

BAB III

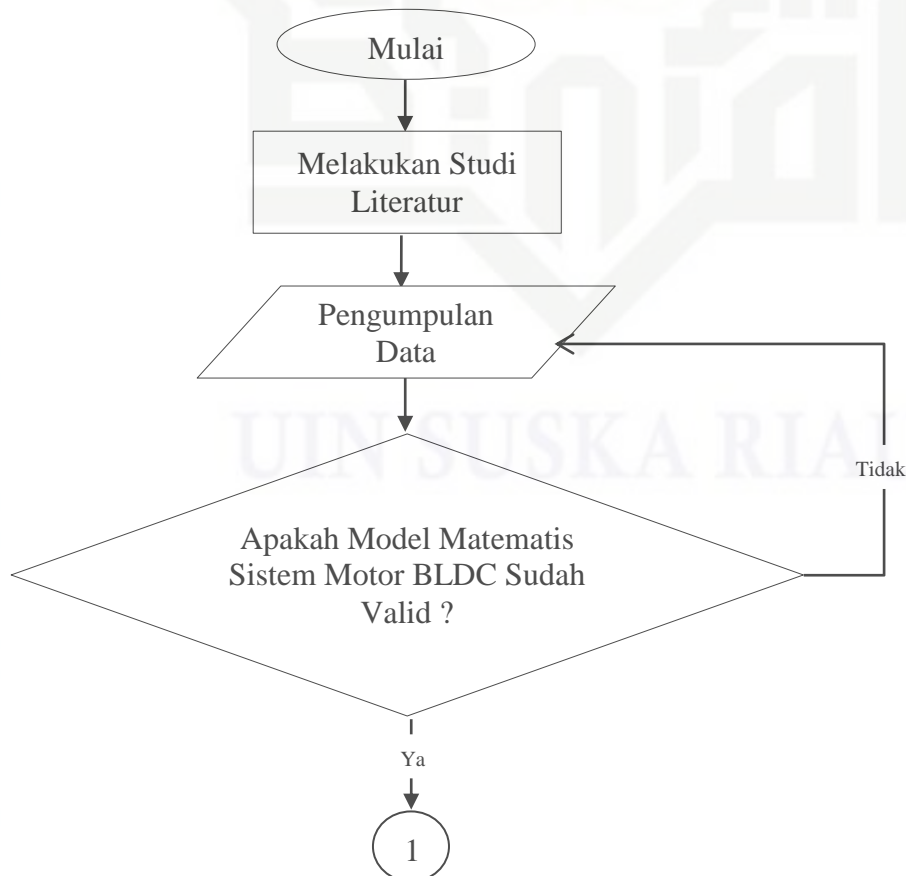
METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang penulis lakukan termasuk dalam penelitian perancangan, karena pada penelitian ini akan melakukan simulasi menggunakan MATLAB serta melakukan analisa. Data akan dianalisa sesuai dengan penelitian terkait dan dasar teori. Dimulai dengan melakukan studi literatur, mengumpulkan data-data terkait penelitian, lalu melakukan perancangan pengendali MRAC dan dilanjutkan perancangan MRAC kombinasi PID pada sistem motor BLDC. Setelah didapatkan hasil perancangan akan dilakukan analisa identifikasi sistem. Hasil dan analisa dari perancangan simulasi ini kemudian dituliskan menjadi laporan penelitian.

3.2. Alur Tahapan Penelitian

Adapun tahap perancangan ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :

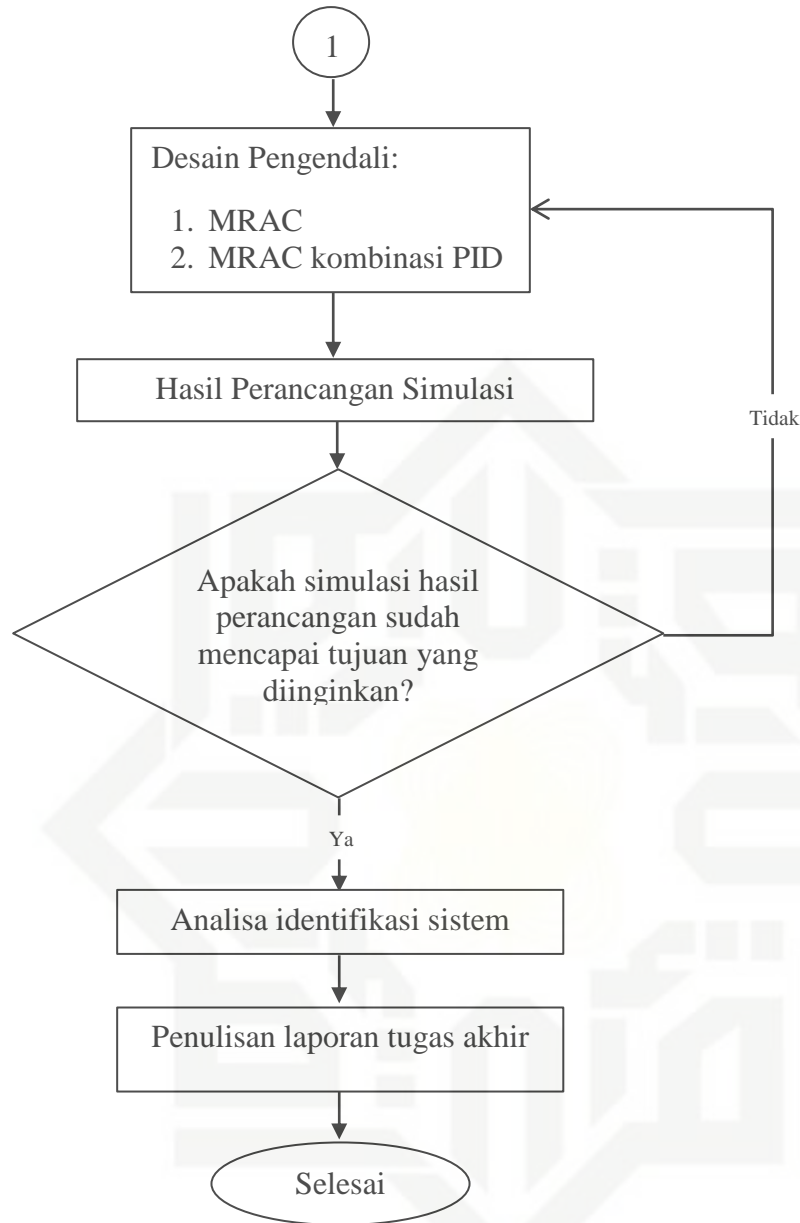


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Pada alur tahapan penelitian ini, dimulai dari memulai dengan mengumpulkan studi literatur dan diakhiri dengan analisa dan kesimpulan, atau dapat di jelaskan sebagai berikut :

1. Studi Literature

Melakukan telaah beberapa pustaka terkait baik dari artikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai pemodelan motor *Brushless* DC, metode kendali pada sebuah motor *Brushless* DC, pengaturan

kecepatan motor *Brushless* DC, pengendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) dan *Proportional Integral Derivative* (PID).

2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data sebelum membuat perancangan yang diperlukan untuk ketahap selanjutnya. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah nilai parameter untuk mengetahui nilai sebagai rujukan penelitian agar tidak melenceng dari nilai yang sudah diteliti dari jurnal maupun skripsi yang sudah ada sebelumnya.

3. Validasi Model Matematis Motor *Brushless* DC

Pemodelan matematis untuk sistem Motor *Brushless* DC disimulasikan secara *open loop* yang dijabarkan pada bab 2 kemudian ditransformasikan kedalam bentuk *simulink* Matlab. Dimana hasil yang didapatkan harus sesuai dengan literatur rujukan. Bila belum sesuai maka akan dilakukan pengecekan kembali data yang telah dikumpulkan.

4. Desain Pengendali MRAC dan MRAC Kombinasi PID

Setelah mendapatkan perancangan pengendali MRAC, selanjutnya adalah mengkombinasikan dengan pengendali PID sehingga mencapai hasil yang diinginkan.

5. Hasil Desain Pengendali

Pengendali yang telah didesain dalam Matlab *Simulink* kemudian disimulasikan untuk dilihat respon *output* nya sehingga bisa dianalisa.

6. Simulasi Hasil Desain Pengendali

Pada tahapan ini menentukan tahapan yang akan dilakukan selanjutnya. Apabila pada tahap sebelumnya telah menghasilkan respon *output* yang diinginkan maka dapat dilanjutkan pada tahapan berikutnya. Namun, bila belum mendapatkan hasil respon *output* yang diinginkan maka perlu dilakukan perancangan kembali pada pengendalinya.

7. Analisa Identifikasi Sistem

Ditahap ini akan dilakukan analisa terhadap hasil keluaran sistem. Identifikasi respon *time* nya sehingga bisa disimpulkan apakah tujuan awal penelitian ini telah tercapai dan masalah teratasi.

3.3 Pengumpulan Data

Untuk memodelkan *plant* motor *Brushless* DC, maka dilakukan pengumpulan data pra-desain seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Parameter Motor BLDC

Data Motor Maxon				
No	Nilai Pada Tegangan Nominal	Simbol	Nilai	Satuan
1	Tegangan nominal		12.0	V
2	Kecepatan tanpa beban		4370	Rpm
3	Kecepatan nominal		2860	Rpm
Characteristics			Nilai	Satuan
1	Terminal resistansi fase ke fase	R	1.20	Ω
2	Terminal induksi fase ke fase	L	0.56×10^{-3}	H
3	Putaran Konstan	K_t	25.5	mNm/A
4	Kecepatan Konstan	K_s	37.4	rpm/V
5	Gradasi kecepatan / putaran	K_θ	17.6	rpm/mNm
6	<i>Mechanical time constant</i>	τ_m	17.1	Ms
7	<i>Rotor inertia</i>	J	92.5	gcm^2
8	Nomor fase		3	

3.4 Pemodelan Matematis Motor *Brushless* DC tipe MAXON EC 4 FLAT 45 MM

Berdasarkan persamaan 2.31 *transfer function* dapat dicari dengan dimasukkan nilai-nilai parameter motor DC pada tabel 3.1 ke dalam model fungsi alih motor DC, maka didapatkan fungsi alih motor *Brushless* DC tipe MAXON EC 4 FLAT 45 MM sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{1}{k_e} \frac{1}{\tau_m \tau_e s^2 + \tau_m s + 1} \quad (3.1)$$

Jadi, untuk menentukan nilai dari K_e , τ_m , dan τ_e perlu dihitung untuk mendapatkan model motor. Dapat dicari menggunakan dari persamaan 2.29:

$$\tau_e = \frac{L}{3.R}$$

$$\tau_e = \frac{0.56 \times 10^{-3}}{3 \times 1.20}$$

$$\tau_e = 155,56 \times 10^{-6} \quad (3.2)$$

Tapi τ_m adalah bagian fungsi dari R, J, K_e dan K_t

Dimana:

$$R = 1.2 \Omega$$

$$J = 92.5 \text{ gcm}^2 = 9.25 \times 10^{-6} \text{ Kgm}^2$$

$$K_t = 25.5 \text{ mNm/A} = 25.5 \times 10^{-3} \text{ Nm/A}$$

$$\tau_m = 17.1 \text{ Ms} = 0.0171 \text{ s}$$

Dari persamaan 2.29 K_e dapat dihitung:

$$\tau_m = \frac{3 \cdot R \cdot J}{K_e \cdot K_t}$$

$$K_e = \frac{3 \cdot R \cdot J}{\tau_m \cdot K_t}$$

$$= \frac{3 \cdot 1.2 \cdot 9.25 \times 10^{-6}}{0.0171 \times 25.5 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.0763 \frac{\text{v-sec}}{\text{rad}} \quad (3.3)$$

Lalu didapat G(s) menjadi:

$$G(s) = \frac{\frac{1}{k_e}}{\tau_m \cdot \tau_e \cdot s^2 + \tau_m \cdot s + 1}$$

$$G(s) = \frac{13,11}{0,0171 \cdot 155,56 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0.0171 \cdot s + 1}$$

$$G(s) = \frac{13,11}{2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0.0171 \cdot s + 1} \quad (3.4)$$

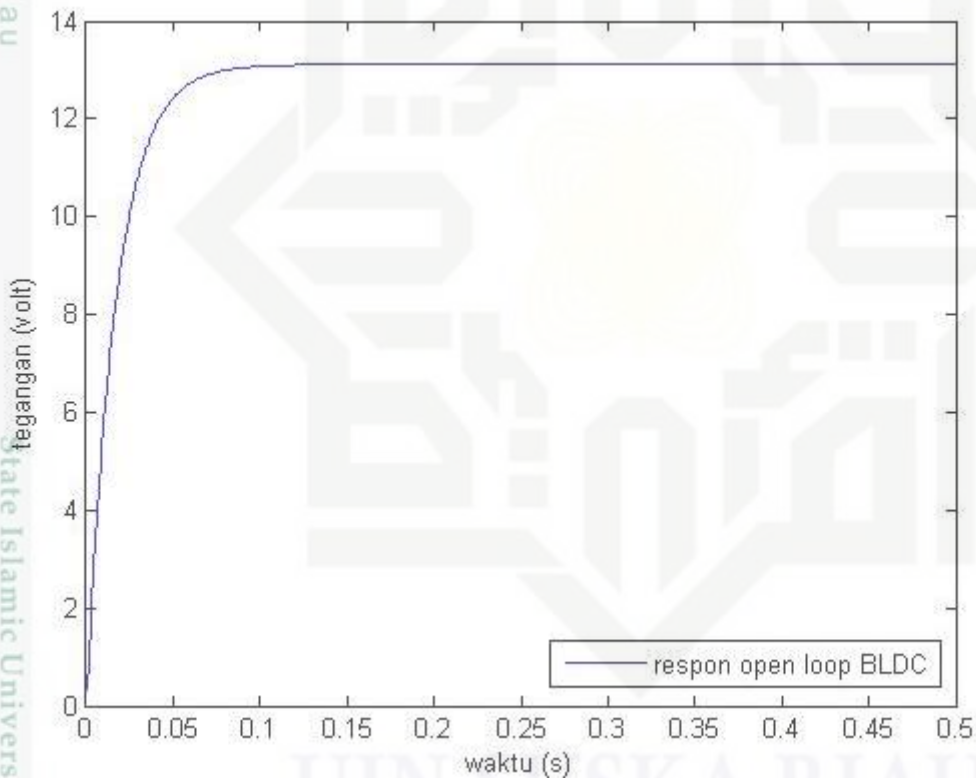
Setelah G(s) didapat seperti persamaan 3.4 maka transfer fungsi untuk Motor BLDC MAXON EC 4 FLAT 45 MM dapat diuji secara simulasi menggunakan *software* matlab *simulink*.

3.5 Pengujian *Plant* Motor *Brushless* DC

Pengujian *plant* motor *Brushless* DC dilakukan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab* dengan *time sampling* 0.05 detik dan set point 1, blok diagram simulasi pengujian dilakukan secara *open loop* pada *plant* motor *Brushless* DC digambarkan seperti pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.2. Blok diagram simulink sistem Motor BLDC



Gambar 3.3. Hasil respon *Open Loop* sistem Motor BLDC

Penggunaan nilai *set point* sebesar 1v dikarenakan penelitian ini merujuk dari penelitian yang dilakukan oleh Oludayo John Oguntoyinho yang mana pada penelitiannya variabel kecepatan yang digunakan diukur dalam bentuk tegangan. Sehingga pada penelitian ini variabel yang digunakan mengikuti variabel penelitain sebelumnya, maka nilai *set point* yaitu 1v. Penggunaan nilai *set point* 1v dikarenakan penelitian ini hanya berskala laboratorium bukan industri pabrik.

Gambar 3.3 merupakan hasil respon dari sistem Motor BLDC secara *open loop* yang disimulasikan menggunakan *Matlab* dan hasil respon keluaran sistem menunjukkan bahwa hasil respon sistem tidak sampai ke *set point*. Sehingga berdasarkan pengujian simulasi tanpa pengendali maka sistem Motor BLDC perlu dipasangkan pengendali yang dapat mencapai *set point* dan menstabilkan sistem tersebut.

3.6 Perancangan Pengendali MRAC dengan Metode *MIT Rule*

MIT Rule akan digunakan untuk membentuk mekanisme update parameter adaptif pada pengendali. Selanjutnya, persamaan untuk memperbarui θ disebut sebagai fungsi turunan sensitivitas.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (3.5)$$

Kemudian diasumsikan bahwa pengendali memiliki umpan balik adaptif (θ_1) dan umpan balik adaptif (θ_2). Selanjutnya adalah menurunkan umpan balik adaptif (θ_1) dan umpan balik adaptif (θ_2) untuk mendapatkan y_{plant} . Namun, input u dapat ditulis ulang menggunakan kedua umpan balik, umpan balik ini bisa digunakan untuk mendapatkan persamaan y_{plant} .

$$u = \theta_1 u_c - \theta_2 y_{plant} \quad (3.6)$$

$$e = y_{plant} - y_{model} = G_p u - G_m u_c \quad (3.7)$$

$$y_{plant} = G_p u = \left(\frac{13,11}{2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1} \right) (\theta_1 u_c - \theta_2 y_{plant}) \quad (3.8)$$

$$y_{plant} = \left(\frac{13,11\theta_1}{2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1 + 13,11\theta_2} \right) u_c \quad (3.9)$$

Selanjutnya adalah mencari nilai *error* dengan mengambil turunan parsial *error* dengan nilai (θ_1) dan (θ_2). Nilai u_c tidak termasuk parameter, oleh karena itu tidak penting saat mengevaluasi turunannya.

$$e = \left(\frac{13,11\theta_1}{2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1 + 13,11\theta_2} \right) u_c - G_m u_c \quad (3.10)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \left(\frac{13,11}{2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1 + 13,11\theta_2} \right) u_c \quad (3.11)$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_2} = \frac{13,11^2 \theta_1}{(2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1 + 13,11 \theta_2)^2} u_c \quad (3.12)$$

$$= -\frac{13,11}{2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1 + 13,11 \theta_2} y_{plant} \quad (3.13)$$

Turunan sensitivitas yang diperoleh mengandung parameter dari *plant*. Jika modelnya mendekati *plant* aktual, karakteristik model dapat disesuaikan dengan karakteristik *plant*, sehingga memberikan turunan sensitivitas sebagai berikut:

$$2,66 \times 10^{-6} \cdot s^2 + 0,0171 \cdot s + 1 + 13,11 \theta_2 \approx s^2 + a_{1m}s + a_{0m}$$

Mengambil turunan dari umpan balik MRAC, maka didapatkan :

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} u_c \quad (3.14)$$

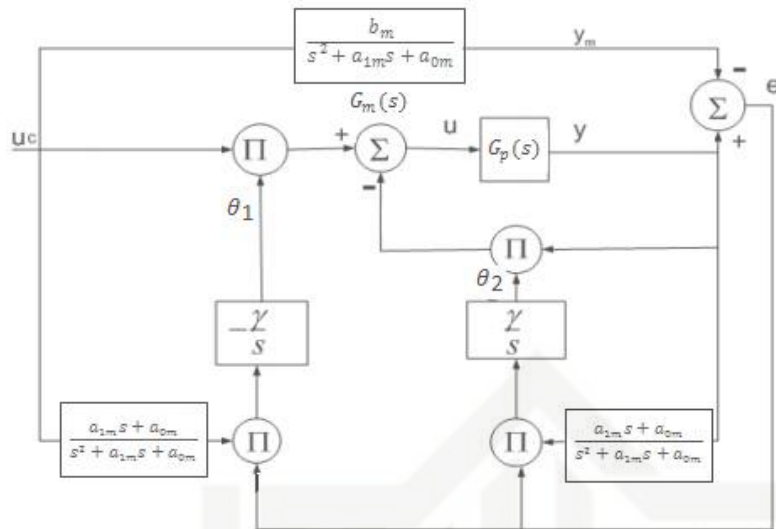
$$\frac{\delta e}{\delta \theta_2} = -\frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} y_{plant} \quad (3.15)$$

Selanjutnya adalah menerapkan MIT Rule, aturan *update* parameter untuk masing-masing θ diturunkan. Sehingga untuk *filter* nilai *error* dan γ menjadi :

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_1} e = -\gamma \left(\frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} u_c \right) e \quad (3.16)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = \gamma \frac{\delta e}{\delta \theta_2} e = \gamma \left(\frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} y_{plant} \right) e \quad (3.17)$$

Sehingga berdasarkan persamaan matematis yang sudah diturunkan, didapatkan skema MRAC sebagai berikut:



Gambar 3.4 Skema MRAC dengan Metode MIT Rule

Model referensi yang digunakan mengikuti persamaan :

$$G_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.18)$$

Perancangan model referensi adalah dengan $\zeta = 1$, dan $t_s = 0.03$, didapatkan $\omega_n = 133.33$ yang didasarkan pada kriteria 2% untuk nilai *settling time*, maka fungsi alih model referensinya menjadi :

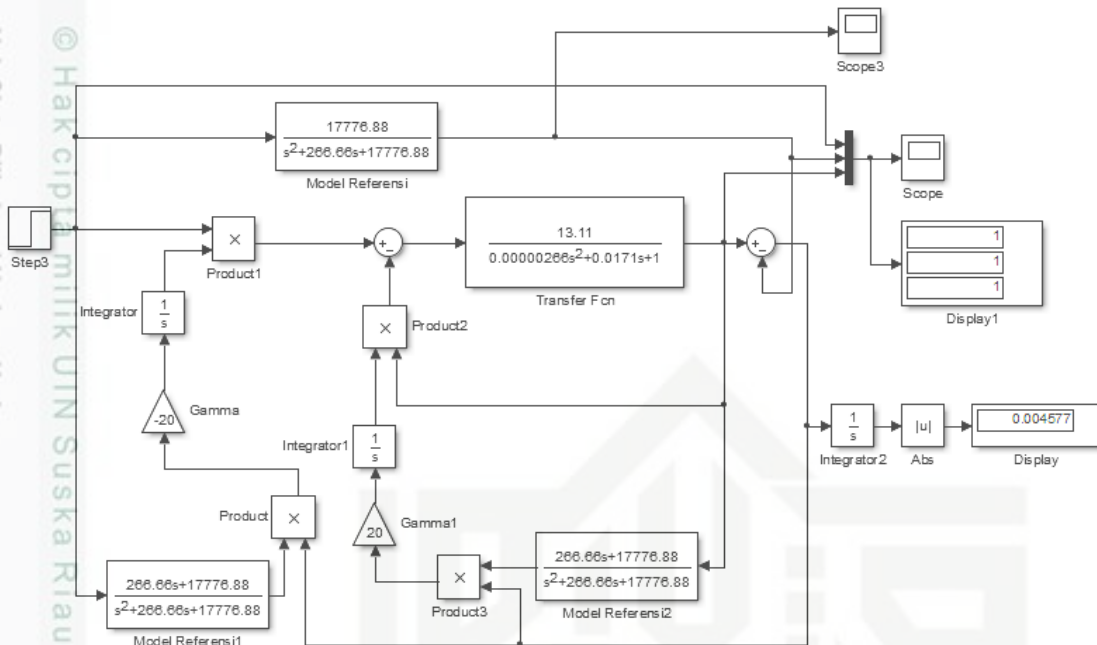
$$G_m(s) = \frac{17776.88}{s^2 + 266.66s + 17776.88} \quad (3.19)$$

Dengan nilai fungsi alih model referensi berdasarkan skema MRAC pada gambar 3.4 adalah $b_m / (s^2 + a_{1m}s + a_{0m})$, setelah di substitusikan ke persamaan (3.15) maka nilai b_m akan sama dengan nilai a_{0m} . Selanjutnya adalah nilai filter θ_1 dan θ_2 dibuat menyerupai fungsi alih model referensi, karena filter harus menyaring keluaran y_{plant} agar mengikuti keluaran model referensi, sehingga nilai filter yang diberikan menjadi :

$$\frac{a_{1m}s + a_{0m}}{s^2 + a_{1m}s + a_{0m}} = \frac{17776.88}{s^2 + 266.66s + 17776.88} \quad (3.20)$$

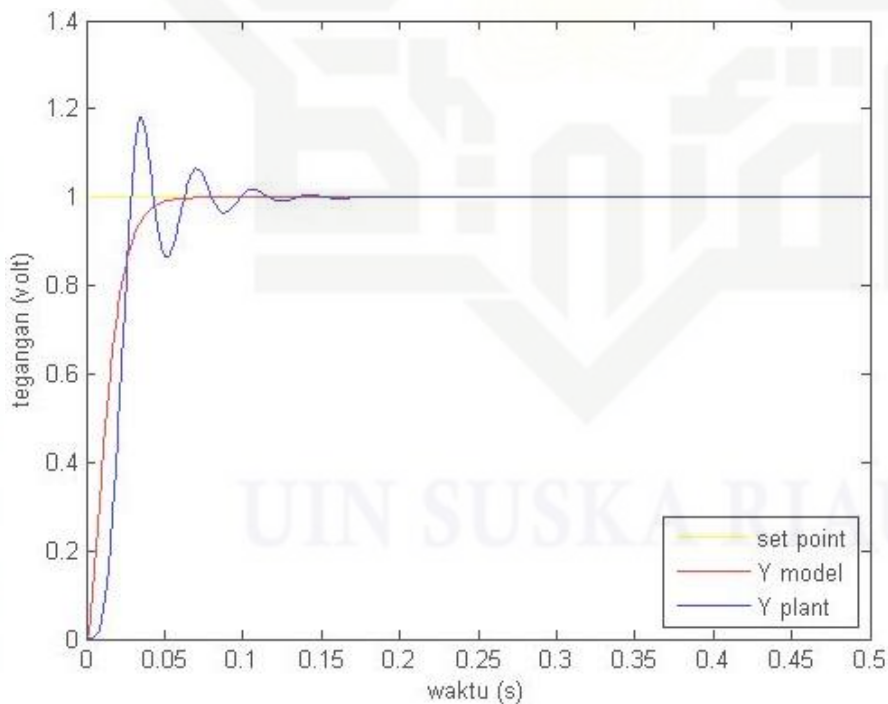
Berdasarkan persamaan matematis yang sudah diturunkan, maka kita dapat mendisain MRAC pada perangkat lunak matlab dengan sistem Motor BLDC. Hasil desain diperlihatkan seperti gambar berikut :

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.5. Desain Pengendali MRAC pada Sistem Motor BLDC

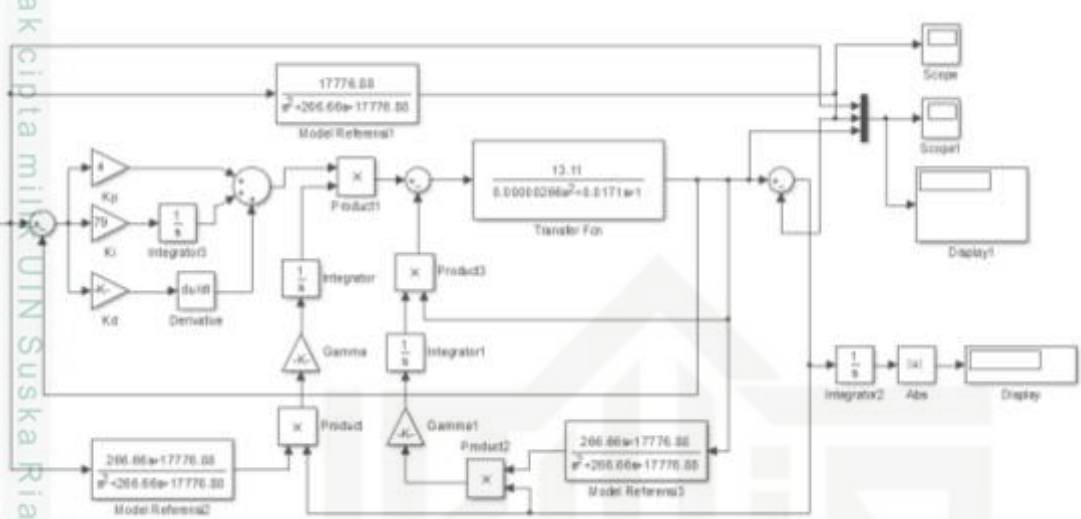
Hasil respon pengendali MRAC yang sudah dirancang diperlihatkan gambar dibawah ini :



Gambar 3.6 Hasil Respon MRAC pada Sistem Motor BLDC

Dilihat dari gambar 3.6 hasil respon masih memperlihatkan adanya kekurangan, yaitu dengan adanya osilasi dari keluaran *plant* yang belum bisa mengikuti *Y model*.

Sehingga, untuk penelitian selanjutnya dibutuhkan pengendali PID untuk memperbaiki respon MRAC yang masih mengalami kekurangan. Berikut desain MRAC kombinasi PID:



Gambar 3.7 Desain Pengendali MRAC kombinasi PID pada Sistem Motor BLDC

Tabel 3.2 Tuning parameter nilai Kp, Kd dan Ki dengan metode heuristik

No.	Kp	Ki	Kd
1.	0,5	-	-
2.	0,1	-	-
3.	0,5	1	-
4.	1	-	-
5.	1	0,5	-
6.	1	1	-
7.	1,5	2	-
8.	2	4	-
9.	3	7	0,01
10.	3	20	0,01
11.	3	50	0,01
12.	4	60	0,005
13.	4	79	0,005

Dengan menggunakan tuning pada PID ini berguna untuk menentukan nilai parameter yang bagus digunakan untuk kombinasi dengan MRAC menggunakan cara heuristik untuk setiap masukan nilai pada tuning ini sehingga didapatkan hasil yang bagus pada tuning ke 13.