

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA

Bab 4 berisikan simulasi serta analisa dari hasil perancangan dan simulasi pada bab sebelumnya. Hasil perancangan dan simulasi dibagi menjadi empat sub bab dengan menggunakan tiga motor induksi tiga fasa dengan daya yang berbeda.

4.1 Prosedur Simulasi

Pengujian dilakukan dengan menggunakan motor induksi tiga fasa yang memiliki daya kecil (1 HP), daya sedang (10 HP) dan daya besar (50 HP), dengan nilai parameter sebagai berikut :

Tabel 4.1 Parameter Motor 1 HP

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| Daya | 1 HP |
| Jumlah Pasang Kutub (N_p) | 2 |
| Resistansi Stator (R_s) | 2.76 ohm |
| Resistansi Rotor (R_r) | 2.90 ohm |
| Induktansi Stator (L_s) | 0.2349 H |
| Induktansi Rotor (L_r) | 0.2349 H |
| Induktansi magnetik (L_m) | 0.2279 H |
| Momen Inersia (J) | 0.0436 kgm ² |
| Koeffisien Gesekan (f) | 0.0005 Nms |

Tabel 4.2 Parameter Motor 10 HP

| | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Daya | 10 HP |
| Jumlah Pasang Kutub (N_p) | 2 |
| Resistansi Stator (R_s) | 0.6 ohm |
| Resistansi Rotor (R_r) | 0.4 ohm |
| Induktansi Stator (L_s) | 0.123 H |
| Induktansi Rotor (L_r) | 0.1274 H |
| Induktansi magnetik (L_m) | 0.12 H |
| Momen Inersia (J) | 0.05 kgm ² |
| Koeffisien Gesekan (f) | 0.005 Nms |

Tabel 4.3 Parameter Motor 50 HP

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Daya | 50 HP |
| Jumlah Pasang Kutub (N_p) | 2 |
| Resistansi Stator (R_s) | 0.087ohm |
| Resistansi Rotor (R_r) | 0.228ohm |
| Induktansi Stator (L_s) | 0.0355H |
| Induktansi Rotor (L_r) | 0.0355H |
| Induktansi magnetik (L_m) | 0.0347H |
| Momen Inersia (J) | 1.622 kgm ² |
| Koeffisien Gesekan (f) | 0.1 Nms |

Pada simulasi ini dilakukan pengujian dengan dua tahap yaitu :

A. Simulasi Perubahan Kecepatan dengan Beban Nol

Dalam simulasi ini diberikan masukkan kecepatan awal pada saat $t=0$ sebesar 100 rad/detik kemudian pada $t= 10$ detik dinaikkan kecepatannya hingga mencapai 140 rad/detik mendekati kecepatan nominal motor. Torsi beban tetap dibuat nol.

B. Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban

Pada simulasi ini diberikan masukkan kecepatan awal pada saat $t =0$ sebesar 100 rad/detik kemudian pada $t =10$ detik dinaikkan kecepatannya hingga mencapai 140 rad/detik, mendekati kecepatan nominal motor. Pada saat $t = 0$ detik, diberikan beban seimbang sesuai karakteristik motor, dan pada saat $t =14$ detik, beban dinaikkan dengan nilai yang seimbang dengan torsi maksimum beban motor.

4.2 Simulasi self tuning PI untuk motor induksi tiga fasa

Untuk menguji hasil rancangan self tuning PI pada kontrol kecepatan motor induksi tiga fasa dilakukan simulasi dengan program SIMULINK MATLAB dengan variasi beban dan kecepatan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan motor induksi tiga fasa yang memiliki daya kecil (1 HP), daya

Pada blok diagram sistem terdapat S-function MATLAB/SIMULINK yang ditulis dalam program C yaitu:

- S-function **RFOC** sebagai pembangkit sinyal ke PWM .
- S-function **IM** sebagai motor induksi tiga fasa kerangka acu stator. .
- S-function **speed** sebagai pengendali kecepatan Proporsional Integrator

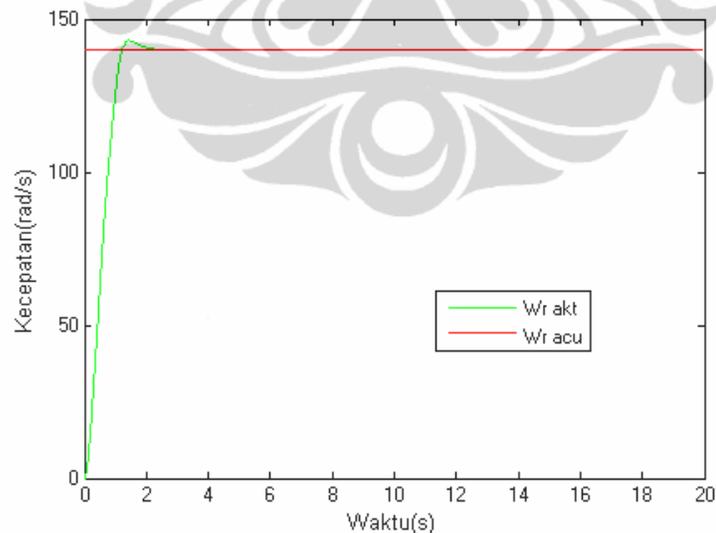
Sebagai pengendali kecepatan digunakan blok SIMULINK *adaptif Fuzzy*. Masukan gain proporsional dan integral masuk pada blok S-function *speed* melalui menalaan dari adaptif fuzzy sehingga sistem diatas dapat diuji.

4.2.1 Status Perubahan Kecepatan dengan beban nol

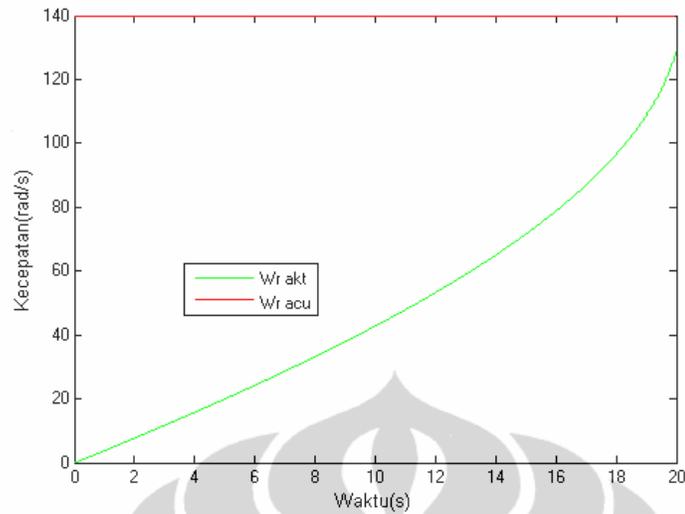
Dari simulasi akan dilihat kecepatan rotor (ω_r), pada simulasi ini akan dilihat blok adaptif fuzzy dapat menala gain PI ketika terjadi perubahan kecepatan dan dibandingkan dengan tidak menggunakan adaptif fuzzy dengan kondisi yang sama. Simulasi dilakukan tanpa blok S-function observer, tujuannya untuk melihat kinerja dari penalaan Adaptif fuzzy terhadap nilai proporsional dan integral.

A Simulasi dengan Motor 1 HP

Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu $K_p = 0.375$ dan $K_i = 0.95$.



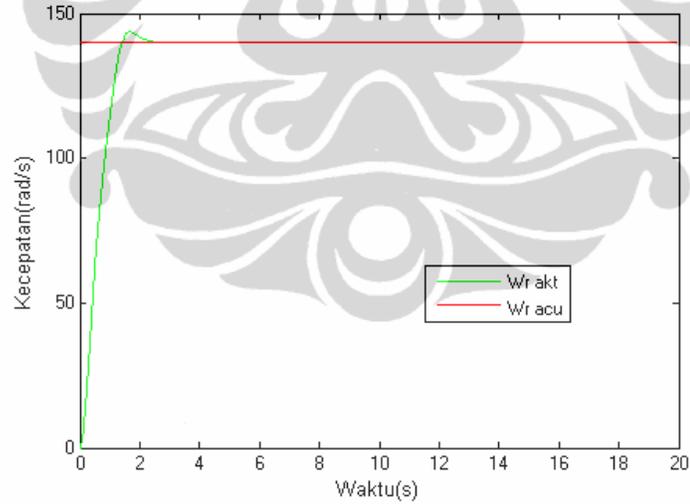
Gambar 4.3 Kecepatan motor 1 HP pada beban nol dengan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS



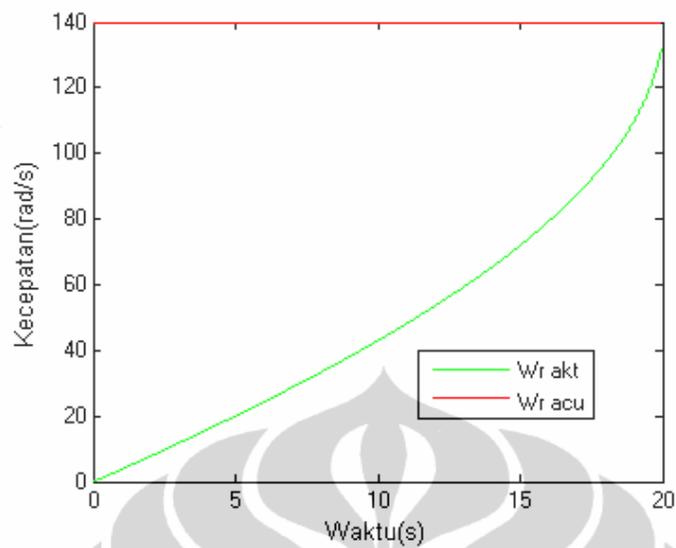
Gambar 4.4 Kecepatan motor 1 HP pada beban nol tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS

B Simulasi dengan Motor 10 HP

Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu $K_p = 0.375$ dan $K_i = 0.95$.



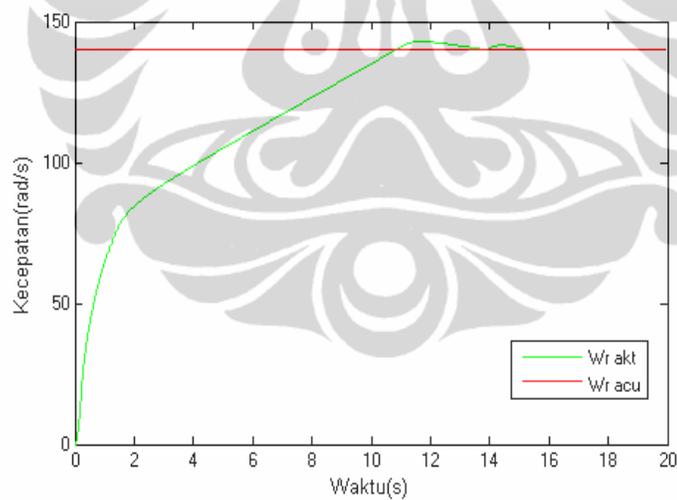
Gambar 4.5 Kecepatan motor 10 HP pada beban nol dengan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS



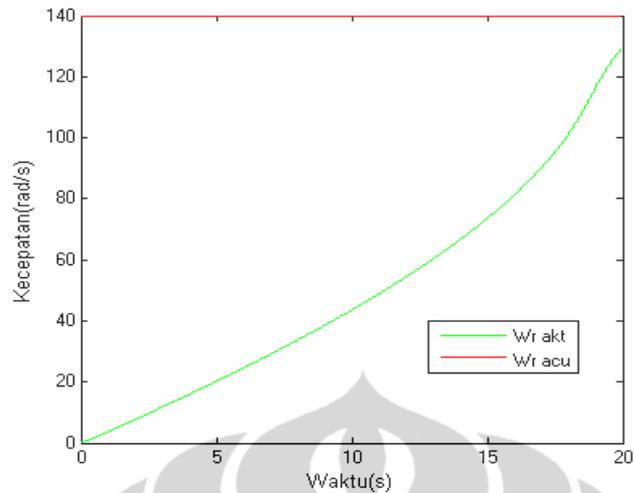
Gambar 4.6 Kecepatan motor 10 HP pada beban nol tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS

C Simulasi dengan Motor 50 HP

Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu $K_p = 0.375$ dan $K_i = 0.95$.



Gambar 4.7 Kecepatan motor 50 HP pada beban nol dengan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS



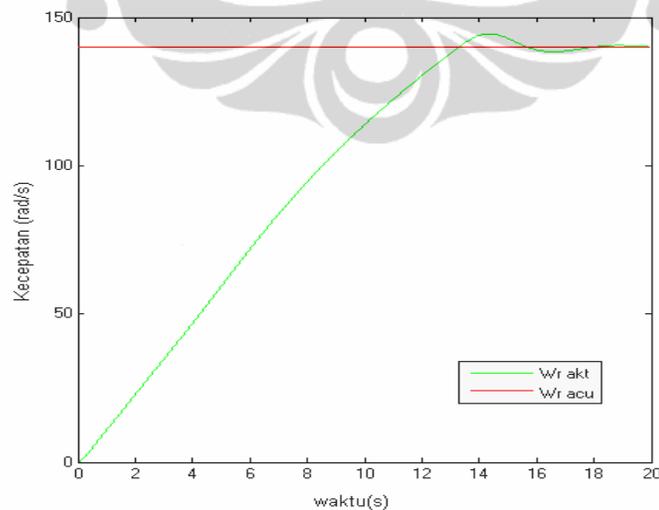
Gambar 4.8 Kecepatan motor 50 HP pada beban nol tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS

4.2.2 Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban

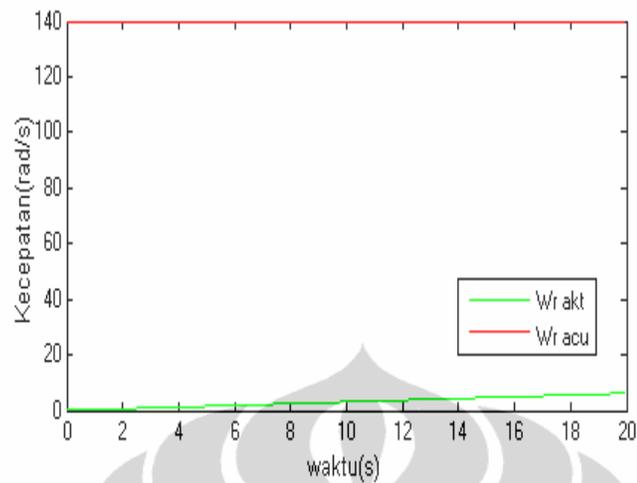
Dari simulasi akan dilihat kecepatan rotor (ω_r), pada simulasi ini akan dilihat blok adaptif fuzzy dapat menala gain PI ketika terjadi perubahan kecepatan dan dibandingkan dengan tidak menggunakan adaptif fuzzy dengan kondisi yang sama. dengan beban maksimum 7 Nm

A Simulasi dengan Motor 1 HP

Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu $K_p = 0.375$ dan $K_i = 0.95$.



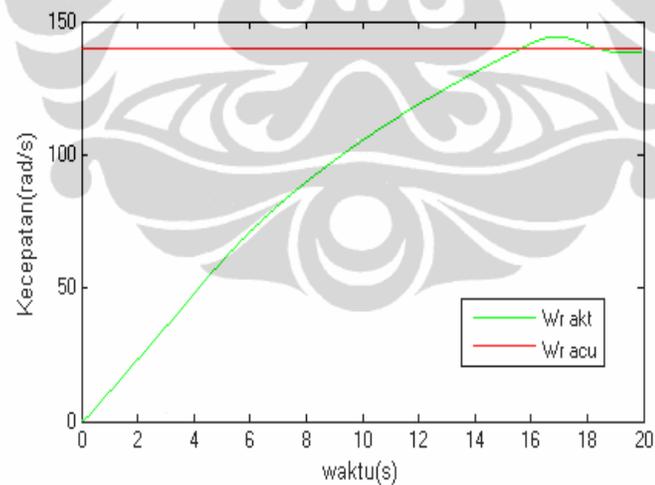
Gambar 4.9 Kecepatan motor 1 HP dengan beban menggunakan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS



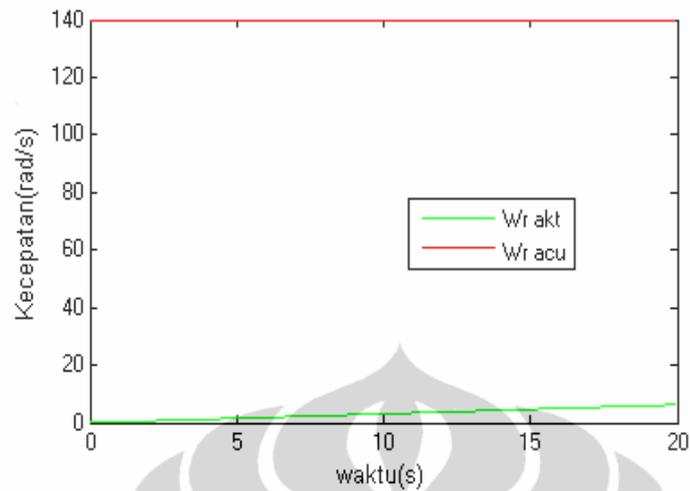
Gambar 4.10 Kecepatan motor 1 HP dengan beban tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS

B Simulasi dengan Motor 10 HP

Nilai konstanta pengendali kecepataannya yaitu $K_p = 0.375$ dan $K_i = 0.95$.



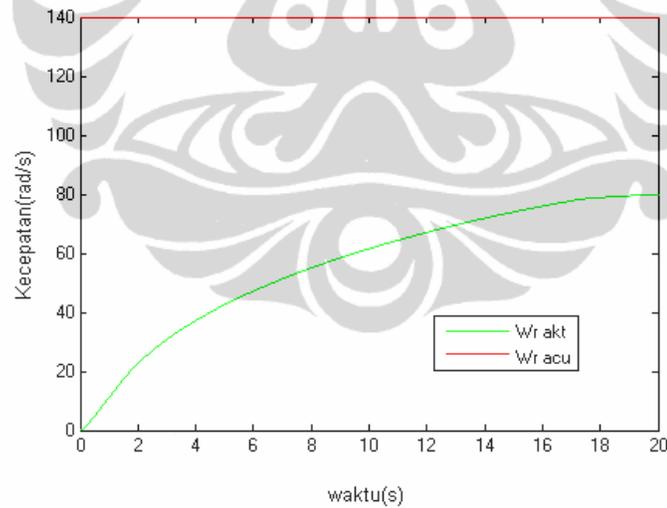
Gambar 4.11 Kecepatan motor 10 HP dengan beban menggunakan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS



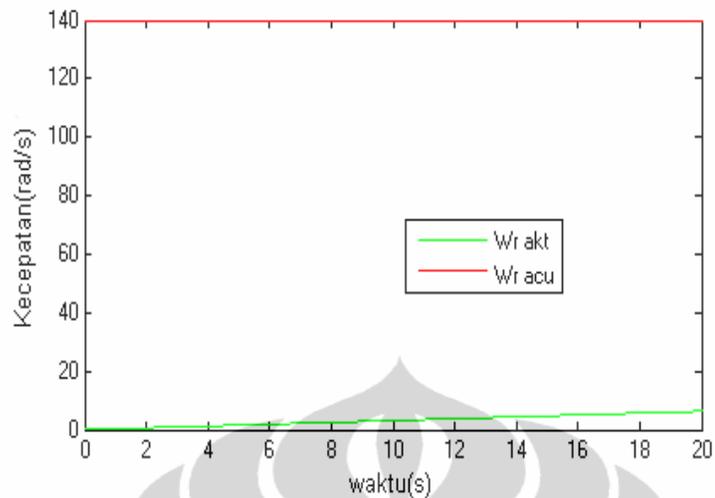
Gambar 4.12 Kecepatan motor 10 HP dengan beban tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS

C Simulasi dengan Motor 50 HP

Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu $K_p = 0.375$ dan $K_i = 0.95$.



Gambar 4.13 Kecepatan motor 50 HP dengan beban menggunakan adaptif fuzzy tanpa observer MRAS



Gambar 4.14 Kecepatan motor 50 HP dengan beban tanpa adaptif fuzzy tanpa observer MRAS

Dari hasil simulasi uji kinerja dari adaptif fuzzy pada gambar 4.3 – 4.14, terlihat bahwa hasil respon menggunakan adaptif fuzzy dengan nilai konstanta kontrol kecepatan motor gain k_p dan k_i yang sama dengan daya motor yang berbeda menunjukkan performansi yang baik, dapat dilihat kecepatan motor dapat mencapai waktu mantap walaupun dengan waktu yang berbeda, tetapi bila sistem diberikan beban pada daya 50 HP, sampai pada $t = 20$ detik, kecepatan motor belum dapat mencapai waktu mantap, ini dikarenakan proses pembelajaran adaptif fuzzy pada s-function memerlukan waktu yang lama. Berikut tabel hasil respon dari adaptif fuzzy dalam menala gain P dan I, dapat dilihat waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk respon mencapai waktu mantap.

Tabel 4.4 Respon Kecepatan motor pada Adaptif fuzzy

| Daya | Waktu respon sistem mencapai steady state | | | |
|-------|---|-----------------|---------------------|-----------------|
| | Adaptif fuzzy | | tanpa Adaptif fuzzy | |
| | beban nol | perubahan beban | beban nol | perubahan beban |
| 1 HP | 2 | non | 15 | non |
| 10 HP | 2 | non | 18 | non |
| 50 HP | 15 | non | > 20 | non |

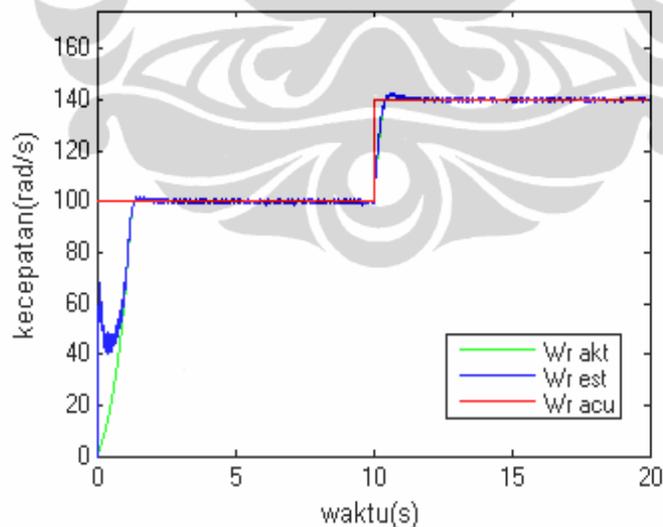
yang dikeluarkan oleh sumber tegangan inverter (seperti yang telah dibahas pada bab 2). Arus stator keluaran dari motor dan nilai tegangan dari inverter akan diumpanbalikkan ke blok *observer MRAS*. Maka dalam implementasi sistem sebenarnya diperlukan sensor arus. Umpan balik tersebut memerlukan memori sebelum masuk ke blok *observer MRAS*. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi *algebraic loop* karena *algebraic loop* terjadi apabila masukan suatu blok dipengaruhi oleh keluaran pada blok yang secara tidak langsung ikut mempengaruhi karena menjadi masukan blok lainnya yang berhubungan dengan blok tersebut. Waktu sampling yang digunakan pada sistem yaitu 10^{-4} s.

4.3.1 Status Perubahan Kecepatan dengan beban nol.

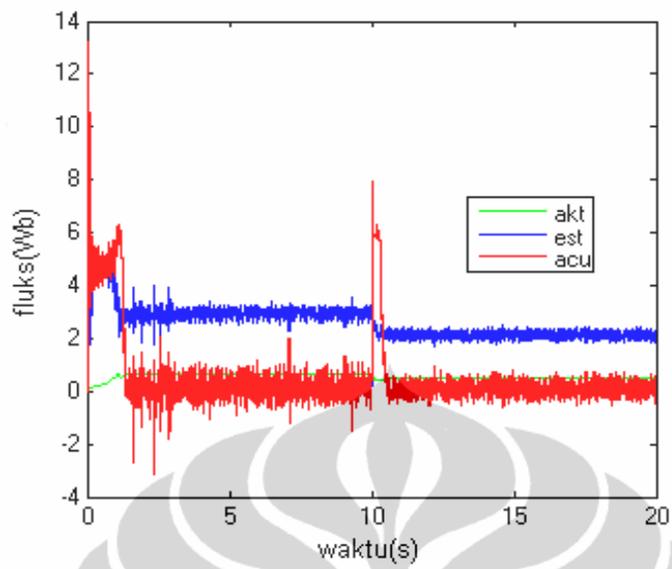
Dari simulasi akan dilihat kecepatan rotor (ω_r), fluks sumbu d (ψ_d), fluks sumbu q (ψ_q) dan Torsi (T_e).

A Simulasi dengan Motor 1 HP

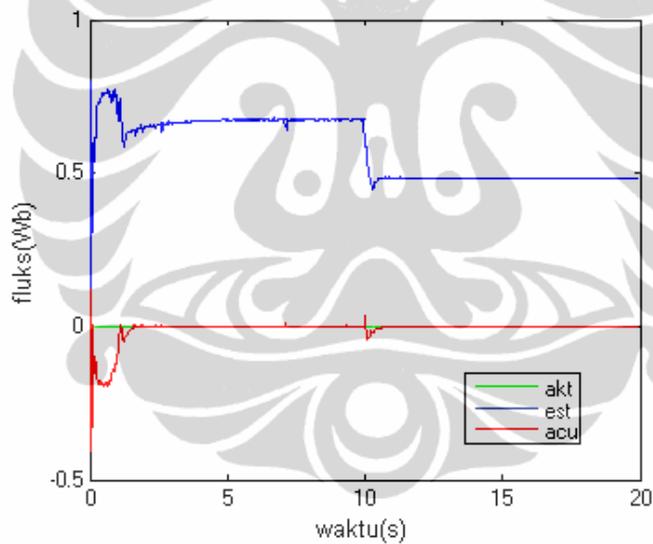
konstanta K gain observer = 0.75, nilai Kp speed observer = 7, nilai Ki speed observer = 680. Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu Kp = 0.375 dan Ki = 0.95.



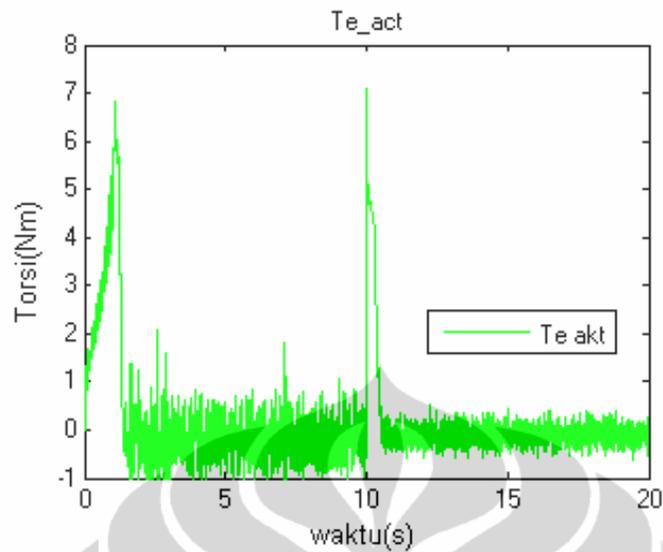
Gambar 4.16 Kecepatan motor 1 HP dengan observer MRAS



Gambar 4.17 Fluks sumbu d motor 1 HP dengan observer MRAS



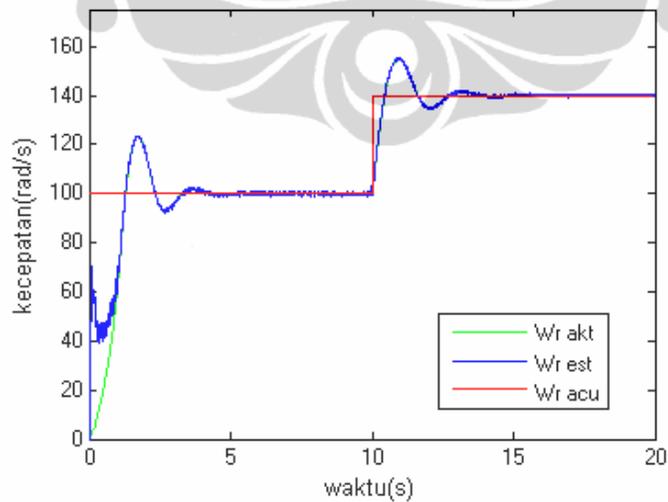
Gambar 4.18 Fluks sumbu q motor 1 HP dengan observer MRAS



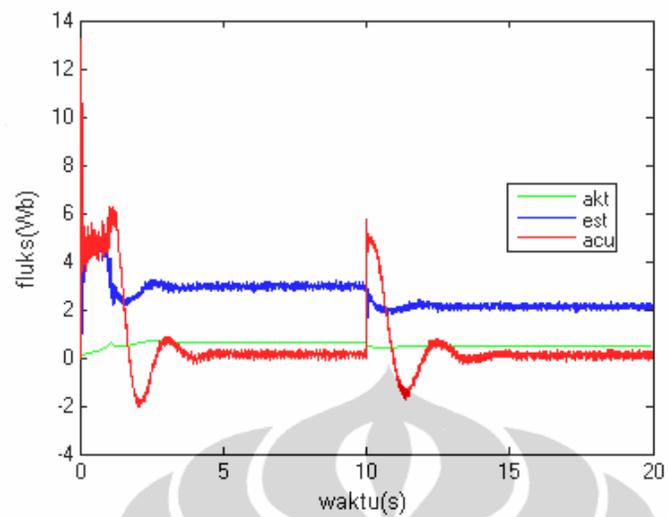
Gambar 4.19 Fluks sumbu q motor 1 HP dengan observer MRAS

B Simulasi dengan Motor 10 HP

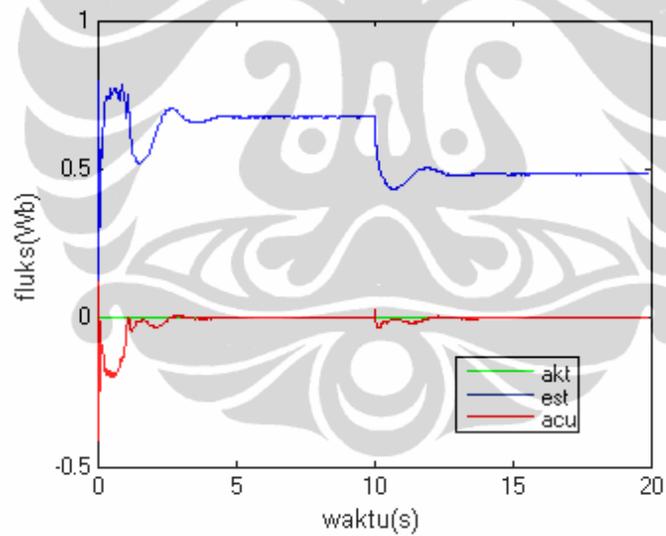
Konstanta K gain observer = 1.01, nilai Kp speed observer = 0.8, nilai Ki speed observer = 60. Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu Kp = 0.1 dan Ki = 0.42.



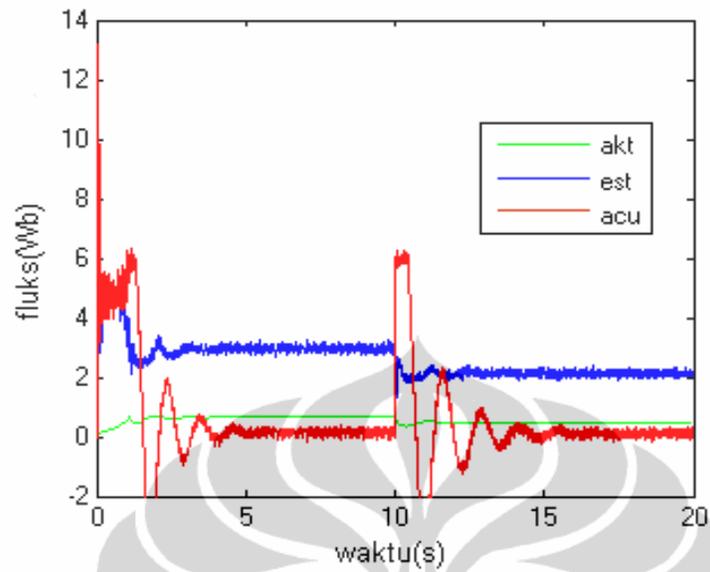
Gambar 4.20 Kecepatan motor 10 HP dengan observer MRAS



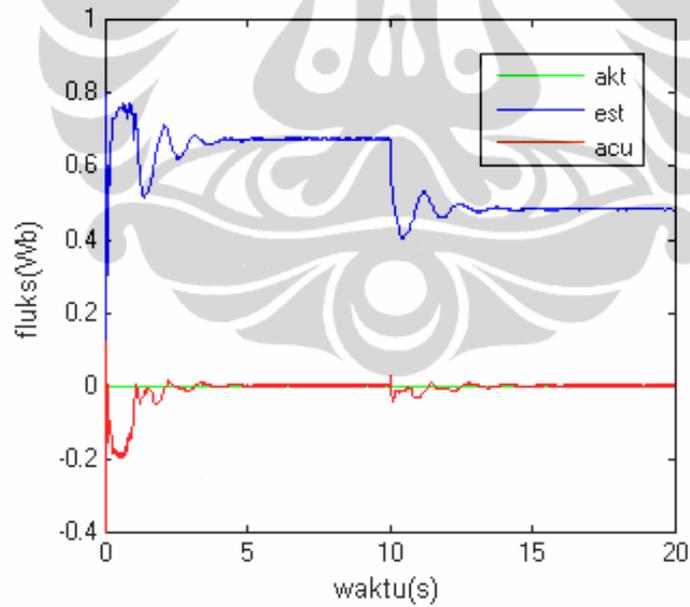
Gambar 4.21 Fluks sumbu d motor 10 HP dengan observer MRAS



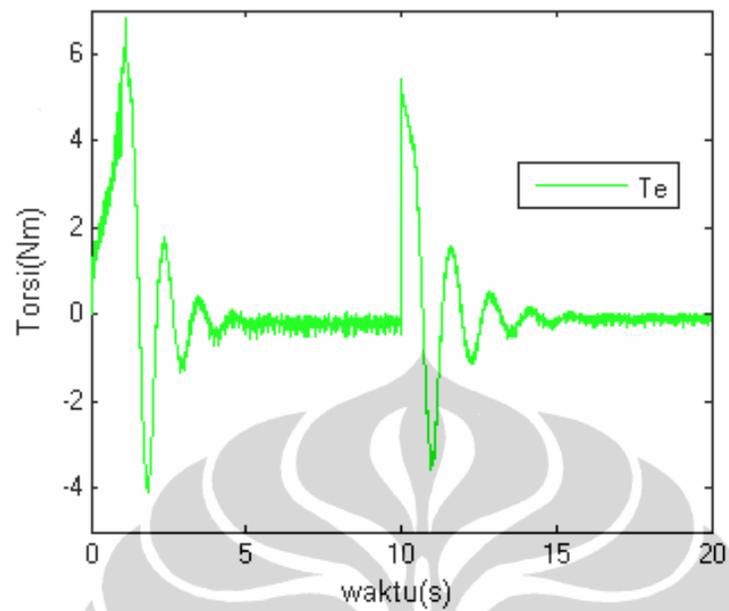
Gambar 4.22 Fluks sumbu q motor 10 HP dengan observer MRAS



Gambar 4.25 Fluks sumbu d motor 50 HP dengan observer MRAS



Gambar 4.26 Fluks sumbu q motor 50 HP dengan observer MRAS



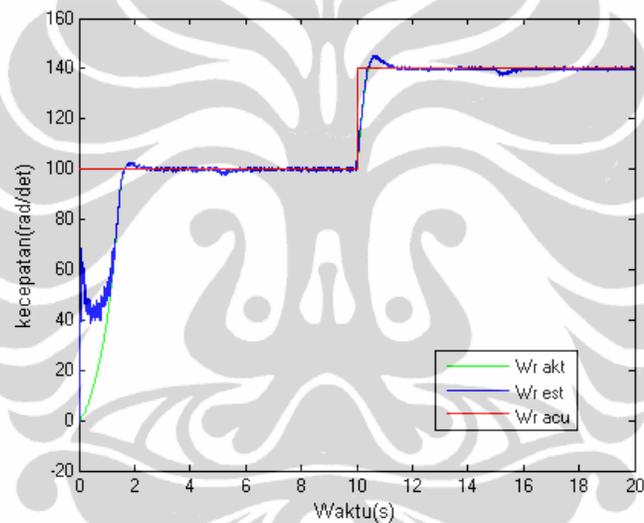
Gambar 4.27 Torsi motor 50 HP dengan observer MRAS

4.3.2 Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban.

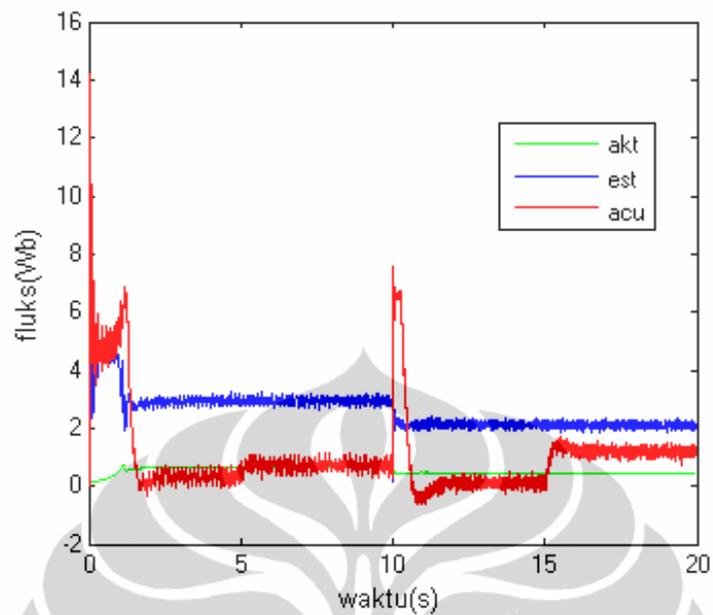
Dari simulasi akan dilihat kecepatan rotor (ω_r), fluks sumbu d (ψ_d) fluks sumbu q (ψ_q), arus sumbu d (I_d) dan arus sumbu q (I_q). Dengan Torsi max = 7 Nm

A Simulasi dengan Motor 1 HP

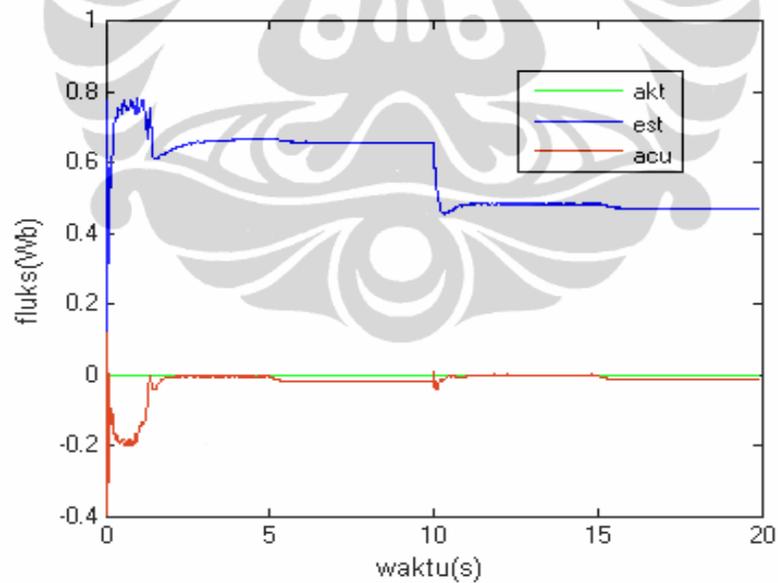
konstanta K gain observer = 1.01, nilai Kp speed observer = 7, nilai Ki speed observer = 680. Nilai konstanta pengendali kecepatannya yaitu Kp = 0.375 dan Ki = 0.95.



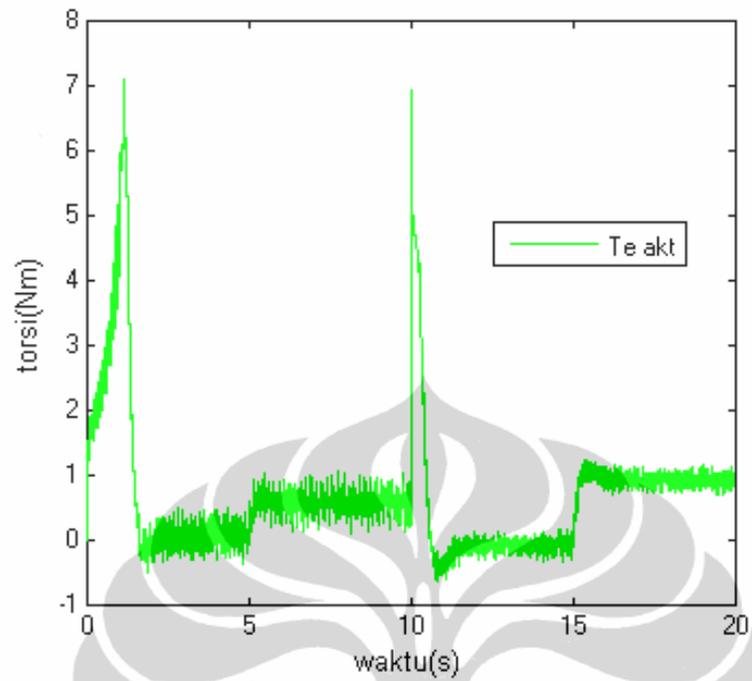
Gambar 4.28 Kecepatan motor 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



Gambar 4.29 Fluks sumbu d 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



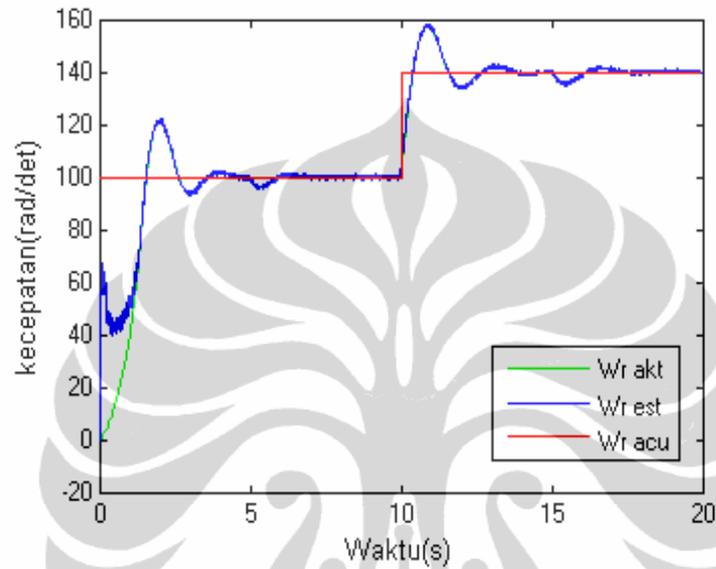
Gambar 4.30 Fluks sumbu q 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



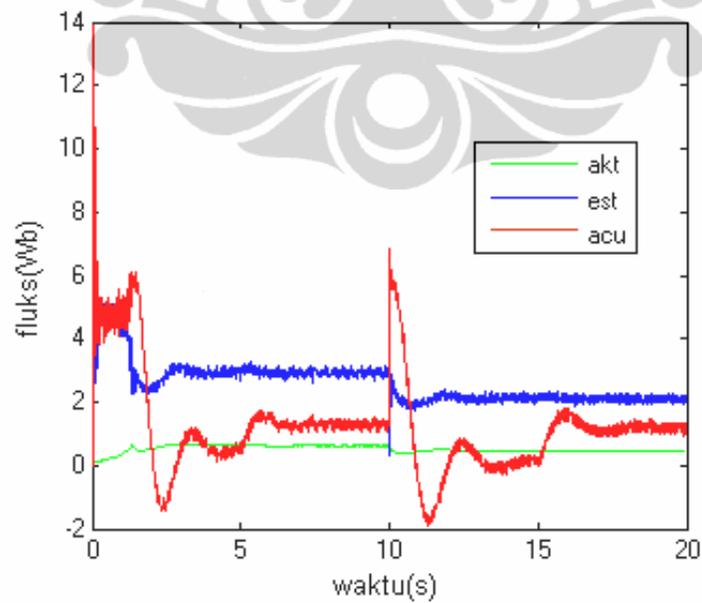
Gambar 4.31 Torsi 1 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban

B Simulasi dengan Motor 10 HP

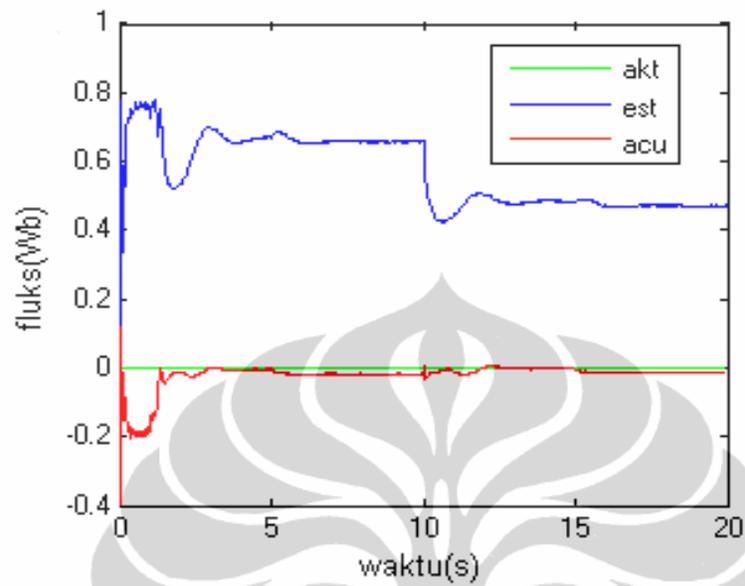
Konstanta K gain observer = 1.01, nilai Kp speed observer = 0.8, nilai Ki speed observer = 60. Nilai konstanta pengendali kecepataannya yaitu Kp = 0.1 dan Ki = 0.42.



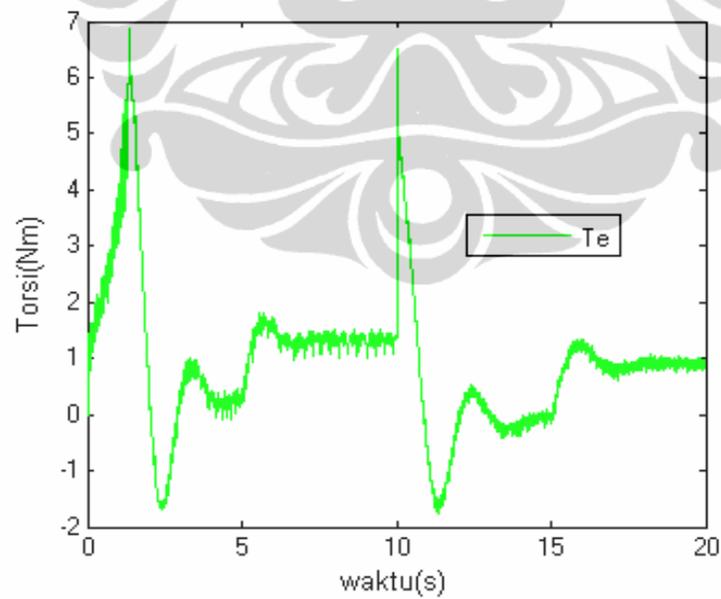
Gambar 4.32 Kecepatan motor 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



Gambar 4.33 Fluks sumbu d 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



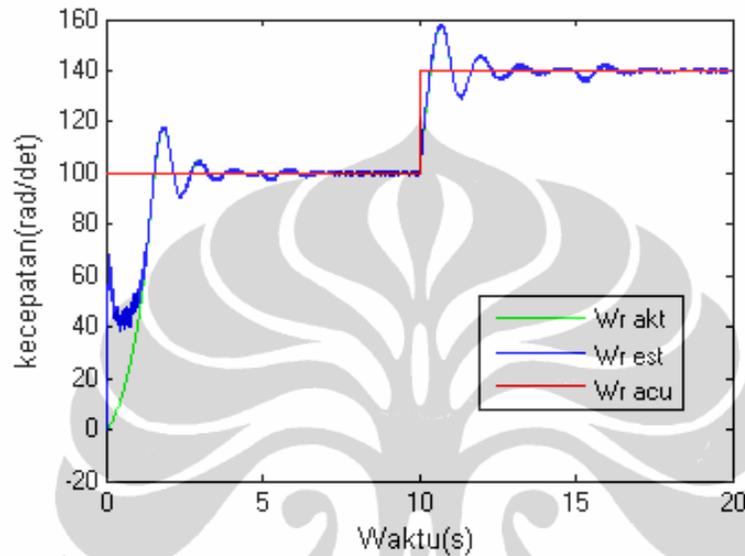
Gambar 4.34 Fluks sumbu q 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



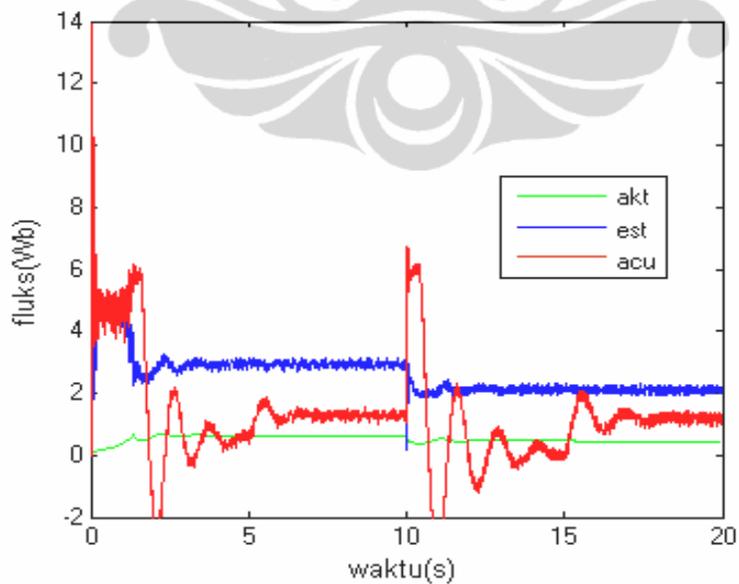
Gambar 4.35 Torsi 10 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban

C Simulasi dengan Motor 50 HP

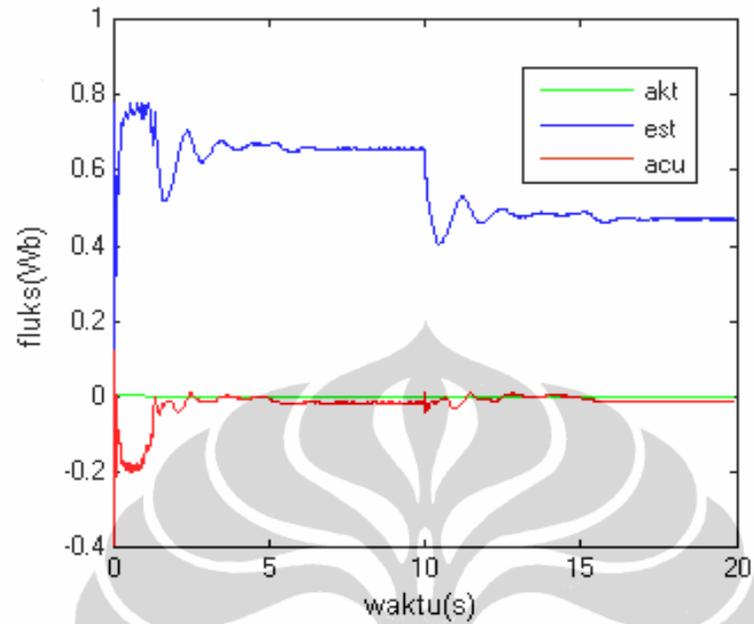
Konstanta K gain observer = 1.3, nilai K_p speed observer = 0.15, nilai K_i speed observer = 5.0. Nilai konstanta pengendali kecepataannya yaitu K_p = 50.0 dan K_i = 50.0.



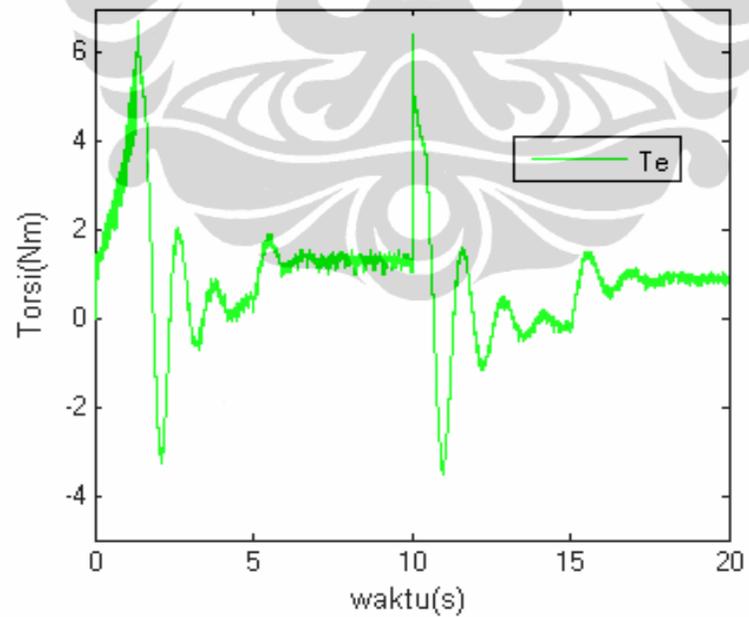
Gambar 4.36 Kecepatan motor 10HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



Gambar 4.37 Fluks sumbu d 50 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban



Gambar 4.38 Fluks sumbu q 50 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban

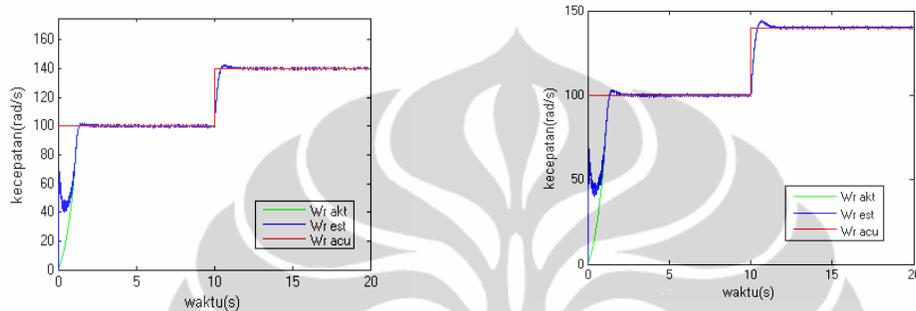


Gambar 4.39 Torsi 50 HP dengan observer MRAS dengan perubahan beban

4.4 Perbandingan Simulasi Observer MRAS dan Full order Observer

Berikut ini akan diperlihatkan tabel 4.4 yang memperlihatkan perbandingan kinerja dari kedua observer, perbandingan ditunjukkan dengan membandingkan respon dari kecepatan rotor (ω_r), fluks sumbu d (ψ_d), fluks sumbu q (ψ_q) dan Torsi (T_e) untuk kedua observer.

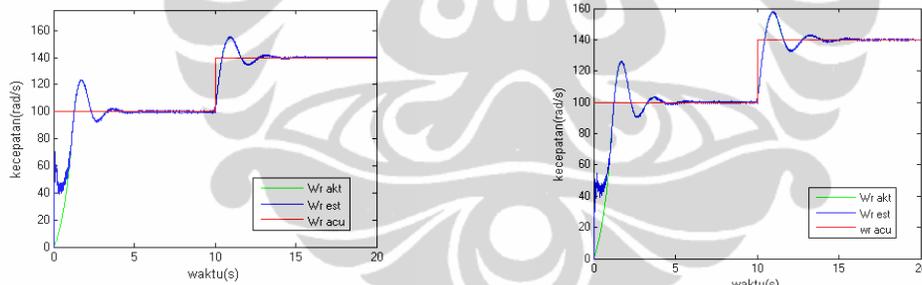
A Kecepatan Motor 1 HP



(a) dengan observer MRAS

(b) dengan observer full order

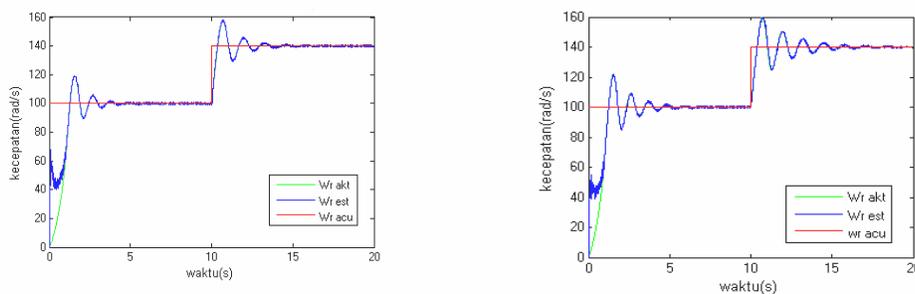
B Kecepatan Motor 10 HP



(c) dengan observer MRAS

(d) dengan observer full order

C Kecepatan Motor 50HP



(e) dengan observer MRAS

(f) dengan observer full order

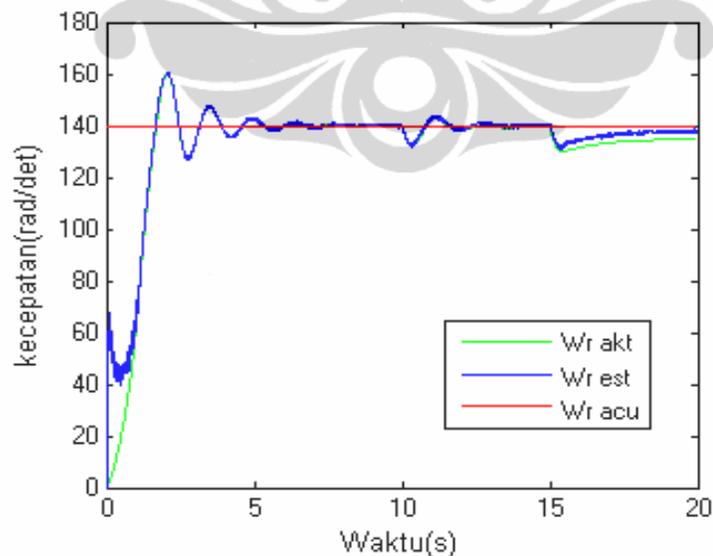
Gambar 4.40 Perbandingan kecepatan motor dengan observer MRAS dan observer full order

Dari hasil simulasi pada gambar 4.39 dapat terlihat kinerja dari observer MRAS, respon kecepatan motor untuk daya motor 1 HP, pada $t = 3$ dan $t = 13$ terlihat tidak terjadi overshoot, seperti yang terjadi pada observer full order, untuk daya motor 10 HP performansi dari respon kecepatan motor sama seperti pada performansi daya motor 1 HP, pada daya motor 50 HP terlihat jelas perbedaan respon kecepatan motor, dimana pada observer full order terlihat ripple yang lebih banyak sebelum sistem mencapai waktu mantap, walaupun respon untuk mencapai waktu mantap hampir sama, untuk observer MRAS pada $t = 13$ dan untuk observer full order $t = 15$.

4.5 Simulasi Perubahan Parameter Momen Inersia

4.5.1 Motor 1 HP

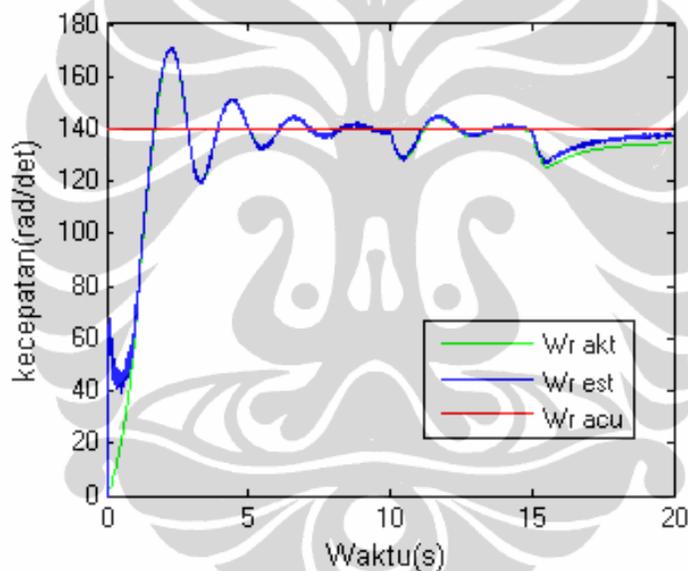
Pada simulasi ini dilakukan perubahan parameter motor momen inersia pada motor 1 HP dalam periode waktu tertentu yaitu pada saat $t=0$ momen inersia dibuat 0.005 kgm^2 , pada saat $t=5$ detik nilai momen inersia dibuat menjadi 0.01 kgm^2 , kemudian pada saat $t=10$ detik, momen inersianya dibuat menjadi 0.2 kgm^2 , dan pada saat $t=15$ detik diubah menjadi 1 kgm^2 , kemudian untuk $t=20$ detik momen inersianya disesuaikan dengan parameter motor induksi yaitu 0.0436 kgm^2 .



Gambar 4.41 Kecepatan motor 1 HP dengan perubahan momen inersia

4.5.2 Motor 10 HP

Pada simulasi ini dilakukan perubahan parameter motor momen inersia pada motor 1 HP dalam periode waktu tertentu yaitu pada saat $t=0$ momen inersia dibuat 0.005 kgm^2 , pada saat $t=5$ detik nilai momen inersia dibuat menjadi 0.01 kgm^2 , kemudian pada saat $t=10$ detik, momen inersianya dibuat menjadi 0.2 kgm^2 , dan pada saat $t=15$ detik diubah menjadi 1 kgm^2 , kemudian untuk $t=20$ detik momen inersianya disesuaikan dengan parameter motor induksi yaitu 0.0436 kgm^2 .

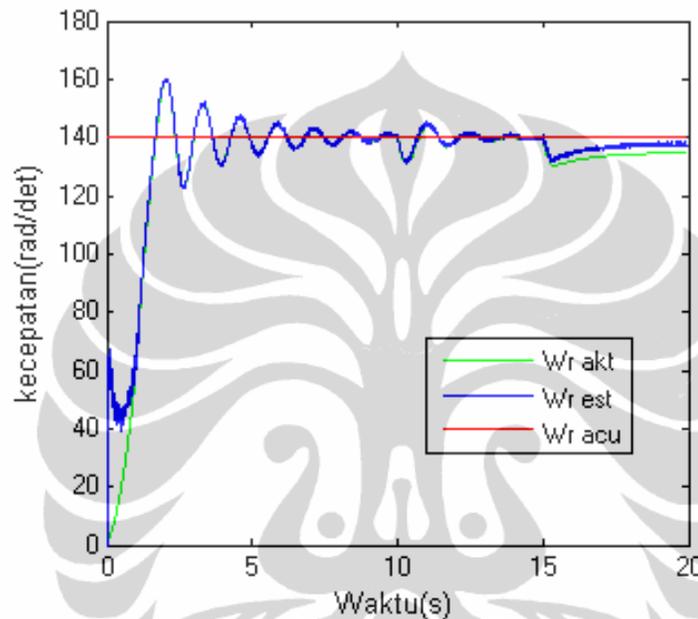


Gambar 4.42 Kecepatan motor 10 HP dengan perubahan momen inersia

Pada simulasi ini dilakukan perubahan parameter motor momen inersia pada motor 10, yaitu pada saat $t=0$ momen inersia dibuat 0.005 kgm^2 , pada saat $t=5$ detik nilai momen inersia dibuat menjadi 0.01 kgm^2 , kemudian pada saat $t=10$ detik, momen inersianya dibuat menjadi 1 kgm^2 , dan pada saat $t=15$ detik diubah menjadi 2 kgm^2 , kemudian untuk $t=20$ detik momen inersianya disesuaikan dengan parameter motor induksi yaitu 0.05 kgm^2 .

4.5.3 Motor 50 HP

Pada simulasi ini dilakukan perubahan parameter motor momen inersia, yaitu pada saat $t=0$ adalah 0.05 kgm^2 , pada saat $t=5$ detik momen inersia dibuat menjadi 0.5 kgm^2 , pada saat $t=10$ detik, momen inersianya dibuat menjadi 2.5 kgm^2 . Untuk $t=15$ detik, momen inersianya menjadi 5 kgm^2 , dan pada saat $t=20$ detik momen inersianya bernilai 1.622 kgm^2 sesuai parameter motor.



Gambar 4.43 Kecepatan motor 50 HP dengan perubahan momen inersia

Dari Gambar 4.41 , 4.42 dan 4.43 terlihat bahwa ketika momen inersia motor dibuat lebih kecil dari nilai parameter aslinya, maka putaran motor terjadi *fluktuasi*. Hal ini sesuai dengan Persamaan (2.52)

$$\frac{d}{dt}\omega_r = \frac{N_p L_m}{J} \left(\frac{\psi_{ra} i_{s\beta}}{L_r} - \frac{\psi_{r\beta} i_{s\alpha}}{L_r} \right) - \frac{T_l}{J} \quad (2.52)$$

dimana nilai kecepatan motor sangat dipengaruhi oleh nilai konstanta momen inersia motor (J). Sehingga penentuan nilai momen inersia yang tidak tepat akan mempengaruhi keluaran model motor induksi yang digunakan.