MK Topik Khusus Teknik Kendali Lanjut

SISTEM KENDALI ADAPTIF

Oleh :
SULAEMAN
D053201009

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
TAHUN 2021

Contents

List of Figures

1 PENDAHULUAN

Sistem kendali adaptif adalah sistem kendali yang dapat beradaptasi terhadap perubahan lingkungan eksternal maupun internalnya untuk dapat mempertahankan kinerja dan stabilitas sistem. Sistem kendali adaptif merupakan sistem kendali yang mempunyai parameter-parameter kendali yang dapat beradaptasi. Parameter-parameter kendali tersebut beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan disekitarnya, seperti adanya gangguan, serta perubahan karakter internal dari sistem yang dikendalikan. Penggunaan sistem kendali adaptif menunjukkan peningkatan kinerja sistem karena suatu sistem umumnya berada dalam situasi yang mengandung derau dan gangguan serta kondisi internal dan eksternalnya mengandung ketidakpastian.

Sistem kendali adaptif telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang industri pengolahan bahan kimia, sistem penerbangan, serta sistem otomotif. Dalam bidang pengolahan hasil bumi, pengolahan bahan dasar minyak CPO (crude-palm oil). Sistem Kendali Adaptif banyak digunakan dalam industri pengolahan bubur kertas dan kertas (pulp and paper).

Sistem kendali adaptif secara garis besar terdiri atas berbagai tipe, di antaranya kendali adaptif model acuan (model reference adaptive control), kendali adaptif swa-tala (self-tuning adaptive control), penjadwalan gain adaptif (adaptive gain scheduling), dan kendali adaptif fungsi dualitas (dual-adaptif control). Kendali adaptif bisa diartikan sebagai pengendali dengan parameter-parameter yang bisa diatur dan terdapat mekanisme untuk mengatur parameter-parameter tersebut. Diagram blok sistem kendali adaptif tampak pada Gambar berikut:

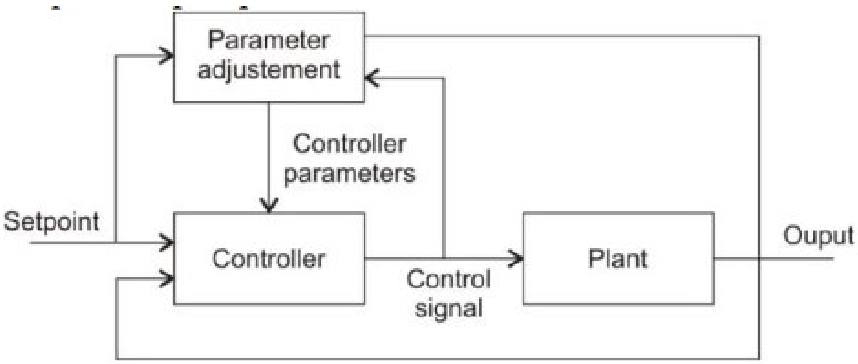

Figure 1: Blok Diagram Sistem Kendali Adaptif

2 Model Reference Adaptive Control (MRAC) atau SKAMA

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

Sistem Kendali Adaptif Model Acuan (SKAMA) ini adalah sistem kendali yang memiliki pengendali dengan parameter yang dapat beradaptasi sesuai mekanisme adaptasi yang telah ditetapkan. Mekanisme ini berjalan seiring dengan adanya upaya untuk memaksakan sebuah pengendalian yang berkinerja lebih buruk (atau bahkan tidak stabil) agar mengikuti perilaku sebuah model acuan yang memiliki kinerja yang lebih baik (dan tentu saja stabil).

Blok diagram skema Model Reference Adaptive Control (MRAC) ditunjukkan pada Gambar 2

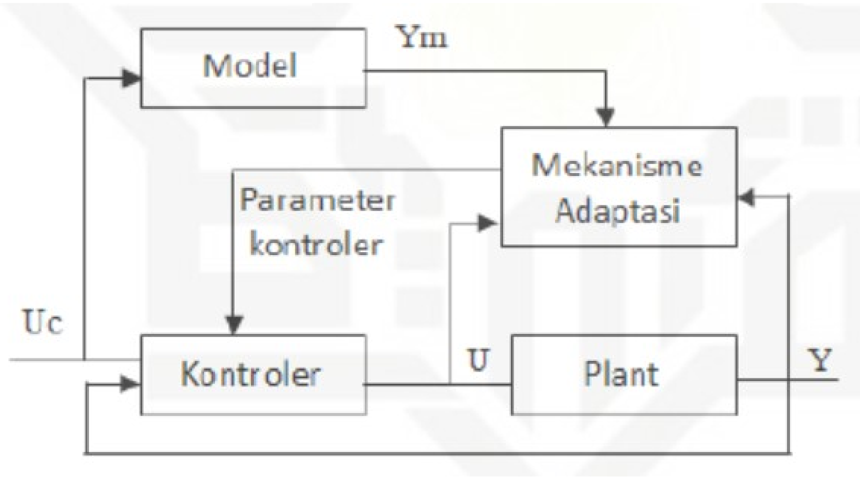

Figure 2: Blok Diagram Skema MRAC

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa skema sistem MRAC terdapat dua loop, Loop pertama adalah loop umpan balik normal antara output (plan) proses dengan pengendali (Kontroler), sedangkan loop kedua adalah loop yang digunakan untuk melakukan mekanisme pengaturan parameter pengendali.

Pada loop kedua ini dilakukan proses untuk update parameter – parameter pengendali maupun parameter plant sesuai dengan skema adaptif yang 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.

2.1 MIT Rule

MIT Rule adalah salah satu metode yang dipakai pada MRAC selain metode kestabilan lyapunov. Metode MIT Rule dipilih karena persamaan matematis yang sedikit dan tidak terlalu rumit. Berikut ini akan dijabarkan metode MIT Rule pada sistem loop tertutup yang mana pengendalinya 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. Errord dinotasikan sebagai e. Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan fungsi kerugian (The loss function, J(θ)) [1].

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

Agar J kecil dilakukan pengubahan parameter pada gradien negatif dari J :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma\frac{\partial J}{\partial\theta} = -\gamma e\frac{\partial e}{\partial\theta} \tag{2}$$

Persamaan di atas ini disebut aturan MIT (MIT Rule). Turunan parsial dθ/dt disebut sebagai turunan kepekaan (*sensitivity derivative*) sistem yang menunjukkan bagaimana error dipengaruhi oleh parameter yang dapat diukur (*adjustable parameters*). Jika diasumsikan parameter berubah lebih lambat dari variabel lain dari sistem, dθ/dt diasumsikan konstan.

Berikut ini adalah desain sistem kontrol adaptif orde satu dengan menggunakan MIT Rule. Proses sistem ditunjukkan oleh persamaan differensial :

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu \tag{3}$$

dimana u adalah variabel kontrol dan y adalah keluaran yang terukur. Diinginkan keluaran respon sistem sesuai dengan keluaran model sistem loop tertutup:

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + bu_c \tag{4}$$

pada perancangan ini digunakan kontroler dengan algoritma penempatan Pole (Pole Placement). Pada algoritma ini terdapat dua parameter yang digunakan untuk mengatur besarnya sinyal kontrol keluaran dari kontroler yaitu k_1 dan k_2. Algoritma penempatan pole ini sacara blok diagram ditunjukkan pada Gambar 3

Persamaan kontroler selanjutnya dapat ditulis sebagi berikut:

$$u(t) = k_1u_c(t) - k_2y(t) \tag{5}$$

Jika kedua parameter tersebut memenuhi persamaan

$$k_1 = \frac{b_m}{b}, k_2 = \frac{a_m - a}{b} \tag{6}$$

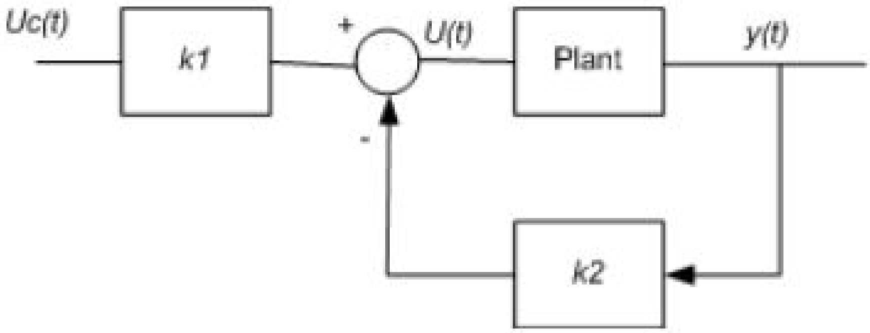

Figure 3: Blok Diagram Algoritma Penempatan Pole

maka hubungan masukan-keluaran sistem dan modelnya akan sama. Error merupakan selisih antara keluaran sistem loop tertutup (y) dengan keluaran model (y_m)

$$e = y - y_m \tag{7}$$

dengan mensubstitusi persamaan (9) ke (7) didapat persamaan :

$$y = \frac{bk_1}{p + a + bk_2} u_c \tag{8}$$

diamana $p = d/dt$ adalah operator diferensial. Turunan kepekaan (*sensitivity derivative*) didapatkan dengan melakukan turunan parsial pada error terhadap parameter k_1 dan parameter k_2 :

$$\frac{\partial e}{\partial k_1} = \frac{b}{p + a + bk_2} u_c \tag{9}$$

$$\frac{\partial e}{\partial k_2} = -\frac{b^2 k_1}{(p + a + bk_2)^2} = -\frac{b}{p + a + bk_2} y \tag{10}$$

formula ini belum dapat digunakan secara langsung karena parameter a dan b tidak diketahui, untuk itu diperlukan pendekatan atau perkiraan 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 (2) dan pendekatan ini, diperoleh persamaan updating parameter-parameter kontroler :

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma(\frac{a_m}{p + a_m} u_c)e \tag{11}$$

$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma(\frac{a_m}{p + a_m} y)e \tag{12}$$

Skema pada Gambar 4 menunjukkan bahwa error dihasilkan dari selisih antara keluaran model referensi (y_m) dan keluaran proses (y). Update parameter kontroler k_2 dilakukan oleh hasil kali antara error(e), gain adaptasi (γ) dan keluaran proses y setelah melalui filter $\frac{a_m}{s+b_m}$, sedangkan parameter k_1 dilakukan update melalui hasil kali error (e), gain adaptasi, dan referensi masukan (u_c) setelah melewati filter $\frac{a_m}{s+b_m}$.

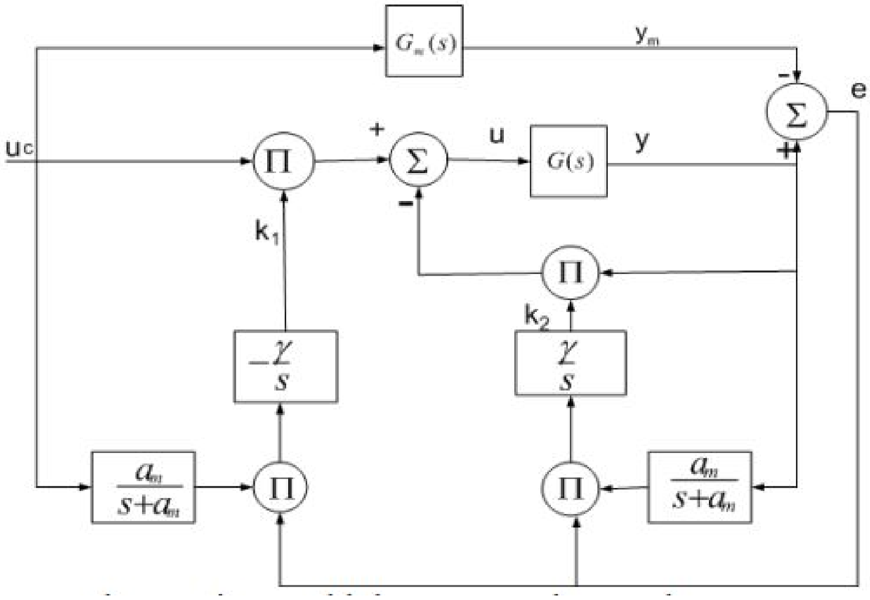

Figure 4: Diagram Blok MRAC orde satu dengan MIT Rule

2.2 Penggunaan Satu Gain

$$e = y - y_m = kGU - K_0GU_c = kG\theta U_c - K_0GU_c \tag{13}$$

Untuk penggunaan satu gain nilai error didefinisikan sebagai berikut : dengan menurunkan error e terhadap θ maka didapatkan

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = KGU_c = k * \frac{y_m}{k_0} = \frac{k}{k_0} y_m \tag{14}$$

Terakhir MIT Rule diterapkan untuk update parameter θ sebagai berikut :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e \tag{15}$$

$$\theta = \int (-\gamma' y_m e) dt \tag{16}$$

Dengan - γ' adalah - γ * k/k0 sehingga perancangan sistem akhirnya menjadi seperti pada gambar 5 berikut ini :

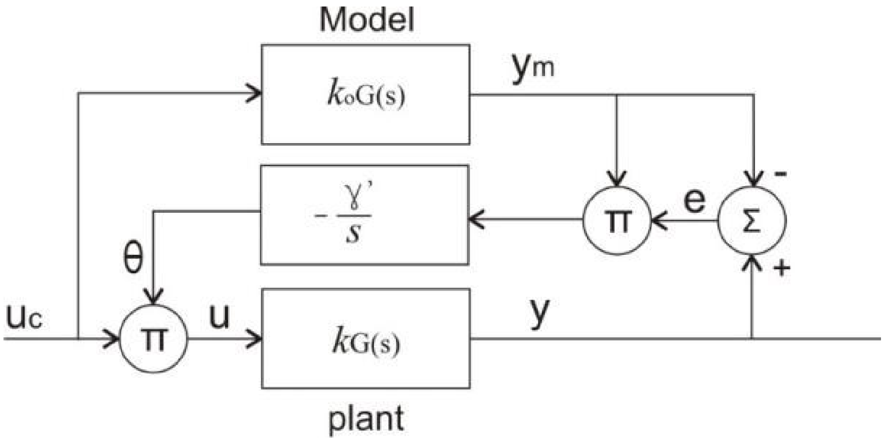

Figure 5: Skema MRAC dengan Metode MIT Rule Satu Gain

2.3 Teori Kestabilan Lyapunov

Pada tahun 1892, A.M. Lyapunov menyajikan dua metode untuk menentukan kestabilan dinamik yang digambarkan oleh persamaan diferensial biasa. Dengan metode kedua dapat ditentukan kestabilan sebuah sistem tanpa menyelesaikan persamaan-persamaan keadaan.
Dalam bagian ini akan lebih banyak dibahas metode kedua Lyapunov. Untuk menganalisis metode kedua lyapunov, Lyapunov memperkenalkan fungsi Lyapunov, suatu khayalan energi, yang disebut sebagai fungsi Lyapunov. Fungsi ini didasarkan pada $x1, x2, ..., xn$ dan t. Fungsi Lyapunov dinyatakan dengan $V(x1, x2, ..., xn, t)$ atau lebih sederhana dengan $V(x, t)$. Jika fungsi Lyapunov tidak mencakup t secara jelas maka kita menyatakannya dengan $V(x1, x2, ..., xn)$ atau $V(x)$. Pada metode kedua Lyapunov perilaku tanda $V(x, t)$ dan bahwa turunan waktunya $V(x, t) = dV(x, t)/dt$ memungkinkan kita mendapatkan informasi tentang kestabilan (keadaan setimbang)[2]
Diketahui sistem dinyatakan oleh persamaan :
$\dot{x} = f(x, t)$ dimana, f(0,t) = 0 untuk semua t Jika fungsi saklar $V(x, t)$ yang mempunyai turunan parsial pertama kontinyu dan memenuhi persyaratan berikut:

1. $V(x, t)$ definit positif
2. $\dot{V}(x, t)$ definit negatif

maka keadaan setimbang pada titik awal adalah stabil seragam secara garis lurus (*uniform asymthotic*). Jika diberikan suatu sistem yang dinyatakan oleh: $\dot{x} = f(x, t)$ dimana, $f(0, t) = 0$ untuk semua t $\geq$ t0 Suatu fungsi skalar V(x,t) yang mempunyai turunan parsial pertama kontinyu dan memenuhi persyaratan berikut:

1. V(x,t) definit positif
2. V (x,t) semi definit negatif
3. V(ϕ(t; x0,t0),t) tidak menjadi nol pada t $\geq$ t0 untuk setiap t0 dan setiap x0 $\neq$ 0, dimana V(ϕ(t;x0,t0)) menyatakan trayektori atau solusi diawali dari x0 dan t0

maka keadaan kesetimbangan dititik awal dari sistem akan stabil seragam sacara garis lurus. Berikut akan disajikan desain sistem kontrol adaptif sistem orde satu dengan menggunakan teori kestabilan Lyapunov. Perancangan algoritma pengaturan parameter sistem adaptif dengan teori kestabilan Lyapunov didahului dengan melakukan penurunan persamaan diferensial dari error, $e = y - ym$. Pada persamaan diferensial ini terdapat parameter-parameter yang dapat diatur. Kemudian hasil ini akan digunakan untuk mencari fungsi Lyapunov dan mekanisme adaptasi sistem yang akan membuat error menjadi nol.

Diinginkan respon sistem mengikuti model sistem seperti pada persamaan (4) dan persamaan sistem proses seperti ditunjukkan pada persamaan (3) Pada perancangan ini digunakan kontroler dengan algoritma penempatan Pole (Pole Placement). Dimana blok diagramnya dapat dilihat pada Gambar 3. Persamaan kontroler sistem akan dihasilkan seperti pada persamaan (5). Dengan mensubstitusi persamaan (3) dan (5) diperoleh nilai parameter k_1 dan k_2 saperti ditunjukkan pada persamaan (6). Error sistem merupakan selisih antara keluaran sistem dengan keluaran model yang ditunjukkan oleh persamaan (7).

Untuk membuat error kecil, dilakukan penurunan persamaan error :

$$\frac{de}{dt} = -a_m e - (bk_2 + a - a_m)y + (bk_1 - b_m)u_c \tag{17}$$

error akan menuju nilai nol ketika nilai parameterparameternya sama seperti pada persamaan (10). Agar nilai parameter-parameter k1 dan k2 sesuai dengan harga yang diinginkan dilakukan perancangan mekanisme pengaturan parameter, diasumsikan bγ ¿ 0 maka fungsi kuadratik lyapunov didapatkan sebagai berikut :

$$V(e, k_1, k_2) = \frac{1}{2}\left(e^2 + \frac{1}{b\gamma}(bk_2 + a - a_m)^2 + \frac{1}{b\gamma}(bk_1 - bm)^2\right) \tag{18}$$

fungsi ini akan nol ketika nilai error nol dan parameter kontroler sesuai dengan harga yang diinginkan. Agar fungsi memenuhi kualifikasi sebagai fungsi Lyapunov, turunan dV/dt harus negatif.

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= e\frac{de}{dt} + \frac{1}{\gamma}(bk_2 + a - a_m)\frac{dk_2}{dt} + \frac{1}{\gamma}(bk_1 - b_m)\frac{dk_1}{dt} \\ &= -a_m e^2 + \frac{1}{\gamma}(bk_2 + a - a_m)\left(\frac{dk_2}{dt} - \gamma ye\right) \\ &= +\frac{1}{\gamma}(bk_1 - b_m)\left(\frac{dk_1}{dt} + \gamma u_c e\right) \end{aligned} \tag{19}$$

dari persamaan tersekbut maka diperoleh persamaan untuk melakukan update parameter :

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma u_c e \tag{20}$$

$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma y e \tag{21}$$

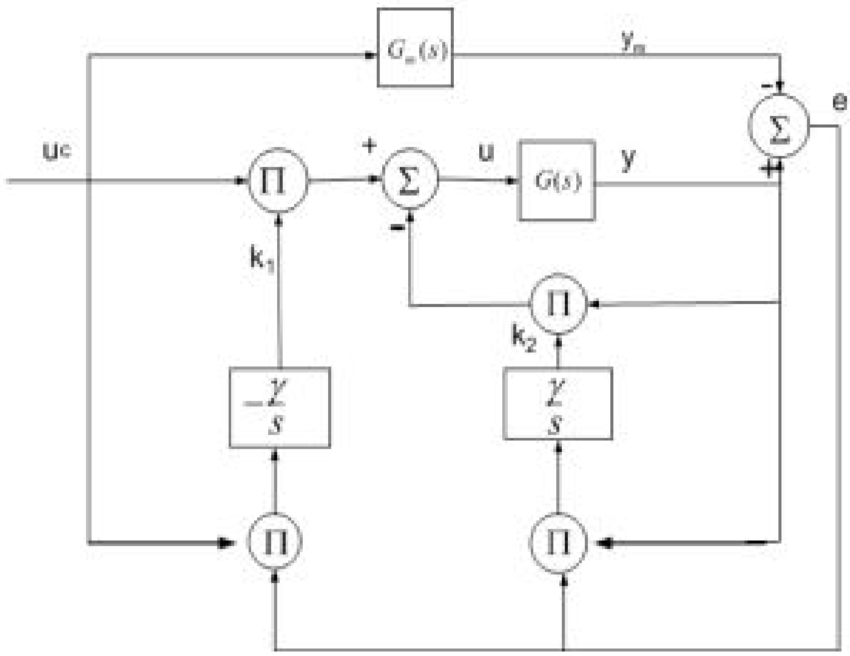

Figure 6: Blok diagram MRAC teori kestabilan Lyapunov untuk orde satu

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 6 error sistem diperoleh dari selisih antara keluaran sistem dengan keluaran model. Bersama sinyal keluaran sistem keluaran sistem, sinyal error digunakan mengupdate parameter k2, sedangkan parameter k1 diupdate melalui sinyal error dan sinyal referensi. Parameter-parameter ini digunakan untuk menentukan sinyal kontrol sistem

3 KESIMPULAN

1. Sistem kendali adaptif merupakan salah satu sistem kendali yang terus berkembang seperti dengan sistem kendali lainnya
2. Model Referensi Adaptif Control merupakan salah satu jenis dari jenis Sistem Kendali Adaptif yang banyak digunakan dan dikombinasikan dengan dengan Sistem kendali lainnya misalnya Sistem kendali PID.

References

[1] K. J. Astrom and B. Wittenmark, *Adaptif Control System.* Addison-Wesley, 1995.

[2] F. Rusmawan, I. Setiawan, and Wahyudi, “Aplikasi kendali adaptif pada sistem pengaturan temperatur cairan dengan tipologi kendali model reference adaptive controller (mrac),” 2011.