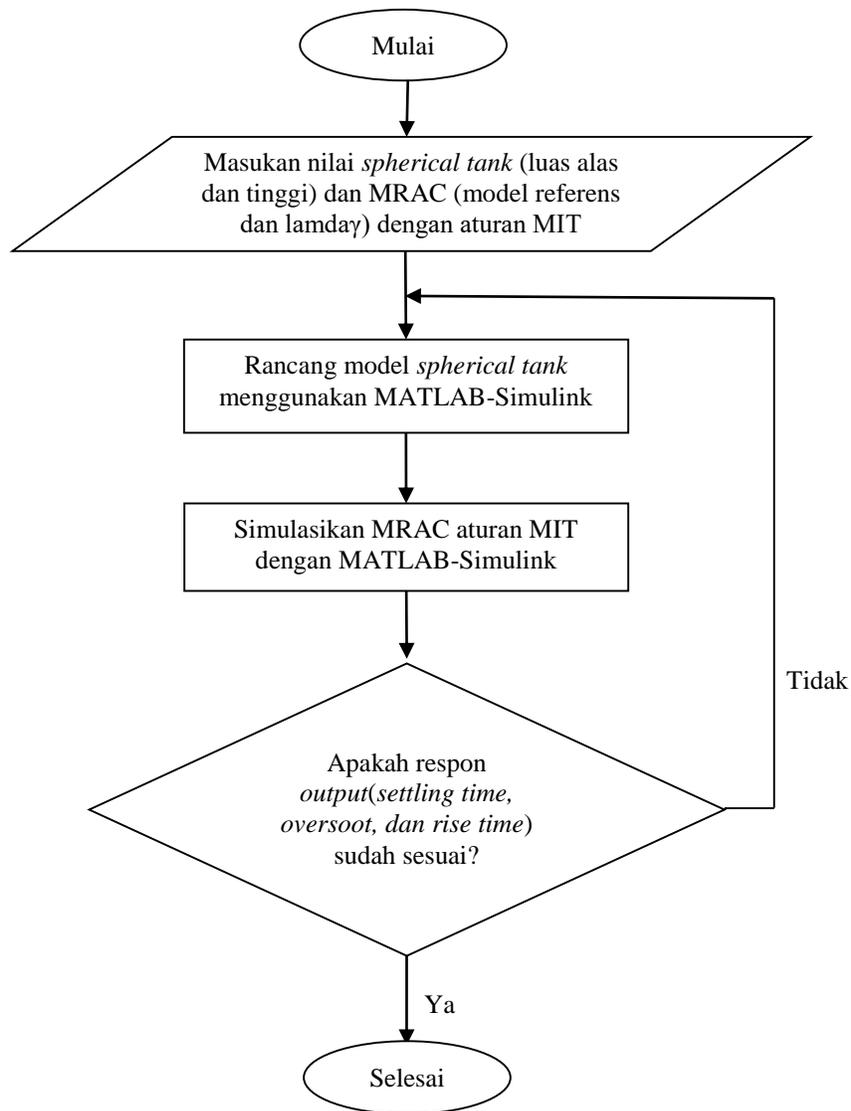
$$\frac{\partial e}{\partial k_1} = \frac{b}{p + a + bk_2} u_c \quad \frac{\partial e}{\partial k_2} = -\frac{b}{p + a + bk_2} y \quad (8)$$

Persamaan 8 belum dapat digunakan secara langsung karena parameter a dan b tidak diketahui, untuk itu diperlukan pendekatan yang didasarkan pada pengamatan bahwa $p + a + bk_2 \approx p + a_m$ yang akan tercapai ketika parameter-parameter tepat pada harga yang sesuai. Dari Persamaan (8) dan pendekatan ini, diperoleh persamaan updating parameter-parameter kontroler

$$\frac{\partial k_1}{\partial t} = -\gamma \left(\frac{a_m}{p + a_m} u_c \right) e \quad \frac{\partial k_2}{\partial t} = \left(\frac{a_m}{p + a_m} y \right) e \quad (9)$$

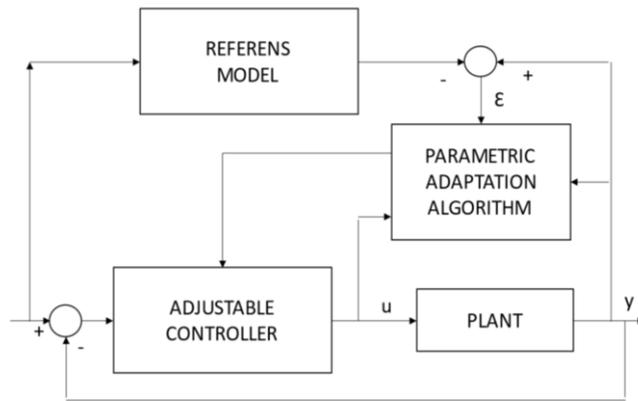
Skema pada Gambar 2 menunjukkan bahwa error dihasilkan dari selisih antara keluaran model referensi (y_m) dan keluaran plant (y), pembaruan parameter kontroler k_2 dilakukan oleh hasil kali antara *error* (e), *gain* adaptasi (γ), dan keluaran plant (y) setelah melalui filter $a_m/(s + b_m)$ sedangkan parameter k_1 dilakukan update melalui hasil kali *error* (e), *gain* adaptasi, dan referensi masukan (u_c) setelah melewati filter.

Pemodelan Spherical Tanks diperlukan sebagai langkah awal perancangan kontroler MRAC. Model plant yang digunakan adalah model nonlinier karena menggunakan model orde satu, terlihat pada Gambar 3.2.

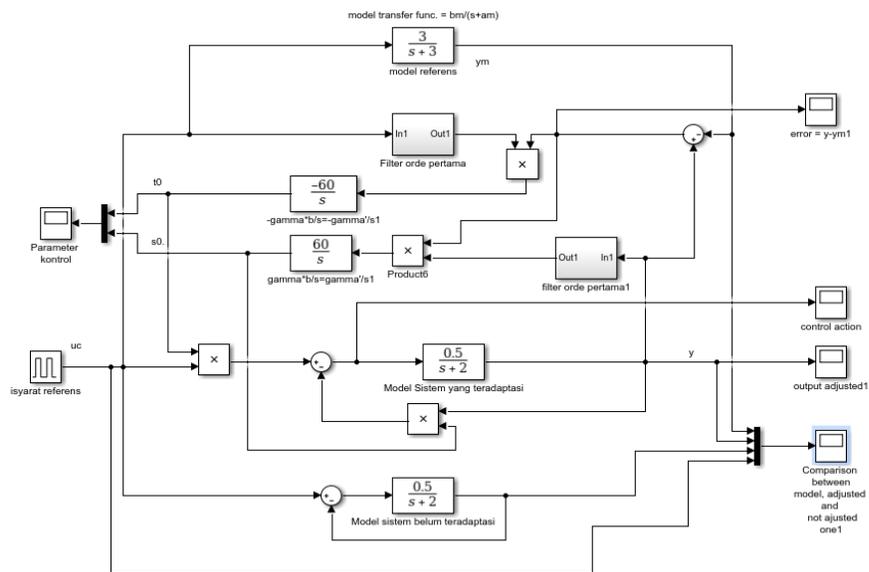


Gambar 3. Flowchart prosedur penelitian

Pengujian simulator MRAC untuk pengaturan proses tinggi permukaan spherical tank dilakukan dengan tiga langkah percobaan (Gambar. 3), yaitu merancang model, memasukan data, dan mengevaluasi performa. Langkah pertama dari penelitian yaitu memasukan data model *spherical tank* yang berupa luas permukaan tangki dan tinggi cairan serta parameter-parameter mekanisme adaptasi berbasis metode MIT. Langkah kedua adalah merancang sistem kendali adaptif untuk obyek berupa model *spherical tank* dan sistem mekanisme penalaan ulang kontroler memakai model MRAC yang berbasis MIT rule. Adapun langkah ketiga adalah men simulasikan sistem kendalinya. Juga dilakukan pengamatan untuk melihat perfortma sistemnya (*output* keluaran) menggunakan kriteria sederhana (*simple criteria*) yaitu berkenaan dengan nilai-nilai dari *settling-time*, *overshoot*, dan *rise-time*.



Gambar 4. Perancangan sistem model *spherical tank* dengan sistem mekanisme penalaan ulang model MRAC yang berbasis MIT rule

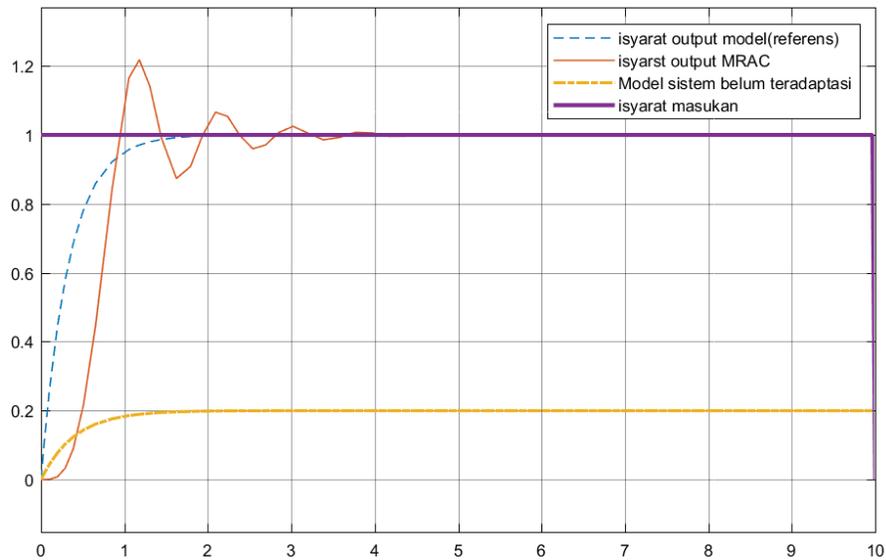


Gambar 5. Diagram simuling model *spherical tank*

Model MRAC telah dijelaskan pada Landasan Teori dimana *adaptation mechanism* akan menentukan nilai parameter kontroler. Pada perancangan ini dilakukan trial-and-error untuk menentukan nilai γ_p dan γ_i yang tepat sehingga luaran sistem bisa mendekati atau sama dengan keluaran model reference. sistem MRAC ini disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab-Simulink.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

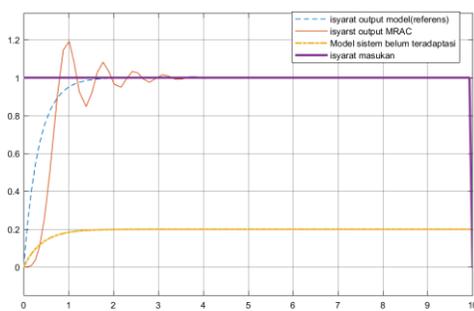
Hasil penelitian ini didapatkan dari analisis luaran grafik dari sistem kendali adaptif menggunakan *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) yang berbasis MIT (Gambar 2) dengan referens masukan yaitu 1 p.u. Luaran sistem yang sudah disimulasikan terlihat pada gambar 3.



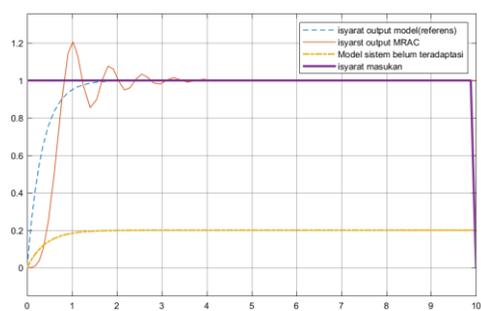
Gambar 6. Grafik isyarat output model (referens), isyarat output MRAC, model sistem yang belum teradaptasi.

Gambar 6 mendeskripsikan luaran-luaran dari sistem kendali yang masukan berupa isyarat *step function*. Adapun isyarat luaran yang terdiskripsikan berupa isyarat luaran dari model sistem yang belum teradaptasi, isyarat output adaptasi, dan isyarat output model (referens).

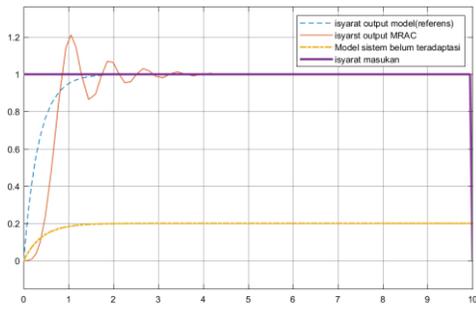
Pada Gambar 6, terlihat jelas bahwa magnituda isyarat model sistem belum teradaptasi jauh lebih kecil dari nilai isyarat masukannya, yaitu sebesar 0,2 p.u (nilai isyarat referens sebesar 1 p.u). Isyarat *output MRAC* terhadap, *rise time* sebesar tasi (berbasis MRAC dan metode MIT) mempunyai *settling time* sebesar 4 detik, *rise time* sebesar 0,95 detik dan *over-shoot* sebesar 0,2 p.u. Dari Gambar 6 pun terlihat bahwa isyarat output MRAC mempunyai respon yang lebih “lasak”.



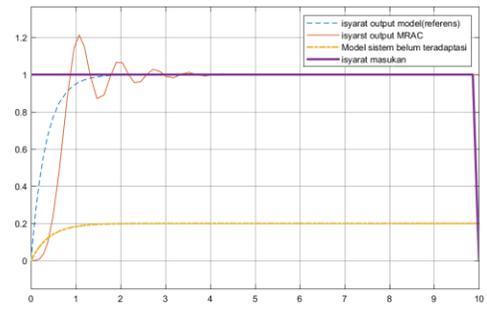
(a) 100



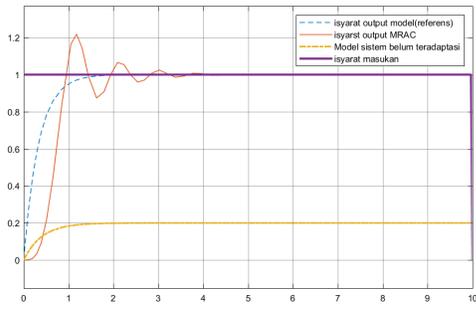
(b) 90



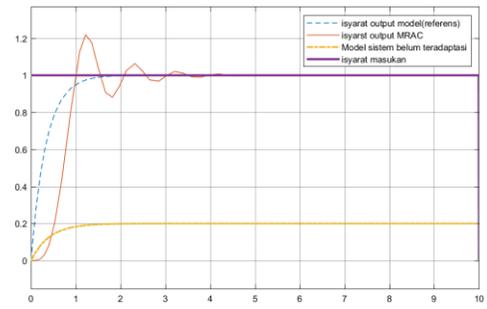
(c) 80



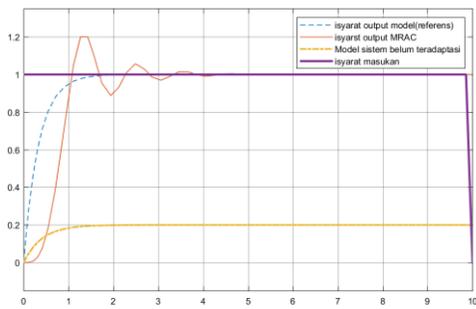
(d) 70



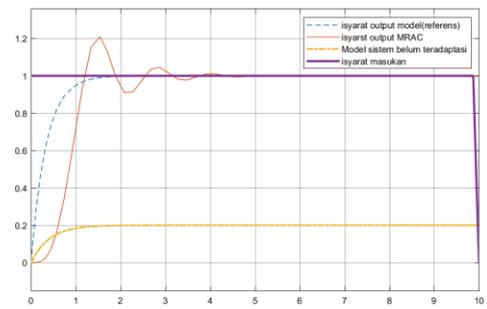
(e) 60



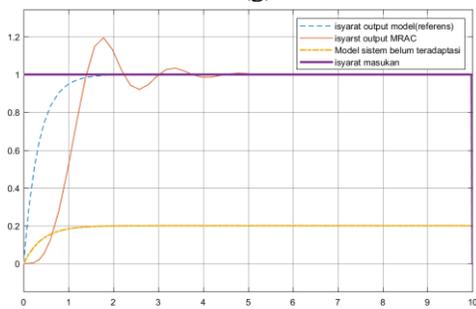
(f) 50



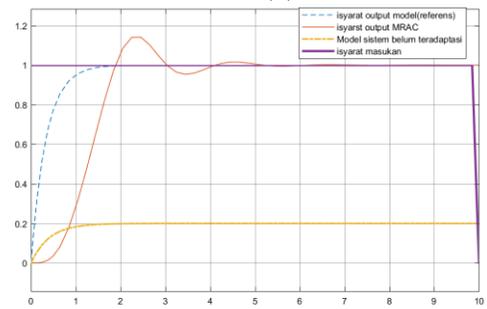
(g) 40



(h) 30



(i) 20



(j) 10

Gambar 7. Gain adaptasi

Dari grafik *simple criteria* (*Rise-time*, *Settling-time*, dan *Overshoot*) dari perubahan nilai gain adaptasi didapatkan nilai seperti pada grafik gambar 7.

Tabel 1. Perbandingan *simple criteria* (*Rise-time*, *Settling-time*, dan *Overshoot*) dari perubahan nilai gain adaptasi

| | Gain Adaptasi | <i>Rise-time</i> | <i>Settling-time</i> | <i>Overshoot</i> |
|-----|---------------|------------------|----------------------|------------------|
| (a) | 100 | 0,7 detik | 4 detik | 1,21 |
| (b) | 90 | 0,8 detik | 4 detik | 1,21 |
| (c) | 80 | 0,8 detik | 4,1 detik | 1,21 |
| (d) | 70 | 0,9 detik | 4,1 detik | 1,21 |
| (e) | 60 | 0,95 detik | 4,1 detik | 1,21 |
| (f) | 50 | 1 detik | 4,2 detik | 1,21 |
| (g) | 40 | 1,1 detik | 4,2 detik | 1,2 |
| (h) | 30 | 1,2 detik | 4,4 detik | 1,2 |
| (i) | 20 | 1,4 detik | 4,6 detik | 1,19 |
| (j) | 10 | 1,9 detik | 5 detik | 1,15 |

Proses perbandingan antara performansi keluaran model referensi dan keluaran performansi sistem yang akan menjadi selisih atau biasa disebut eror akan dimasukan dan diproses di mekanismenya yang dimana disini adalah MIT rule. Pada mekanisme ini terdapat γ (gamma) yang dimana merupakan *gain* adaptasi. Berikut merupakan perbandingan *gain* adaptasi 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, dan 10 terlihat pada tabel 1.

Pada tabel 1. (a) diperlihatkan bahwa grafik penalaan, *rise timenya* 0,7 detik, *settling timenya* 4 detik, dan *overshootnya* sebesar 1,21 p.u. Pada tabel 1. (b) diperlihatkan bahwa *settling time* pada grafik penalaan 4 detik, *rise timenya* 0,8 detik, dan *overshootnya* sebesar 1,21 p.u. Pada tabel 1. (c) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,1 detik, *rise timenya* 0,8 detik, dan *overshootnya* sebesar 1,21 p.u. Pada tabel 1. (d) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,1 detik, *rise timenya* 0,9 detik, dan *overshootnya* sebesar 1,21 p.u. Pada tabel 1. (e) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,1 detik, *rise timenya* 0,95 detik, dan *overshootnya* sebesar 1.21 p.u. Pada tabel 1. (f) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,2 detik, *rise timenya* 1 detik, dan *overshootnya* sebesar 1.21 p.u. Pada tabel 1. (g) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,2 detik, *rise timenya* 1,1 detik, dan *overshootnya* sebesar 1.2 p.u. Pada tabel 1. (h) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,4 detik, *rise timenya* 1,2 detik, dan *overshootnya* sebesar 1.2 p.u. Pada tabel 1. (i) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 4,6 detik, *rise timenya* 1,4 detik, dan *overshootnya* sebesar 1.19 p.u. Pada tabel 1. (j) diperlihatkan bahwa *settling time* grafik dari penalaan 5 detik, *rise timenya* 1,9 detik, dan *overshootnya* sebesar 1.15 p.u.

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik setelah melakukan proses analisis grafik yang merupakan luaran/hasil simulasi *Model Reference Adaptive Control* untuk Pengaturan Proses Tinggi Permukaan *Spherical Tank* adalah:

- a. Sistem kendali adaptif yang menggunakan MRAC dan menerapkan mekanisme MIT rule untuk mengendalikan tinggi permukaan cairan *spherical tank* telah berhasil memperbaiki respon luaran

sistem dengan nilai *settling time* sebesar 4 detik, *rise time* sebesar 0,95 detik dan *over-shoot* sebesar 0,2 p.u.

- b. Variasi nilai gain adaptasi (γ) berpengaruh terhadap perbedaan dari parameter dari respon luarannya (menggunakan simple criteria) yaitu nilai-nilai *settling time*, *rise time*, dan *overshoot*nya. Semakin besar nilai gain adaptasi menyebabkan nilai dari rise time dan settling time makin besar namun mengecil nilai dari overshoot.

5. SARAN

- a. Skripsi ini dapat dilakukan dengan menambahkan detail-detail pengukuran sehingga nilai dari simple criterianya akan lebih terkuantifikasi lagi
- b. Program dapat dimudahkan lagi dengan menerapkan GUI agar penggunaannya lebih mudah dan nilai-nilai parameternya bisa diinputkan dari layar.

DAFTAR PUSTAKA

- Allias, M. H., Muhammad, Z., Mohd Yusoff, Z. dan Fazalul Rahiman, M. H. 2017. Implementation of First Order Model Reference Adaptive Control (MRAC) on Regulating Temperature of Essential Oil Extraction Process. *7th IEEE International Conference on System Engineering and Technology (ICSET 2017)*, 2 - 3 October, Shah Alam, Malaysia.
- Avinashe, K. K., et al. 2014. Model reference adaptive Control for Level Process . *International Conference on Advanced Trends in Engineering and Technology*; hal. 46-48.
- Ioannou dan Sun. 1996. Robust Adaptive Control, American Control Conference
- Joseph, A. and Samsoun Isac, J. 2013. Real Time Implementation of Model Reference Adaptive Control for a Canonical Tank . *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, Vol. 2, No. 1, Hal. 56-72.
- Luyben, W. L. 1996. Process Modelling , Simulation, and Control for Chemical Engineering, 2nd Edition. McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- Munadi, M. A. A. A., Naniwa, T. dan Taniai, T. 2006. Model Reference Adaptive Control for DC Motor Based on Simulink. *6th International Annual Engineering Seminar (InAES)*, Yogyakarta, Indonesia
- Oktafiani, N, A., Astrowulan, Katjuk., dan Rusdhianto Effendie A.K. 2013. PERANCANGAN KONTROLER PID STR (SELF TUNING REGULATOR) DIRECT UNTUK MENGENDALIKAN FREKUENSI PEMBANGKIT LISTRIK MINI HIDRO. Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Oltean, S. E., Dulau, M. dan Duka, A. V. 2015. Model Reference Adaptive Control for Slow Process. A Case Study on Level Process Control. *9th International Conference Interdisciplinary in Engineering*, 8-9 October , Tirgu Mures, Romania. doi: 10.1016/j.protcy.2016.01.131.
- Ramadhan, A. R., Iskandar, R. Z. dan Qurthobi, A. 2019. Implementasi Kontrol PID dengan Metoda Model Refernsi pada Sistem Pengaturan Posisi. *e-Proceeding of Engineering*, Vol.6, No.1, April, Hal. 1134-1140.
- Supriyadi, D. 2017. Skenario Konsekuensi Analisis Pengangkutan Lng Semarang-Yogyakarta Dengan Simulasi Aloha. *Journal of Science and Applicative Technology* Vol.I No.2
- Sylvia, A., Astrowulan, K. dan Iskandar, E. 2014. Perancangan dan Simulasi MRAC PID *Control* untuk Proses Pengendalian Temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 3, No. 1.