

**PENGENDALIAN *ROTO PACKER* PADA PROSES
PENGEPAKAN SEMEN DI PT. SEMEN GRESIK - TUBAN
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEMS***

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

ROSIHAN ANNAS

0001060372-63

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2007**

**PENGENDALIAN *ROTO PACKER* PADA PROSES
PENGEPAKAN SEMEN DI PT. SEMEN GRESIK - TUBAN
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEMS***

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

ROSIHAN ANNAS

0001060372-63

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. Purwanto, MT
NIP : 131 574 847

Fitriana Suhartati, ST, MT
NIP : 132 206 527

**PENGENDALIAN *ROTO PACKER* PADA PROSES
PENGEPAKAN SEMEN DI PT. SEMEN GRESIK - TUBAN
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEMS***

Disusun oleh:

ROSIHAN ANNAS

0001060372-63

*Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal
12 Juli 2007*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DOSEN PENGUJI :

Ir. Dipl-Ing. Moch. Rusli
NIP. 131 653 473

Goegoes Dwi Nusantoro, ST, MT
NIP. 132 318 316

Ir. Erni Yudaningtyas, MT
NIP. 131 879 035

Rusmi Ambarwati, ST, MT
NIP. 132 258 188

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 131 879 033

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan berkat, rahmat, dan karunia serta ridho-Nya penyusunan skripsi ini dengan judul **“Pengendalian Roto Packer Pada Proses Pengepakan Semen di PT. Semen Gresik - Tuban Dengan Model Reference Adaptive Systems (MRAS)”** dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan mencapai titik akhir penyelesaian tanpa bantuan berbagai pihak, karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Hanna Sulistya Rahayu, S.Pi, istriku tercinta yang senantiasa selalu sabar, penuh kasih, dan sayang mendampingi penulis.
2. Papa dan mama, kakak dan adikku, keluarga besar Adi Winarto adalah rahmat Allah SWT terbesar berada diantara mereka dengan dukungan dan kasih sayang mereka yang tidak dapat terbalaskan.
3. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom selaku Ketua Jurusan Elektro dan bapak Rudy Yuwono, ST, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Elektro.
4. Bapak Ir. Purwanto, MT dan ibu Fitriana Suhartati, ST, MT sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dengan sabar sampai terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak dan ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
6. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Sebuah penantian yang panjang telah berakhir, yang kemudian menjadi sebuah titik perjalanan yang baru. Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca tentang isi skripsi ini akan diterima dengan senang hati. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Juli 2007

Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1. Pengendalian Adaptif.....	5
2.2. <i>Model Reference Adaptive Systems</i> (MRAS).....	6
2.2.1. <i>Plant</i>	6
2.2.2. Model Referensi.....	7
2.2.3. Persamaan <i>Error</i>	7
2.2.4. Pengendali Adaptif.....	7
2.2.5. Hukum Adaptasi.....	9
2.3. Proses Pengemasan Semen di PT. Semen Gresik - Tuban.....	10
2.4. <i>Roto Packer</i>	11
2.5. <i>Inverter</i>	12
2.6. Motor Induksi.....	16
2.6.1. Medan Putar.....	18
2.6.2. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	20
2.7. <i>Rasio Reducer</i>	21
2.8. <i>Rotary Feeder</i>	21

BAB III METODOLOGI	23
3.1. Rancangan Penelitian.....	23
3.2. Cara Kerja Penelitian.....	23
3.3. Analisa Data.....	24
3.4. Kesimpulan dan Saran.....	24
BAB IV PEMODELAN SISTEM <i>ROTO PACKER</i> DAN DESAIN MRAS	25
4.1. Definisi.....	25
4.2. Proses Pengemasan Sistem <i>Roto Packer</i>	25
4.3. Motor Induksi.....	26
4.3.1. <i>Inverter</i>	29
4.3.2. Fungsi Umpan Balik <i>Inverter</i> dan Motor Induksi.....	29
4.4. <i>Rasio Reducer</i>	31
4.5. <i>Rotary Feeder</i>	32
4.6. Torsi <i>Load</i>	33
4.7. <i>Plant</i>	34
4.8. Penentuan Model Referensi.....	35
4.9. Persamaan <i>Error</i>	35
4.10. Penetapan Parameter Pengendali.....	36
4.11. Penentuan Hukum Adaptasi.....	38
4.12. Penentuan Daerah Kerja <i>Roto Packer</i> PT. Semen Gresik – Tuban.....	40
4.13. Simulasi <i>Roto Packer</i> Dengan Model Reference Adaptive Systems Pada <i>Simulink</i> MATLAB 7.0.4 service pack 2, release 14.....	40
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM	43
5.1. Simulasi Model Reference Adaptive Systems Pada <i>Roto Packer</i>	43
5.2. Hasil Simulasi Model Referensi.....	43
5.3. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Tanpa <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan Acak.....	44
5.4. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan Acak.....	47
5.5. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Dengan Gangguan.....	53

5.6. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan Variasi *Set Point* Dengan
Tuning Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan Acak..... 59

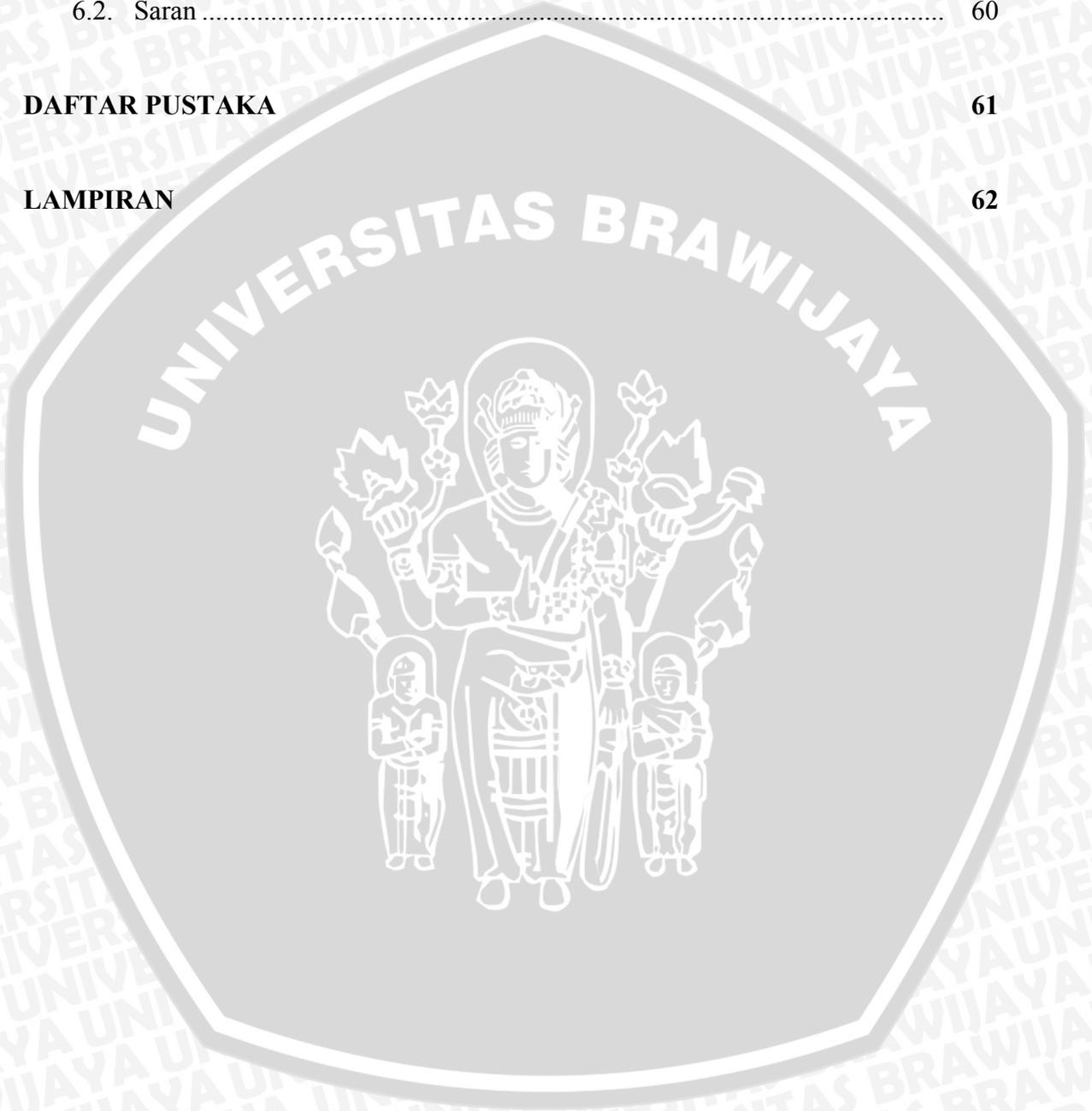
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 60

6.1. Kesimpulan 60

6.2. Saran 60

DAFTAR PUSTAKA 61

LAMPIRAN 62



DAFTAR GAMBAR

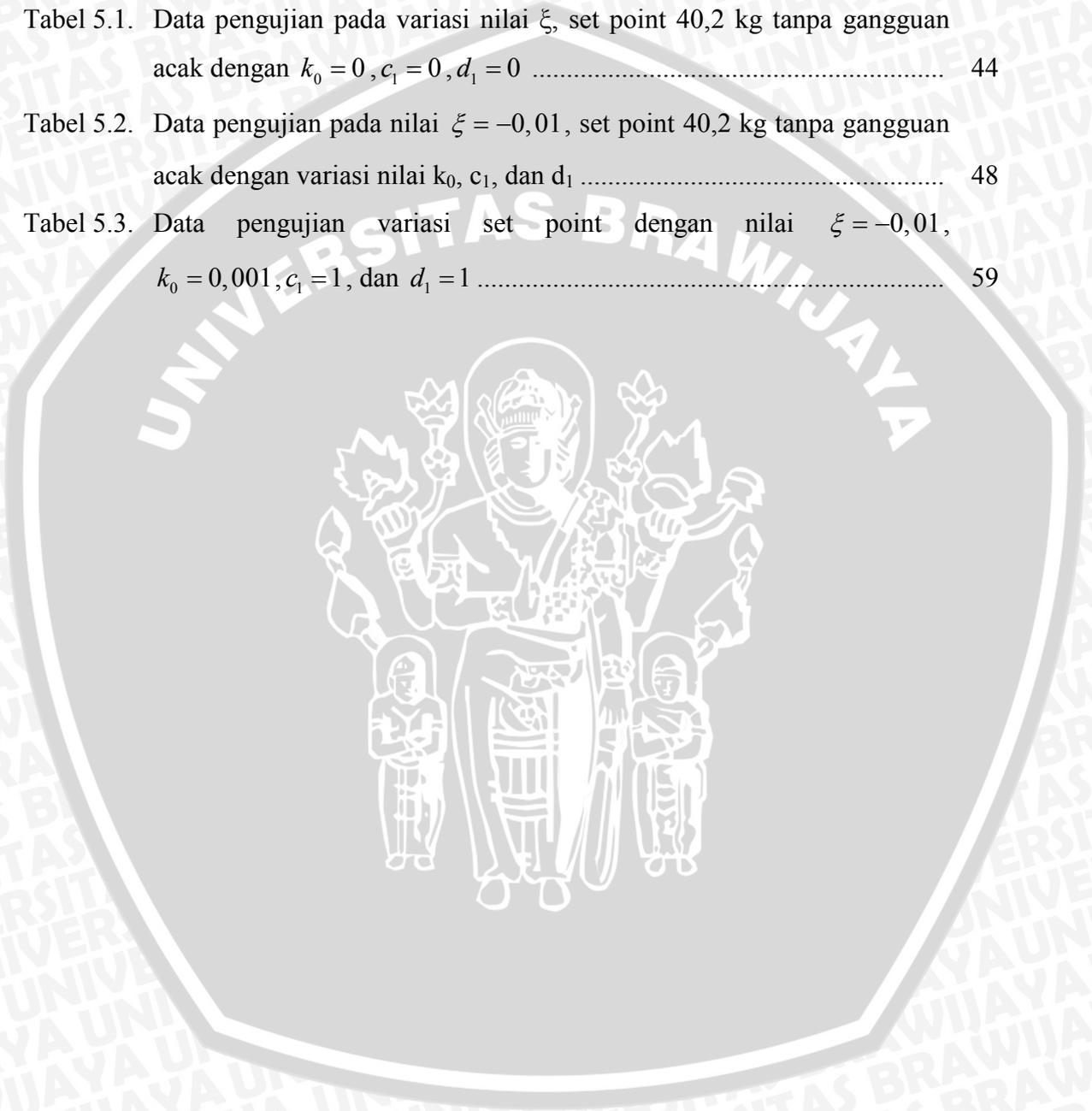
Gambar 2.1.	Diagram blok <i>model reference adaptive systems</i>	6
Gambar 2.2.	Struktur dasar pengendali adaptif.....	8
Gambar 2.3.	Struktur pengendali dalam bentuk sederhana	9
Gambar 2.4.	Proses pengepakan semen	10
Gambar 2.5.	Diagram kerja pengepakan semen	10
Gambar 2.6.	Diagram kerja sistem <i>roto packer</i>	11
Gambar 2.7.	Prinsip dasar dari <i>inverter</i> 3 fasa.....	12
Gambar 2.8.	Bentuk pulsa-pulsa <i>trigger</i> dan keadaan <i>on</i> untuk transistor (Tr_1 s/d Tr_6)	13
Gambar 2.9.	Bentuk tegangan <i>output</i> V_{GS} , V_{ST} , dan V_{TR}	14
Gambar 2.10.	Blok diagram rangkaian pembentuk PWM.....	15
Gambar 2.11.	Blok diagram rangkaian 3 fasa dengan frekuensi dan tegangan berubah	15
Gambar 2.12.	Konstruksi stator dan macam-macam rotor	16
Gambar 2.13.	Medan putar	18
Gambar 2.14.	Hubungan antara motor induksi dengan <i>rotary feeder</i>	21
Gambar 2.15.	<i>Rotary feeder</i>	22
Gambar 4.1.	Diagram kerja <i>roto packer</i>	25
Gambar 4.2.	Diagram blok motor induksi dengan <i>inverter</i>	29
Gambar 4.3.	Penyederhanaan diagram blok motor induksi dengan <i>inverter</i>	30
Gambar 4.4.	Penyederhanaan akhir diagram blok motor induksi dengan <i>inverter</i> ...	31
Gambar 4.5.	Percepatan sudut dari kedua jentera sepeda	31
Gambar 4.6.	Blok <i>rasio reducer</i>	32
Gambar 4.7.	Blok <i>rotary feeder</i>	33
Gambar 4.8.	Blok torsi <i>load</i>	33
Gambar 4.9.	Respon <i>roto packer</i> dengan <i>simulink</i>	34
Gambar 4.10.	Simulasi <i>roto packer</i> dengan <i>simulink</i>	34
Gambar 4.11.	Respon model referensi dengan masukan <i>unit step</i>	35
Gambar 4.12.	Struktur dasar pengendali adaptif.....	36
Gambar 4.13.	Diagram blok generator sinyal 1 dan parameter c_1 pada F_1	37
Gambar 4.14.	Diagram blok generator sinyal 2 dan parameter d_1 pada F_2	37

Gambar 4.15. Simulasi <i>roto packer</i> dengan MRAS pada <i>simulink</i>	41
Gambar 4.16. Kontroler MRAS pada <i>simulink</i>	41
Gambar 4.17. <i>Plant roto packer</i> pada <i>simulink</i>	42
Gambar 5.1. Respon model referensi dengan <i>set point</i> 40,2 kg.....	43
Gambar 5.2. Respon <i>plant</i> tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$	45
Gambar 5.3. Sinyal kontrol tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$	45
Gambar 5.4. Sinyal k_0 tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$	46
Gambar 5.5. Sinyal c_1 tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$	46
Gambar 5.6. Sinyal d_1 tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$	47
Gambar 5.7. Respon <i>plant</i> dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $0,01 > k_0 \geq -0,01$ dan $k_0 > 0,001$	49
Gambar 5.8. Respon <i>plant</i> dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 < -0,01$	49
Gambar 5.9. Respon <i>plant</i> dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001$ dan $c_1 \& d_1 > 1$	50
Gambar 5.10. Respon <i>plant</i> dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001$ dan $c_1 \& d_1 < 1$	50
Gambar 5.11. Respon <i>plant</i> dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$	51
Gambar 5.12. Sinyal kontrol dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$	51
Gambar 5.13. Sinyal k_0 dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$	52
Gambar 5.14. Sinyal c_1 dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$	52

Gambar 5.15. Sinyal d_1 dengan <i>tuning</i> parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$	53
Gambar 5.16. Sinyal gangguan berupa penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.....	53
Gambar 5.17. Respon <i>plant</i> terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.....	54
Gambar 5.18. Perbesaran daerah A pada gambar 5.17	54
Gambar 5.19. Sinyal kontrol terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.....	55
Gambar 5.20. Sinyal k_0 terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> sebesar 0,5 kg pada detik ke 20	55
Gambar 5.21. Sinyal c_1 terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> sebesar 0,5 kg pada detik ke 20	55
Gambar 5.22. Sinyal d_1 terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> sebesar 0,5 kg pada detik ke 20	56
Gambar 5.23. Sinyal gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik	56
Gambar 5.24. Respon <i>plant</i> dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik	57
Gambar 5.25. Perbesaran daerah B pada gambar 5.24	57
Gambar 5.26. Sinyal kontrol dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik	57
Gambar 5.27. Sinyal k_0 dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik	58
Gambar 5.28. Sinyal c_1 dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik	58
Gambar 5.29. Sinyal d_1 dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana <i>roto packer</i> dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data spesifikasi dan pengukuran <i>inverter</i> pada <i>roto packer</i>	16
Tabel 2.2. Data spesifikasi dan pengukuran motor induksi pada <i>roto packer</i>	17
Tabel 2.3. Data spesifikasi <i>rotary feeder</i>	22
Tabel 5.1. Data pengujian pada variasi nilai ξ , set point 40,2 kg tanpa gangguan acak dengan $k_0 = 0, c_1 = 0, d_1 = 0$	44
Tabel 5.2. Data pengujian pada nilai $\xi = -0,01$, set point 40,2 kg tanpa gangguan acak dengan variasi nilai k_0, c_1 , dan d_1	48
Tabel 5.3. Data pengujian variasi set point dengan nilai $\xi = -0,01, k_0 = 0,001, c_1 = 1$, dan $d_1 = 1$	59



ABSTRAK

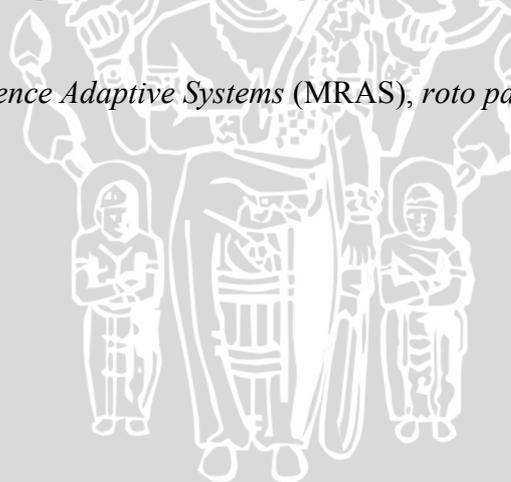
ROSIHAN ANNAS, 2007. Pengendalian *Roto Packer* pada Proses Pengepakan Semen di PT. Semen Gresik - Tuban dengan *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS). Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
Dosen Pembimbing : Ir. Purwanto, MT dan Fitriana Suhartati, ST, MT

Pengepakan semen dengan menggunakan *roto packer* tidak bisa menjamin ketepatan pengisian, hal ini disebabkan oleh adanya debu-debu semen yang menempel pada pelana *roto packer*. Sehingga diperlukan pengendalian dalam proses pengepakan semen dengan metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS).

Pengendali adaptif dengan metode *Model Reference Adaptive Systems*, bertujuan meminimalkan pengaruh gangguan dengan pola yang berubah-ubah. Pada prinsipnya perancangan MRAS dimulai dengan menentukan fungsi alih dari *plant*, kemudian menyusun model referensi, meminimalkan *error* dengan hukum adaptasi, dan melakukan tuning parameter pengendali.

Desain simulasi keadaan tanpa gangguan acak dengan *tuning* parameter pengendali nilai $k_0 = 0,001$, $c_1 = 1$, dan $d_1 = 1$ meminimalkan *error* sistem sampai 0 % pada *set point* 40,2 kg, saat sistem tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi dengan *settling time* 12,2 detik. Penambahan berat pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg saat detik ke 20 nilai *error* sebesar 0,15 % dengan waktu pulih selama 5,6 detik. Sedangkan pola penambahan berat yang berubah-ubah dengan kisaran 0,02 kg tiap 5 detik, *error* sebesar 0,025 %.

Kata kunci : *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS), *roto packer*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Semen Gresik (Persero), Tbk dirintis pada jaman Belanda, ketika Ir. Van Es (1935-1938) menemukan batu kapur dalam jumlah besar di Gresik. Pada tahun 1995, PT. Semen Gresik berkonsolidasi dengan PT. Semen Padang dan PT. Semen Tonasa, yang kemudian dikenal dengan nama Semen Gresik Group (SGG). Menjelang akhir tahun 2006, PT. Semen Gresik (Persero), Tbk telah mengukir berbagai prestasi baik di skala nasional maupun internasional. Secara berturut-turut meraih penghargaan dari *Internasional Convention Quality Control Circles (ICQCC)* yang diselenggarakan secara paralel dengan *Indonesia Quality Convention (IQC) 2006*, *Indonesia Quality Award 2006*, *Progressive Social Reporting Award 2005* hingga penghargaan di bidang seni budaya (Jawa Pos, Senin 4 Desember 2006).

Aneka penghargaan ini dapat diraih berkat kerja keras dan komitmen jajaran manajemen dan karyawan, termasuk tim Gugus Kendali Mutu (GKM) Semen Gresik, yang selama ini berupaya keras membentuk kerja tim yang efisien, sehingga menghasilkan produk berkualitas dan dapat bersaing di pasaran. Guna terus menjaga kredibilitas produk terutama menyangkut bobot sak semen yang beredar di pasaran, maka tim GKM selalu melakukan pengawasan terhadap produk yang akan dipasarkan. Salah satunya dengan melakukan pengawasan proses pengepakan pada *roto packer*.

Roto packer yang digunakan oleh PT. Semen Gresik – Tuban termasuk kategori alat semi otomatis. Alat ini disebut semi otomatis karena masih tetap membutuhkan manusia untuk meletakkan kantong sak semen pada tempatnya. Pada *roto packer* terdapat sensor berat yang besarnya telah ditentukan oleh operator sebesar 40,2 kg dengan rincian; 40 kg adalah berat semen dan 0,2 kg adalah berat kosong kantong sak semen. Berat sak semen yang dijatuhkan ke *conveyor* bisa kurang atau bahkan lebih dari yang ditentukan oleh operator, hal ini disebabkan oleh adanya debu-debu semen yang menempel pada pelana di *roto packer*. Selisih berat yang telah diukur oleh *belt weigher* diinformasikan ke *control room* (ruang kendali), apabila hasil penimbangan oleh *belt weigher* menunjukkan berat sak semen kurang dari yang ditentukan maka *control room* akan mengeset *roto packer* untuk menambah isi semen pada sak berikutnya, tetapi jika berlebih maka ruang kendali akan melakukan pengurangan.

Hasil pengisian sak semen yang beratnya tepat atau melebihi dari yang ditentukan oleh operator akan diteruskan ke distributor sampai ke konsumen, hal ini tentunya menjadi dilema tersendiri bagi PT. Semen Gresik (Persero), Tbk. Untuk hasil pengisian sesuai dengan nominal tertera pada kantong sak semen memang pantas untuk dipasarkan, pengisian yang melebihi nominal jelas akan merugikan pihak PT. Semen Gresik (Persero), Tbk, sedangkan pengisian yang beratnya kurang dari nominal, sak semen akan dihancurkan karena akan merugikan konsumen, sak semen yang dihancurkan dikirim kembali ke *bin central* untuk dikemas ulang. Proses pengemasan yang terjadi berulang-ulang ini juga merugikan pihak PT. Semen Gresik (Persero), Tbk.

Pada proses pengepakan yang dilakukan *roto packer*, gangguan yang berupa perubahan berat sak semen sebagai akibat dari debu-debu yang menempel pada pelana *roto packer* harus diminimalkan, karena berpengaruh langsung ke *aktuator* sistem, sehingga penyesuaian harus dilakukan sedemikian rupa sehingga keluaran sistem dapat terus dipertahankan sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pengendali adaptif merupakan pengendali yang mampu melakukan penyesuaian terhadap perubahan gangguan tersebut. Pada pengendali adaptif, karakteristik dinamik *plant* diidentifikasi setiap saat, sehingga dapat dicapai keluaran sistem sesuai dengan yang diinginkan pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda. (Ogata, 1997 : 421)

Proses adaptasi dalam pengendalian adaptif metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) adalah proses adaptasi langsung tanpa terlebih dahulu melakukan estimasi parameter *plant*. Sehingga prinsip dasarnya adalah dengan membuat keluaran sistem yang dikendalikan sedemikian rupa sehingga bertingkah laku sama dengan tingkah laku referensi yang diberikan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan parameter pengendali adaptif dengan metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) pada proses pengepakan semen di PT. Semen Gresik - Tuban dengan sistem *roto packer*.
2. Bagaimana merancang kontroler adaptif dengan metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) pada *roto packer* guna meminimalkan pengaruh dari gangguan dengan pola yang berubah-ubah dan disimulasikan menggunakan program MATLAB 7.0.4 *service pack 2, Release 14*.

1.3. Batasan Masalah

Karena begitu luasnya objek kajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah dalam tugas skripsi ini adalah:

1. Parameter-parameter sistem yang digunakan berdasarkan data-data sekunder dari PT. Semen Gresik – Tuban serta literatur yang ada.
2. Gangguan berupa debu yang bersifat acak dengan pola yang berubah-ubah, menyebabkan terjadinya perbedaan berat sak semen pada sensor *roto packer* dengan *conveyor belt weigher*.
3. Analisa hasil desain kontrol hanya berdasarkan hasil simulasi sistem dan pengujian model sistem dilakukan menggunakan simulasi program MATLAB 7.0.4 *service pack 2, Release 14*.

1.4. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari pengerjaan tugas skripsi ini adalah mendesain, mensimulasikan, dan memberikan solusi alternatif penerapan *Model Reference Adaptive Systems* pada proses pengepakan semen di PT. Semen Gresik - Tuban.

1.5. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan tentang hal-hal yang dibahas dalam setiap bab pada penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, dan sistematika pembahasan penelitian.

Bab II Dasar Teori

Membahas tentang dasar teori MRAS dan tentang sistem *roto packer* pada proses pengepakan semen di PT. Semen Gresik - Tuban.

Bab III Metodologi Penelitian

Berisi mengenai metode penelitian yang dilakukan untuk mencapai sasaran penelitian.

Bab IV Pemodelan Sistem *Roto Packer* dan Desain MRAS

Metodologi awal untuk merepresentasikan *plant* di lapangan menjadi model matematika yang kemudian digunakan dalam simulasi.

Bab V Pengujian dan Analisis Sistem

Merupakan pembahasan inti dari skripsi ini yang akan membahas perancangan pengontrol MRAS dari representasi *plant*. Pada akhir analisis akan dilakukan simulasi pengendalian untuk mengetahui respon keluaran sistem kendali.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk pengembangan yang lebih baik.



BAB II

DASAR TEORI

2.1. Pengendali Adaptif

Dalam bahasa sehari-hari, adaptasi berarti mengubah suatu perilaku untuk menyesuaikan diri dengan keadaan yang baru. Sedangkan pengendali adaptif dapat diartikan sebagai pengendali yang dapat memodifikasi perilakunya dalam merespon perubahan dinamika proses dan karakter gangguan (Astrom dan Wittenmark, 1989 : 1).

Pendekatan yang digunakan dalam pengendalian adaptif dibagi menjadi tiga, yaitu (Sastry dan Bodson, 1993 : 4) :

1. *Gain Scheduling*
2. *Self Tuning Controller*
3. *Model Reference Adaptive Systems*

Pada pengendalian adaptif metode *Gain Scheduling*, dilakukan untuk mendapatkan variabel pelengkap dari proses yang berkorelasi dengan perubahan dinamika proses. Kemudian dimungkinkan untuk mengkompensasi variasi parameter dari *plant* dengan merubah parameter dari regulator sebagai fungsi dari variabel pelengkap (Sastry dan Bodson, 1989 : 4). Pada pengendalian dengan metode *gain scheduling* diperlukan pengetahuan yang mendalam tentang *plant* yang akan dikendalikan karena parameter pengendali ditentukan langsung pada saat perancangan. (Sastry dan Bodson, 1989 : 5).

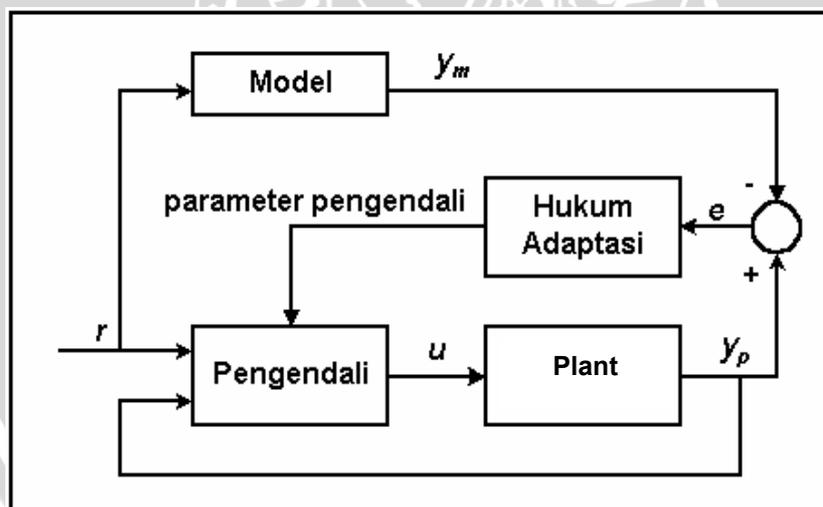
Proses adaptasi dengan *Self Tuning Controller* merupakan proses adaptasi tak langsung. Pada proses ini parameter dari *plant* diidentifikasi terlebih dahulu, kemudian estimasi parameter tersebut digunakan untuk meng-*update* parameter pengendali, melalui transformasi dari parameter pengidentifikasi menjadi parameter pengendali. (Sastry dan Bodson, 1989 : 9)

Sedangkan proses adaptasi dalam pengendalian adaptif metode *Model References Adaptive Systems* adalah proses adaptasi langsung tanpa terlebih dahulu melakukan estimasi parameter *plant*. Jadi proses adaptasi pada pengendalian metode *Self Tuning Controller* lebih kompleks untuk dilakukan daripada pengendalian adaptif metode *Model References Adaptive Systems* karena harus terlebih dahulu melakukan estimasi parameter *plant* dan adanya transformasi dari parameter pengidentifikasi menjadi parameter pengendali. (Sastry dan Bodson, 1989 : 9)

2.2. Model Reference Adaptive Systems (MRAS)

Dalam metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS), keluaran dari sistem ditentukan melalui keluaran model referensi, dan nilai parameter pengendali disesuaikan besarnya dengan kesalahan (*error*) yang terjadi antara keluaran model referensi dengan keluaran sistem yang dikendalikan. (Butler, 1992 : 4)

Prinsip pengendalian dengan menggunakan *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) adalah dengan membuat keluaran sistem yang dikendalikan sedemikian rupa sehingga berperilaku sama dengan keluaran model referensi yang diberikan. Diagram blok *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) diberikan pada gambar 2.1. Keluaran model referensi digunakan untuk menentukan keluaran sistem agar sesuai dengan yang diinginkan. Model referensi menghasilkan sinyal keluaran y_m , selanjutnya sinyal keluaran referensi ini dibandingkan dengan sinyal keluaran *plant* y_p . Bila terdapat adanya *error* e diantara y_m dengan y_p , maka parameter yang ada pada pengendali akan berubah melalui hukum adaptasi. Melalui hukum ini, pengendali akan menghasilkan sinyal kendali u yang selanjutnya menjadi masukan bagi *plant* sehingga keluaran y_p akan sesuai dengan keluaran model referensi. (Butler, 1992 : 4)



Gambar 2.1. Diagram blok *model reference adaptive systems*.
(Sumber : Astrom dan Wittenmark, 1989 : 106)

2.2.1. Plant

Plant merupakan bagian dari sistem yang akan dikendalikan. *Plant* dinyatakan dalam fungsi alih. Fungsi alih didefinisikan sebagai perbandingan antara transformasi Laplace fungsi tanggapan (keluaran) terhadap transformasi fungsi penentu (masukan) dengan semua keadaan awal sama dengan nol (Ogata, 1997 : 45).

Fungsi alih *plant* $W_p(s)$ dengan keluaran $Y_p(s)$ terhadap sinyal kendali $u(s)$ dapat dinyatakan dengan persamaan (2-1) (Ioannou, 2003 : 331),

$$W_p(s) = \frac{Y_p(s)}{u(s)} \quad (2-1)$$

2.2.2. Model Referensi

Model Referensi $W_m(s)$ menyatakan fungsi alih keluaran $Y_m(s)$ terhadap $r(s)$. Fungsi alih $W_m(s)$ dinyatakan sebagai berikut : (Ioannou, 2003 : 331)

$$W_m(s) = \frac{Y_m(s)}{r(s)} = k_m \frac{\beta_m(s)}{\alpha_m(s)} \quad (2-2)$$

$\alpha_m(s)$ dan $\beta_m(s)$ adalah polinomial stabil, yaitu polinomial yang semua akarnya berada pada setengah sebelah kiri bidang s , sedangkan k_m (konstanta). $\alpha_m(s)$ adalah polinomial dengan derajat n dan $\beta_m(s)$ adalah polinomial dengan derajat m , dengan $m \leq n$.

Dalam menentukan model referensi, derajat relatif model referensi sama dengan derajat relatif dari *plant* (Ioannou, 2003 : 332). Derajat relatif adalah selisih antara orde *pole* dan *zero* atau $n-m$ (Butler, 1992 : 54).

2.2.3. Persamaan Error

Proses adaptasi berakhir jika keluaran *plant* sudah dapat mengikuti keluaran model referensi. Persamaan *error* antara model referensi dengan *plant* adalah : (Astrom dan Wittenmark, 1992 : 207)

$$e(t) = y_p(t) - y_m(t) \quad (2-3)$$

dengan y_p menyatakan keluaran dari *plant* yang dikontrol sedangkan y_m adalah keluaran model referensi yang diharapkan.

2.2.4. Pengendali Adaptif

Struktur pengendali adaptif terdiri dari penguat k_o , F_1 dan F_2 . F_1 terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter c_i , dengan $i = 1, 2, \dots, n$. F_2 terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter d_j , dengan $j = 1, 2, \dots, n$. Generator sinyal yang ada pada F_1 dan F_2 masing-masing menghasilkan parameter sinyal $\omega^{(1)}$ dan $\omega^{(2)}$ (Butler, 1992 : 116)

Vektor sinyal kendali ω^T terdiri atas sinyal masukan r dan vektor sinyal $\omega^{(1)}$ dan $\omega^{(2)}$, sehingga dapat dituliskan vektor sinyal sebagai berikut :

$$\omega^T(t) = [r(t), \omega^{(1)}(t), \omega^{(2)}(t)] \quad (2-4)$$

Parameter-parameter yang terdapat dalam pengendali didefinisikan sebagai vektor parameter pengendali yang dituliskan sebagai berikut (Sastry dan Bodson, 1994 : 117):

$$\theta^T(t) = [k_o(t), c_1(t), \dots, c_n(t), d_1(t), \dots, d_n(t)] \quad (2-5)$$

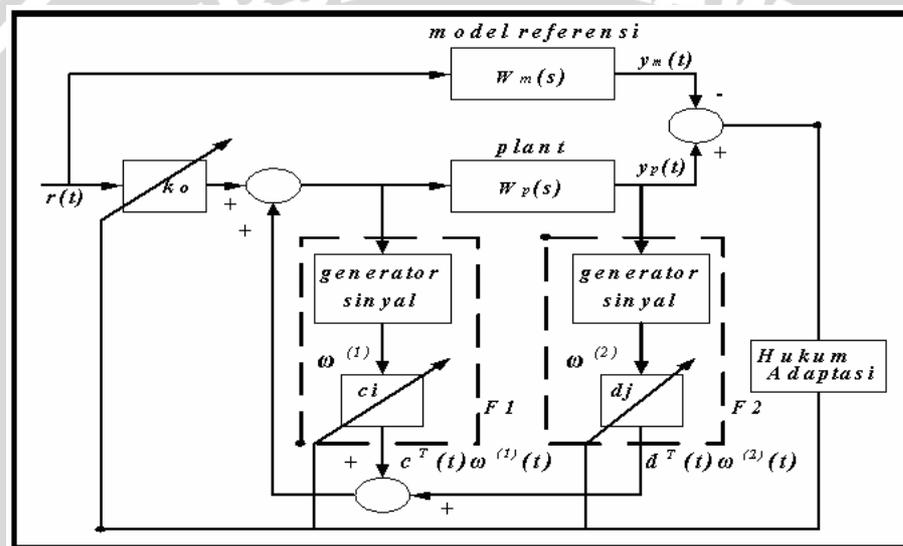
$$\theta^T(t) = [k_o(t), c^T(t), d^T(t)] \quad (2-6)$$

Sinyal kendali u yang dihasilkan oleh pengendali adalah:

$$u(t) = \theta^T(t) \cdot \omega(t) \quad (2-7)$$

$$u(t) = k_o(t) r(t) + c^T(t) \omega^{(1)}(t) + d^T(t) \omega^{(2)}(t) \quad (2-8)$$

Sinyal kendali u ini digunakan sebagai masukan bagi *plant*.



Gambar 2.2. Struktur dasar pengendali adaptif.
(Sumber : Butler, 1992 : 53)

F_1 dan F_2 masing-masing terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter pengendali yang dinyatakan dengan fungsi alih $W_1(s)$ dan $W_2(s)$, yaitu : (Butler, 1992 : 64)

$$W_1(s) = \frac{C(s)}{N(s)} \quad (2-9)$$

$$W_2(s) = \frac{D(s)}{N(s)} \quad (2-10)$$

dengan

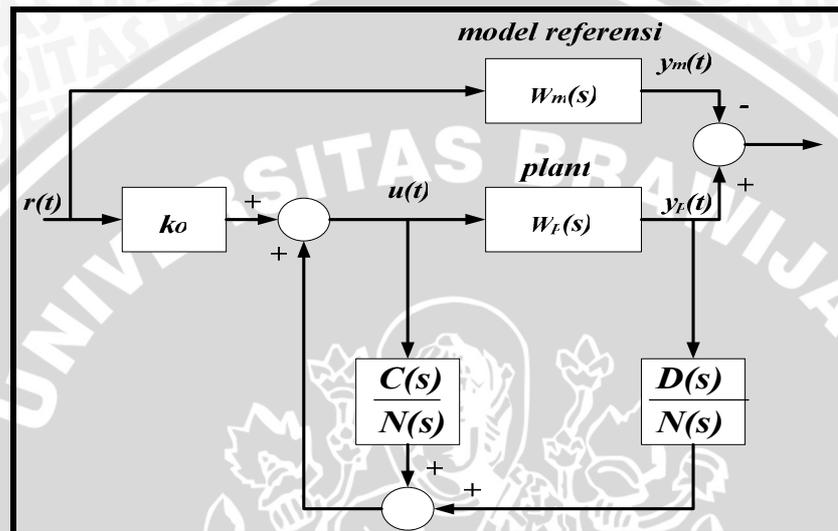
$$C = c_n s^{n-1} + \dots + c_2 s + c_1$$

$$N = s^{n-1} + n_{n-1} s^{n-2} + \dots + n_1$$

$$D = d_n s^{n-1} + \dots + d_2 s + d_1$$

Polinomial $N(s)$ pada generator sinyal bantu adalah *zero* model referensi. $N(s)$ adalah polinomial dengan orde m atau $n-1$, $C(s)$ dan $D(s)$ adalah polinomial dengan orde $n-2$. (Sastry dan Bodson, 1994 : 105)

Struktur pengendali adaptif dapat digambarkan dalam bentuk sederhana seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.3. Sinyal kendali $u(t)$ yang dihasilkan pengendali digunakan sebagai masukan bagi *plant*, sehingga keluaran *plant* sesuai dengan keluaran model referensi.



Gambar 2.3. Struktur pengendali dalam bentuk sederhana.
(Sumber : Sastry dan Bodson, 1993 : 104)

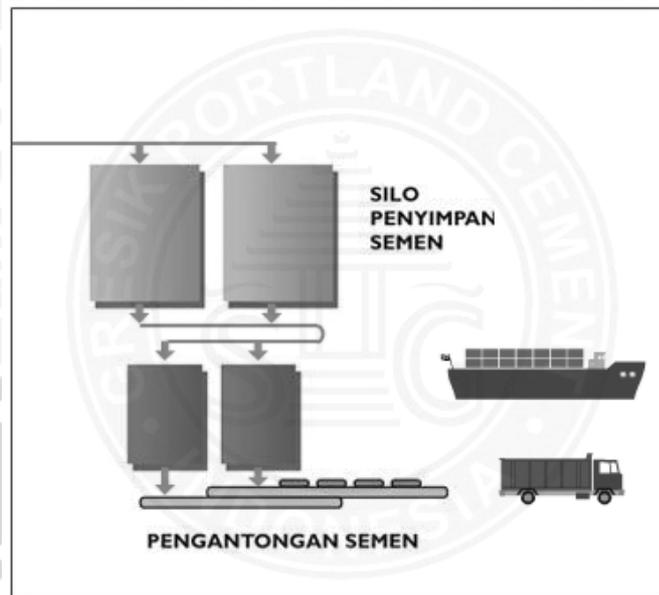
2.2.5. Hukum Adaptasi

Proses adaptasi berlangsung dengan adanya perubahan nilai pada parameter pengendali. Proses ini berlangsung selama terjadi *error* antara keluaran *plant* $y_p(t)$ dan keluaran model referensi $y_m(t)$. Proses adaptasi dilakukan berdasarkan hukum adaptasi (Narendra dan Annaswamy, 1989 : 195). Dalam hukum adaptasi, parameter pengendali diubah sedemikian hingga *error* antara $y_p(t)$ dengan $y_m(t)$ sama dengan 0. Penyesuaian parameter pengendali menghasilkan sinyal kendali $u(t)$ sebagai masukan bagi *plant*, sehingga keluaran $y_p(t)$ akan mendekati $y_m(t)$ pada saat t menuju tak hingga. Hal tersebut dapat dituliskan sebagai berikut : (Narendra dan Annaswamy, 1989 : 25)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| = 0 \quad (2-11)$$

Pada MRAS, *error* antara y_p dengan y_m digunakan secara langsung untuk mengubah nilai parameter pengendali. Proses adaptasi pada MRAS ini disebut dengan adaptasi langsung (Sastry dan Bodson, 1993 : 110).

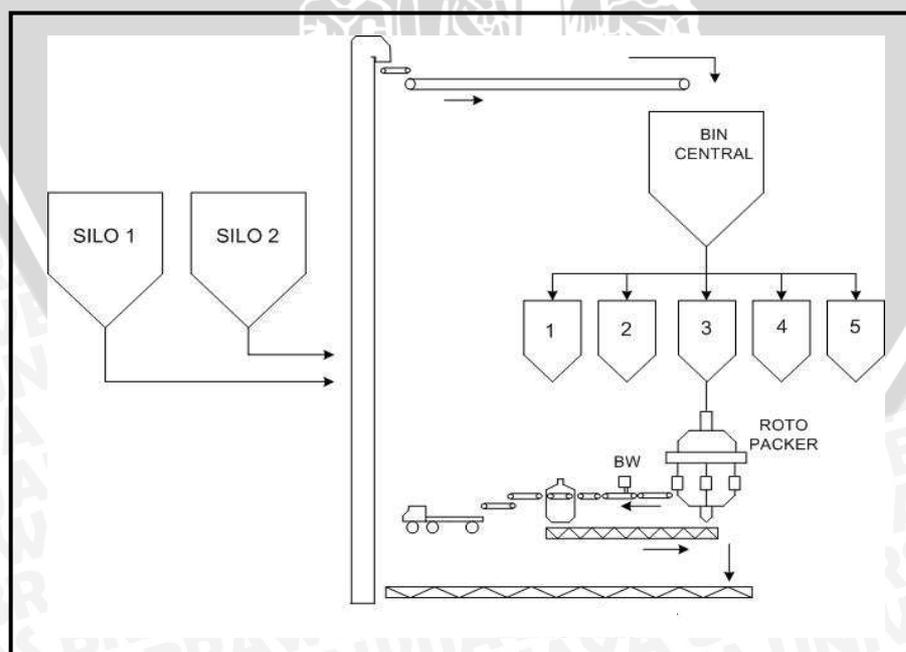
2.3. Proses Pengepakan Semen di PT. Semen Gresik - Tuban



Gambar 2.4. Proses pengepakan semen.

(Sumber : <http://www.semengresik.com/indonesia/about/images/plant.swf>)

Semen dari penggilingan akhir diteruskan ke silo penyimpanan semen kemudian pada saat proses pengepakan akan dikeluarkan menggunakan *rotary feeder*. Pada proses pengantongan semen di PT. Semen Gresik – Tuban yang menggunakan sistem *roto packer*, dapat dijelaskan pada diagram kerja di bawah ini :



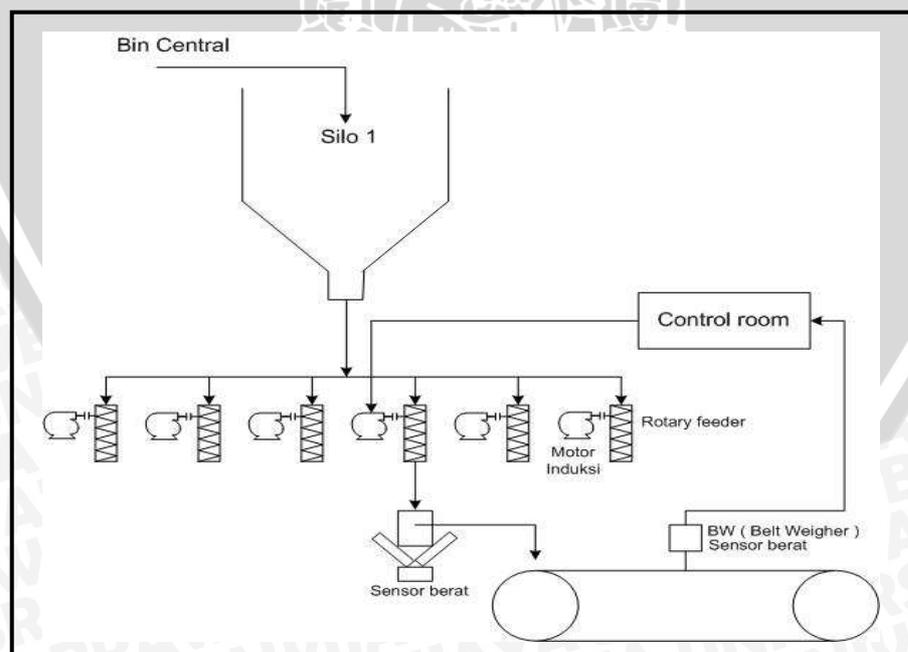
Gambar 2.5. Diagram kerja pengepakan semen.

(Sumber : PT. Semen Gresik – Tuban)

Dari silo penyimpanan, semen dialirkan melalui *elevator bin* menuju *bin central* tempat menampung semen yang akan diisikan ke silo pengisian yang jumlahnya tidak hanya satu buah. Oleh silo pengisian semen diteruskan ke *roto packer* untuk dilakukan pengemasan ke dalam kantong-kantong sak semen yang sebelumnya telah ditempatkan oleh manusia. Setelah proses pengisian oleh *roto packer* selesai, maka akan dilakukan pengecekan oleh *belt weigher*, dan kemudian memisahkan antara semen yang sesuai atau melebihi nilai nominal yang tertera dalam kantong, dengan semen yang beratnya kurang dari nilai nominal.

2.4. *Roto Packer*

Pada gambar 2.6. diperlihatkan proses yang terjadi pada sistem *roto packer*. Setiap sak semen diisi oleh *roto packer* sesuai *set point* yang diinginkan, dalam hal ini sebesar 40.2 kg, dimana *aktuator* dari *roto packer* sendiri adalah *rotary feeder* yang digerakkan oleh motor induksi. Kecepatan dari *rotary feeder* ditentukan oleh besarnya putaran yang dihasilkan oleh motor induksi. Setelah mencapai hasil yang sesuai dengan *set point*, maka sak semen akan diteruskan ke *belt conveyor* untuk ditimbang oleh *belt weigher* apakah berat sak semen telah sesuai dengan *set point*. Hasil pengukuran berat oleh *belt weigher* akan diteruskan ke *control room* untuk diambil tindakan, apakah perlu ditambah atau dikurangi pada proses pengisian sak semen berikutnya.



Gambar 2.6. Diagram kerja sistem *roto packer*.
(Sumber : PT. Semen Gresik – Tuban)

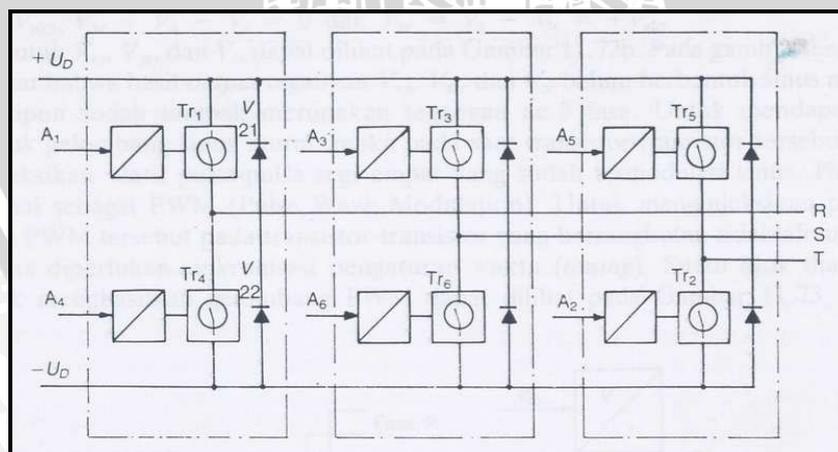
Dalam pengisian semen tersebut terdapat gangguan dengan pola yang acak yaitu berupa debu yang menempel pada pedal *roto packer*. Hal ini mengakibatkan berat yang telah diukur oleh sensor berat pada *roto packer*, (berfungsi untuk memeriksa apakah berat dari sebuah sak semen yang sudah terisi sesuai nominal atau tidak) berbeda dengan berat yang diukur oleh *belt weigher* sehingga diperlukan adanya tindakan, perlu dilakukan penambahan atau pengurangan pada pengisian pada proses selanjutnya yang akan berdampak pada kecepatan putaran dari motor induksi.

2.5. Inverter

Konversi arus searah menjadi arus bolak-balik dikenal dengan istilah *inverter*. Pada konversi ini dapat diatur tegangan maupun frekuensi *output*-nya (Zuhail, 2000 : 229). Ada dua jenis *inverter* yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik yaitu (Zuhail, 2000 : 220) :

1. Inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang konstan CVCF (*Constant Voltage Constant Frequency*).
2. Inverter dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah.

Pada *roto packer* proses pengepakan semen PT. Semen Gresik - Tuban menggunakan *inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah-ubah. Prinsip dasar dari *inverter* 3 fasa dengan menggunakan *switching* transistor dapat dilihat pada gambar 2.7. (Zuhail, 2000 : 223)

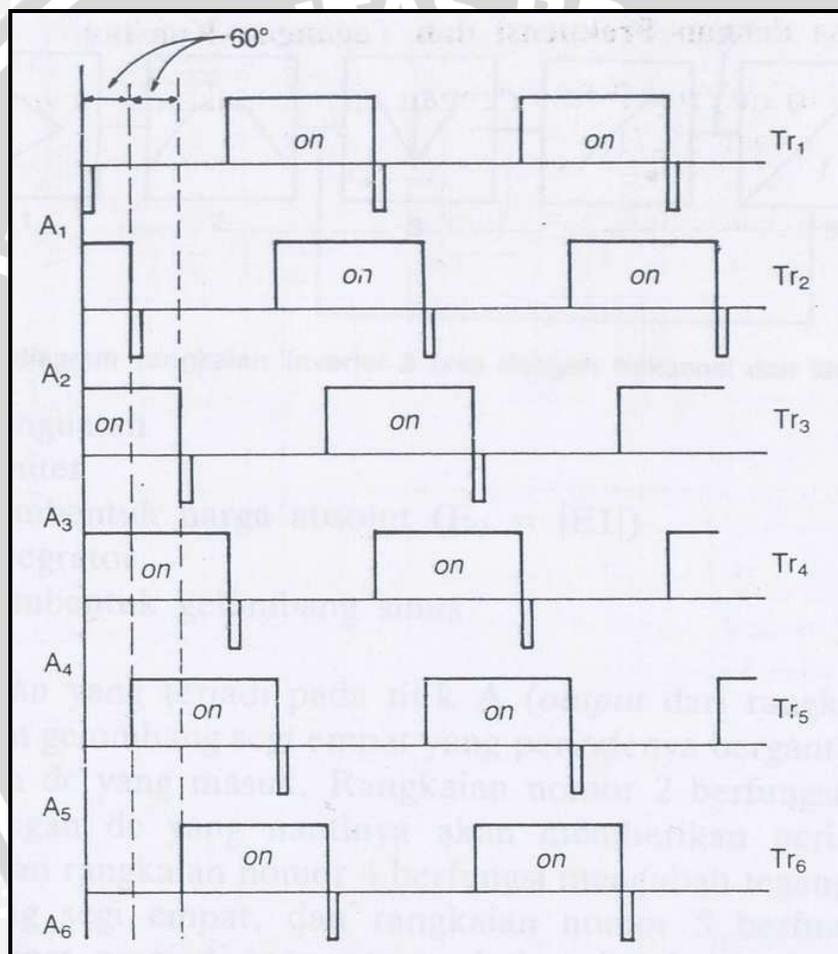


Gambar 2.7. Prinsip dasar dari inverter 3 fasa.
(Sumber : Zuhail, 2000 : 223)

Pengaturan *on-off* transistor Tr_1 sampai dengan transistor Tr_6 dilakukan oleh pulsa-pulsa *trigger* A_1 sampai dengan A_6 . Munculnya pulsa-pulsa *trigger* ini diatur

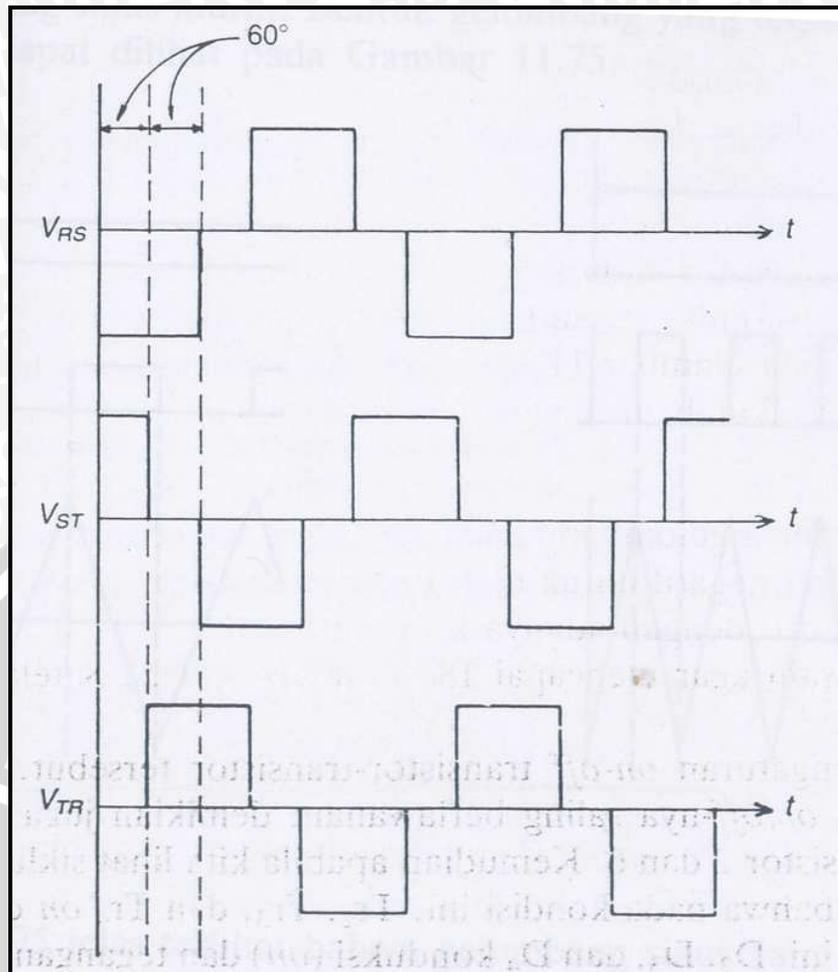
sedemikian rupa sehingga urutannya mulai dari A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 , dan terakhir A_6 dengan referensi gambar 2.7 di atas.

Perbedaan periode A_1 ke A_2 , A_2 ke A_3 , dan seterusnya adalah 60 derajat elektrik, sedangkan periode pada tiap-tiap pulsa itu sendiri (pulsa A_1 yang pertama ke A_1 yang kedua) adalah sebesar 360 derajat elektrik. Selain itu waktu kontak (*on*) untuk tiap transistor didesain sedemikian rupa yaitu sebesar 180 derajat elektrik. Bentuk pulsa-pulsa A_1 sampai A_2 dan kondisi *on-off* Tr_1 sampai dengan Tr_6 dapat dilihat pada gambar 2.8. Dengan adanya dioda D_1 sampai dengan D_6 , maka akan dihasilkan bentuk tegangan-tegangan pada *output* R, S, T gambar 2.9.



Gambar 2.8. Bentuk pulsa-pulsa *trigger* dan keadaan *on* untuk transistor (Tr_1 s/d Tr_6).
(Sumber : Zuhail, 2000 : 224)

Penjelasan terjadinya gelombang pada titik R, S, T, adalah sebagai berikut: Di sini digunakan *trigger* negatif untuk men-*trigger* transistor yang semula *on* menjadi *off*. Pada keadaan *off*, dengan adanya konstanta waktu $T = R \times C$, maka waktu *off*-nya dapat didesain agar mencapai 180 derajat elektrik. Setelah itu, transistor akan *on* kembali.

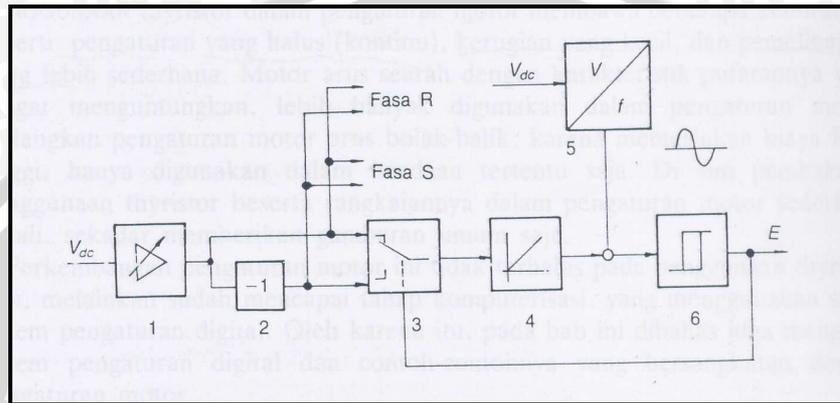


Gambar 2.9. Bentuk tegangan *output* V_{RS} , V_{ST} , dan V_{TR} .
(Sumber : Zuhail, 2000 : 224)

Berdasarkan pengaturan *on-off* transistor-transistor tersebut, ternyata transistor 1 dan 4 *on/off*-nya saling berlawanan, demikian juga untuk transistor 3 dan 6, serta transistor 2 dan 6. Kemudian siklus 0 derajat \rightarrow 60 derajat, ternyata pada kondisi ini Tr_2 , Tr_3 , dan Tr_4 *on* dan yang lainnya *off*. Pada keadaan ini, D_2 , D_3 , dan D_4 konduksi (*on*) dan tegangan di titik R = 0, di titik S = V_{dc} , dan di titik T = 0, sehingga dengan demikian tegangan $V_{RS} = V_R - V_S = -V_{dc}$, $V_{ST} = V_S - V_T = +V_{dc}$, dan $V_{TR} = V_T - V_R = 0$. Demikian pula untuk siklus 60 derajat \rightarrow 120 derajat, di sini Tr_3 , Tr_4 , dan Tr_5 *on*, yang menyebabkan D_3 , D_4 , dan D_5 konduksi (*on*). Hal ini akan menimbulkan tegangan di titik R = 0, titik S = V_{dc} dan di titik T = $+V_{dc}$, sehingga dengan demikian tegangan $V_{RS} = V_R - V_S = -V_{dc}$, $V_{ST} = V_S - V_T$ dan $V_{TR} = V_T - V_R = +V_{dc}$.

Bentuk V_{RS} , V_{ST} dan V_{TR} , dapat dilihat pada gambar 2.9. Pada gambar tersebut terlihat bahwa hasil *output* tegangan V_{RS} , V_{ST} , dan V_{TR} belum berbentuk sinus murni meskipun sudah tampak merupakan tegangan ac 3 fasa. Untuk mendapatkan bentuk

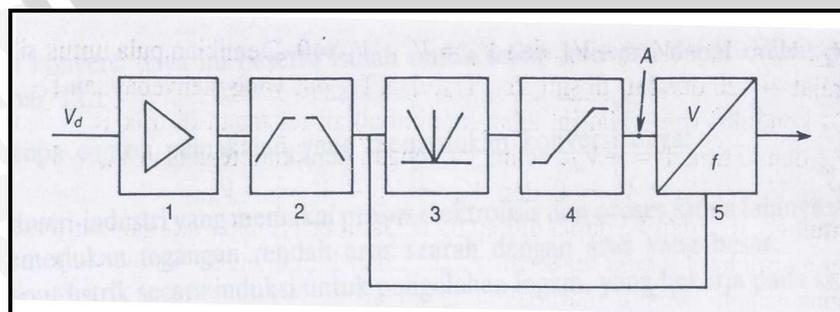
gelombang sinus murni, maka pada saat transistor-transistor tersebut *on*, diinjeksikan suatu pulsa-pulsa segi empat yang sudah termodulasi sinus. Hal ini dikenal sebagai PWM (*Pulse Wave Modulation*). Untuk menginjeksikan pulsa-pulsa PWM tersebut pada transistor-transistor yang bersangkutan tidaklah mudah karena diperlukan sinkronisasi pengaturan waktu (*timing*). Suatu blok diagram untuk menghasilkan gelombang PWM dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Blok diagram rangkaian pembentuk PWM.
(Sumber : Zuhail, 2000 : 225)

1. Rangkaian penguat yang dapat diatur
2. Rangkaian pembalik fasa
3. Rangkaian switching
4. Rangkaian integrator
5. Rangkaian pengubah tegangan dc menjadi gelombang sinus
6. Rangkaian pengatur pulsa

Dengan menambahkan suatu rangkaian yang mampu mengubah besar perubahan tegangan yang terjadi menjadi perubahan frekuensi, secara blok diagram dari rangkaian itu dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Blok diagram rangkaian 3 fasa dengan frekuensi dan tegangan berubah.
(Sumber : Zuhail, 2000 : 225)

1. Rangkaian penguatan
2. Rangkaian limiter
3. Rangkaian pembentuk harga absolut ($E_0 = |E_1|$)
4. Rangkaian integrator
5. Rangkaian pembentuk gelombang sinus

Bentuk tegangan yang terjadi pada titik A (*output* dari rangkaian nomor 4) merupakan gelombang segi empat yang periodenya bergantung pada besar kecilnya tegangan dc yang masuk. Rangkaian nomor 2 berfungsi menghasilkan suatu level tegangan dc yang nantinya akan memberikan periode $t(T)$ yang tertentu, sedangkan rangkaian nomor 4 berfungsi mengubah tegangan dc menjadi bentuk gelombang segi empat, dan rangkaian nomor 5 berfungsi mengubah tegangan segi empat menjadi tegangan segi tiga dan kemudian mengubahnya menjadi gelombang sinus murni.

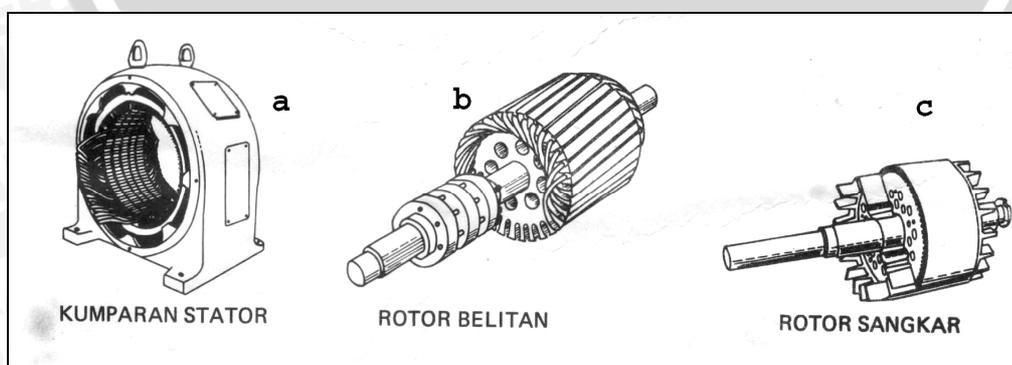
Tabel 2.1. Data spesifikasi dan pengukuran *inverter* pada *roto packer*.

Daya	Model			V	I
5,5 _{kw}	400 class inverter	input	DC	0 _V -400 _V	0 _A -14,8 _A
	3G3IV-A4055	output	AC	380 _V -460 _V	0 _A -15 _A

(Sumber : PT. Semen Gresik – Tuban)

2.6. Motor Induksi

Motor induksi tiga fasa dibedakan menjadi dua macam, yaitu motor induksi sangkar tupai (*squirrel-cage* atau *brushless induction motor*) dan motor induksi rotor belit (*wound rotor* atau *slip-ring induction motor*). Kedua jenis motor ini memiliki prinsip dasar operasi yang sama dan memiliki konstruksi yang sama pada statornya tetapi berbeda dalam konstruksi rotornya.



Gambar 2.12. Konstruksi stator dan macam-macam rotor.

(Sumber : Zuhail, 2000 : 101)

Bagian stator motor induksi terdiri atas 3 kumparan. Bagian rotor belit terdiri atas kumparan yang ditanam di dalam alur-alur rotor. Kumparan ini bentuknya sama dengan kumparan stator tetapi jumlah belitannya tidak sebanyak kumparan stator. Konstruksi rotor belit biasa dipakai pada motor induksi dengan kapasitas yang besar, dimana kumparan rotor dihubungkan dengan cincin seret yang berguna untuk menghubungkan kumparan rotor dengan tahanan yang berfungsi untuk mengatur arus awal. Sedangkan rotor sangkar terdiri atas beberapa batang tembaga yang ditanam di alur-alur rotor. Pada kedua sisi rotor terdapat cincin untuk menghubungkan ujung-ujung batang tembaga sehingga akan membentuk suatu sangkar.

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama (Sumanto, 1993 : 2) yakni; Motor induksi satu fase, Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci, dan pengering pakaian. Motor induksi tiga fase, Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, memiliki sangkar atau gulungan rotor, dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder. Tersedia dalam ukuran $\frac{1}{3}$ hingga ratusan HP.

Skripsi ini hanya akan membahas motor induksi dengan rotor sangkar yang merupakan jenis motor induksi yang digunakan pada *roto packer* proses pengepakan semen di PT. Semen Gresik – Tuban, dengan data spesifikasi dan hasil pengukuran motor induksi pada tabel 2.1. Secara ekonomis motor induksi paling banyak digunakan karena harganya lebih murah, secara mekanis lebih kuat, dan relatif hanya membutuhkan sedikit perawatan.

Tabel 2.2. Data spesifikasi & pengukuran motor induksi pada *roto packer*.

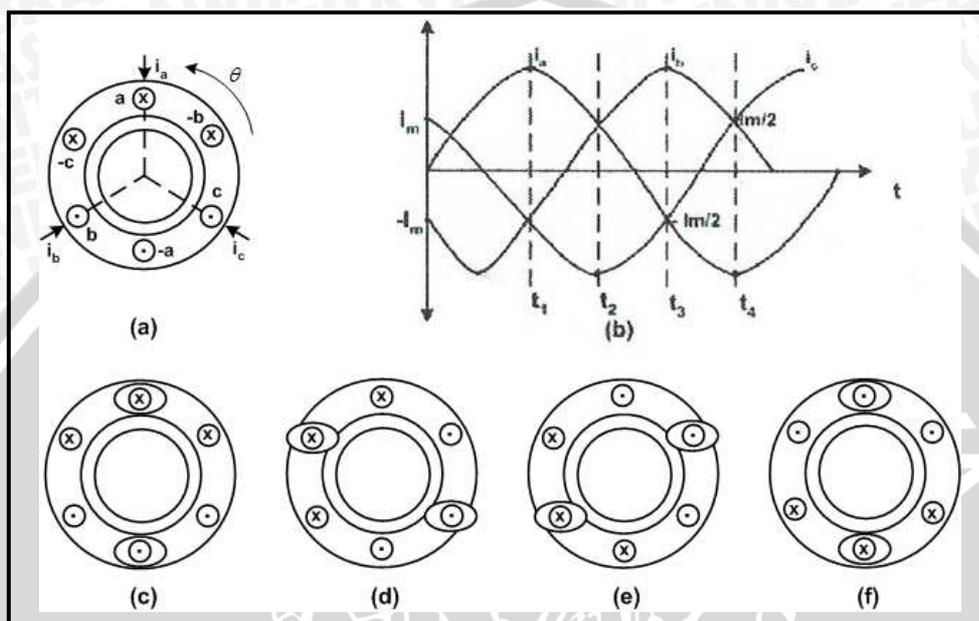
Daya	N	V	I	Hertz	Kutub
5 _{HP} /3730 _W	1765 _{RPM}	200 _V /380 _V	4,5 _A /12 _A	60	4

L _s	L _r	L _m	R _s	R _r	J	B _t
398 _{mH}	398 _{mH}	382 _{mH}	1,533 _Ω	2,220 _Ω	0,1165 _{kg·m²}	0,05 _{N·m·s}

(Sumber : PT. Semen Gresik – Tuban)

2.6.1. Medan Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluksi yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan sumber tiga fasa. Pada gambar 2.13. dijelaskan bagaimana terjadinya medan putar itu. (Zuhail, 2000 : 102)



Gambar 2.13. (a) Kumparan a -a; b -b; c -c dihubung 3 fasa.
 (b) Distribusi arus i_a , i_b dan i_c sebagai fungsi waktu.
 (c, d, e, f) Fluksi resultan yang ditimbulkan oleh masing-masing kumparan.
 (Sumber : Zuhail, 2000 : 102)

Medan magnet total yang dihasilkan oleh ketiga kumparan tersebut dikenal sebagai medan putar. Misalkan kumparan a -a; b -b; c -c dihubungkan tiga fasa, dengan beda fase masing-masing 120° (gambar 2.13.a) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi arus i_a , i_b , dan i_c sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada gambar 2.13.b. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 , fluksi resultan yang ditimbulkan oleh masing-masing kumparan tersebut seperti gambar 2.13.c., 2.13.d., 2.13.e., dan 2.13.f. (Zuhail, 2000 : 103)

Secara matematis, prinsip terjadinya medan putar dapat dijelaskan :

$$I_{as} = I_{maks} \cos \omega t \quad (2-12)$$

$$I_{bs} = I_{maks} \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (2-13)$$

$$I_{cs} = I_{maks} \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (2-14)$$

gaya gerak magnet (ggm) menyatakan perkalian antara arus yang mengalir dengan jumlah lilitan dalam kumparan. Karena ketiga kumparan dari masing-masing fasa terpisah satu sama lain sebesar 120° listrik, maka ggm yang dihasilkan pada masing-masing kumparan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$F_{as} = F_{maks} \cos \omega t \cos \theta \quad (2-15)$$

$$F_{bs} = F_{maks} \cos(\omega t - 120^\circ) \cos(\theta - 120^\circ) \quad (2-16)$$

$$F_{cs} = F_{maks} \cos(\omega t - 240^\circ) \cos(\theta - 240^\circ) \quad (2-17)$$

$$F_{maks} = \frac{4K_w N_f I_{maks}}{\pi n_p} \quad (2-18)$$

dengan :

$$\omega = 2\pi f = \text{kecepatan sudut tegangan/ arus stator (rad/s)}$$

$$K_w = \text{faktor belitan}$$

$$N_f = \text{jumlah belitan per fasa}$$

$$I_{maks} = \text{arus stator maksimum}$$

$$n_p = \text{jumlah pasang kutub}$$

jumlah resultan ketiga ggm tersebut menyatakan ggm stator yang disebut dengan medan putar, dinyatakan dengan :

$$F(\theta, t) = F_{as} + F_{bs} + F_{cs} \quad (2-19)$$

$$F(\theta, t) = F_{maks} \cos \omega t \cos \theta + F_{maks} \cos(\omega t - 120^\circ) \cos(\theta - 120^\circ) + F_{maks} \cos(\omega t - 240^\circ) \cos(\theta - 240^\circ) \quad (2-20)$$

dengan menggunakan kaidah trigonometri

$$\cos \beta \cos \alpha = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) \quad (2-21)$$

akan diperoleh

$$F(\theta, t) = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta + \omega t) + \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta + \omega t - 240^\circ) + \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta + \omega t - 480^\circ) \quad (2-22)$$

suku kedua, keempat dan keenam saling menghapuskan, sehingga akan menghasilkan :

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t) \quad (2-23)$$

yang merupakan suatu persamaan gelombang berjalan yang menunjukkan terbentuknya medan putar. (Zuhail, 2000 : 104)

Besarnya fluksi stator dinyatakan dengan :

$$\lambda_s = \frac{F(\theta, t)}{R_m} \quad (2-24)$$

dimana R_m menyatakan reluktansi atau tahanan magnet.

2.6.2. Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi secara ringkas sebagai berikut (Zuhal, 2000 : 105) :

- a. Jika kumparan stator motor induksi dengan jumlah pasangan kutub n_p dihubungkan dengan sumber tegangan 3 fasa dengan kecepatan listrik ω , maka pada celah udara akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron ω_s

$$(\omega_s = \frac{\omega}{n_p}) \text{ rad/s.}$$

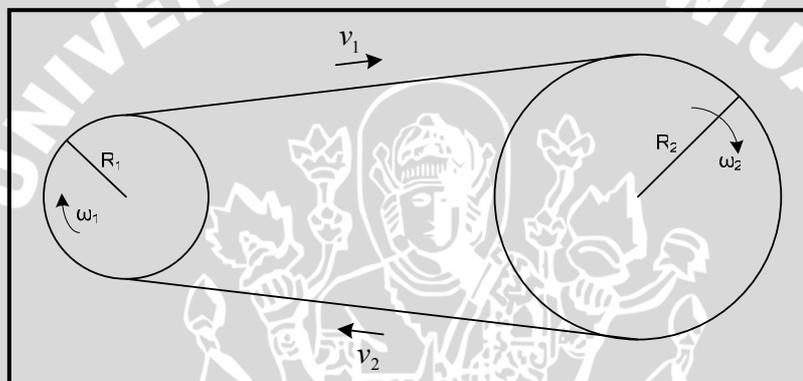
- b. Medan putar ini akan memotong batang konduktor pada rotor, sehingga sesuai hukum Faraday ($e = \frac{d\lambda_s}{dt} = \frac{Bl dx}{dt}$; dengan λ_s , B dan l , masing-masing melambangkan fluksi magnetis, kerapatan fluksi/intensitas medan putar dan panjang batang konduktor rotor yang bergerak sejauh dx dalam waktu dt) akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (ggl) pada rotor.
- c. Karena konduktor-konduktor rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl (e) akan menimbulkan arus (i).
- d. Adanya arus (i) di dalam medan magnet (medan putar) sesuai hukum Lorentz ($F = Bil$) akan menimbulkan gaya mekanis (F) yang bekerja terhadap batang rotor itu sendiri. Gaya mekanis inilah yang menyebabkan rotor dapat berputar dengan kecepatan sudut ω_m rad/s.
- e. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya mekanis pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan arah putaran medan putar stator.
- f. Agar timbul ggl (e), maka diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan sinkron ω_s dengan kecepatan motor induksi ω_m . Perbedaan kecepatan ini disebut slip (S) dan dinyatakan dengan :

$$S = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \times 100\%$$

Bila $\omega_s = \omega_m$ maka ggl tidak akan timbul sehingga arus juga tidak timbul, akibatnya tidak dihasilkan kopel. Kopel baru akan timbul bila $\omega_m < \omega_s$.

2.7. Rasio Reducer

Rasio reducer adalah suatu blok mekanik yang berfungsi untuk menurunkan putaran motor. Hubungan mekanik didalamnya dibuat sedemikian rupa sehingga keluaran *reducer* ini adalah putaran yang lebih rendah dari masukan putarannya. Salah satu hubungan mekaniknya adalah hubungan antara kecepatan sudut dari motor induksi dan kecepatan sudut *rotary feeder* yang dihubungkan seperti roda gigi sepeda, menurut gambar 2.14. (Sears dan Zemansky, 2002 : 273)



Gambar 2.14. Hubungan antara motor induksi dengan *rotary feeder*.
(Sumber : Sears dan Zemansky, 2002 : 273)

2.8. Rotary Feeder

Rotary feeder adalah bagian dari proses pengepakan yang berfungsi untuk mengisi semen ke dalam sak semen. *Rotary feeder* sendiri digerakkan oleh motor induksi sehingga kecepatan dari *rotary feeder* bergantung pada pengaturan kecepatan putaran motor induksi.

Rotary feeder ini di hubungkan oleh *rasio reducer* ke motor induksi sebagai aktuator sistem *roto packer*. Foto untuk *rotary feeder* yang digunakan oleh PT. Semen Gresik - Tuban dapat ditunjukkan oleh gambar 2.15. yang diambil pada bagian bengkel pabrik merupakan *rotary feeder* yang sedang dibersihkan dalamnya guna kelancaran proses pengisian semen ke dalam sak semen yang telah disiapkan.

Proses pengisian semen ke sak semen dilakukan oleh jarum yang ditusukan ke dalam sak semen, sehingga tidak bisa dilakukan pengaturan buka atau tutup pada ujung jarumnya.



Gambar 2.15. *Rotary feeder.*
(Sumber : PT. Semen Gresik - Tuban)

Tabel 2.3. Data spesifikasi *rotary feeder.*

simbol	keterangan	nominal	unit
γ	berat jenis semen	3,1	kg/m ³
e	jari-jari lubang keluaran	2,5	cm
z	jumlah baling-baling	6	pcs
b	lebar baling-baling	5	cm
t	tebal baling-baling	1	cm
R	tebal hausing	12,5	cm

(Sumber : PT. Semen Gresik – Tuban)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan dalam penyusunan skripsi ini sehingga tercapai tujuan penulisan, maka penyusun membagi tahap pengerjaan menjadi:

1. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan melalui kajian literatur yang meliputi data-data sekunder mengenai *roto packer* pada proses pengepakan semen di PT. Semen Gresik - Tuban.

2. Pemodelan sistem dan perancangan kontroler

Pemodelan yang dilakukan meliputi:

- Penentuan fungsi alih dari *plant*.
- Penentuan model referensi.
- Penentuan persamaan *error*.
- Penentuan hukum adaptasi.
- Penentuan dan *tuning* parameter pengendali.

3. Simulasi model matematis

Simulasi model matematis dilakukan dengan menggunakan fasilitas-fasilitas yang ada pada *software* MATLAB 7.0.4 *service pack 2, Release 14*.

4. Analisa respon sistem dinamik

Analisa respon sistem dilakukan dengan mengamati respon sistem pengendalian menggunakan metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS).

3.2. Cara Kerja Penelitian

Dalam menjawab masalah-masalah dalam suatu penelitian dan pembuktian tentang ditolak dan diterimanya hipotesis yang diajukan, diperlukan cara-cara ilmiah berupa ketentuan-ketentuan yang sudah baku dan dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya. Berdasarkan hal tersebut, cara kerja penelitian ini dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- Studi literatur, yaitu membaca, mempelajari dan memahami literatur tentang sistem pengendalian adaptif metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) dan *plant* yakni; sistem *roto packer* serta literatur lain yang erat kaitannya dan menunjang perancangan sistem tersebut.

2. Merancang sistem *roto packer* dengan pengendalian adaptif metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS).
3. Membuat simulasi program dan analisa hasil simulasinya.

3.3. Analisa Data

Proses analisa dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

1. Penurunan model matematis

Analisa data dilakukan dengan perhitungan menggunakan metode yang akan dibahas pada BAB IV.

2. Analisa model dan perancangan kontroler

Analisis pemodelan dimaksudkan untuk menjelaskan metode-metode yang digunakan dalam perancangan sistem *roto packer*.

3. Visualisasi

Analisis data yang dilakukan bertujuan agar dapat mengetahui perilaku dari sistem, yang diperoleh dalam bentuk respon terhadap masukan dengan melihat tampilan grafik setelah melakukan simulasi model matematis pada *software* MATLAB 7.0.4 *service pack 2, Release 14*.

3.4. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengujian dan simulasi *software* MATLAB 7.0.4 *service pack 2, Release 14* serta saran-saran mengenai proses pengendalian *roto packer* pada proses pengepakan PT. Semen Gresik - Tuban untuk perbaikan sistem di masa mendatang.

BAB IV

PEMODELAN SISTEM *ROTO PACKER*

DAN DESAIN MRAS

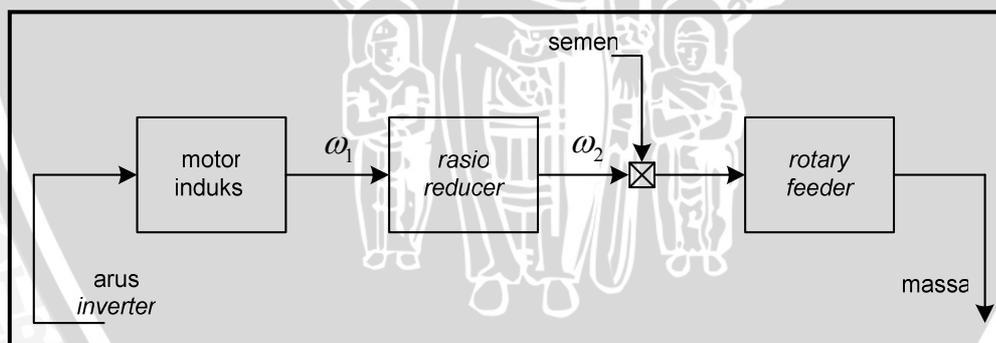
4.1. Definisi

Pemodelan suatu sistem yaitu cara menyatakan sistem dalam dunia riil ke dalam bentuk matematika, hal tersebut dilakukan dengan mengimplementasikan hukum-hukum dasar ilmu alam (fisika atau kimia).

Persamaan karakteristik sistem merupakan hal yang terpenting dalam menentukan fungsi alih suatu sistem. Persamaan karakteristik menentukan kelakuan sistem tersebut, jika model matematis sistem diketahui maka grafik tanggapan sistem dapat diperoleh dengan melakukan simulasi model. Hasil simulasi tersebut akan dibandingkan dengan data yang sebenarnya.

4.2. Proses Pengepakan Dengan Sistem *Roto Packer*

Sistem *roto packer* pada PT. Semen Gresik - Tuban terdiri dari beberapa bagian yang dicari modelnya agar bisa disimulasikan. gambar 4.1 menunjukkan diagram kerja dari *roto packer*.



Gambar 4.1. Diagram kerja *roto packer*.

Berdasarkan gambar 4.1 di atas, sistem *roto packer* terdiri atas beberapa komponen pokok yaitu: motor induksi, *rasio reducer*, dan *rotary feeder*. Untuk memudahkan simulasi maka dicari model matematis masing-masing blok dari diagram kerja *roto packer* di atas dan model matematis yang digunakan berdasarkan literatur yang ada.

4.3. Motor Induksi

Memodelkan pengaturan kecepatan motor induksi dengan metoda *indirect vector control* diasumsikan fluksi rotor adalah konstan (Krishnan, 2001 : 492), yang dapat ditulis sebagai berikut

$$\lambda_r = a \text{ konstan} \quad (4-1)$$

$$\dot{\lambda}_r = 0 \quad (4-2)$$

dengan persamaan tegangan stator motor induksi

$$v_{qs}^e = (R_s + L_s p)i_{qs}^e + \omega_s L_s i_{ds}^e + L_m p i_{qr}^e + \omega_s L_m i_{dr}^e \quad (4-3)$$

$$v_{ds}^e = -\omega_s L_s i_{qs}^e + (R_s + L_s p)i_{ds}^e + \omega_s L_m i_{dr}^e + L_m p i_{qr}^e \quad (4-4)$$

tetapi dengan vektor kontrol, hubungan antara fluksi rotor pada sumbu q dan d digunakan untuk menyusun kembali persamaan tegangan stator

$$i_{qr}^e = -\frac{L_m}{L_r} i_{qs}^e \quad (4-5)$$

$$i_{dr}^e = \frac{\lambda_r}{L_r} - \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^e \quad (4-6)$$

dengan R_s dan R_r adalah resistansi stator dan resistansi rotor, L_s dan L_r adalah induktansi diri pada stator dan rotor. Substitusikan persamaan arus rotor ke dalam persamaan tegangan stator akan menghasilkan

$$v_{qs}^e = (R_s + \sigma L_s p)i_{qs}^e + \sigma \omega_s L_s i_{ds}^e + \omega_s \frac{L_m}{L_r} \lambda_r \quad (4-7)$$

$$v_{ds}^e = (R_s + \sigma L_s p)i_{ds}^e + \sigma \omega_s L_s i_{qs}^e + \frac{L_m}{L_r} \lambda_r \quad (4-8)$$

dengan σ adalah koefisien kebocoran. Seperti yang diketahui bahwa akan dihasilkan fluksi yang konstan oleh arus stator ketika keadaan *steady state*, dan pada sumbu d dengan arus stator dalam keadaan sinkron, turunannya adalah nol. Seperti diberikan pada persamaan di bawah

$$i_f = i_{ds}^e \quad (4-9)$$

$$\dot{i}_{ds}^e = 0 \quad (4-10)$$

komponen yang memproduksi torsi pada arus stator adalah arus pada sumbu q dalam keadaan sinkron, diberikan pada persamaan

$$i_T = i_{qs}^e \quad (4-11)$$

dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan tegangan pada sumbu q axis menghasilkan

$$v_{qs}^e = (R_s + L_a p)i_T + \omega_s L_a i_f + \omega_s \frac{L_m}{L_r} \lambda_r \quad (4-12)$$

dengan persamaan $L_a = 0,0314$ H adalah

$$L_a = \sigma L_s = \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \right) \quad (4-13)$$

dengan

$$L_s = \text{induktansi stator} = 0,398 \text{ H}$$

$$L_r = \text{induktansi rotor} = 0,398 \text{ H}$$

$$L_m = \text{induktansi bersama} = 0,382 \text{ H}$$

substitusikan untuk $\lambda_r = L_m i_f$ ke dalam tegangan stator pada sumbu q axis pada referensi keadaan sinkron

$$v_{qs}^e = (R_s + L_a p)i_T + \omega_s L_a i_f + \omega_s \frac{L_m^2}{L_r} i_f = R_s + L_a p i_T + \omega_s L_s i_f \quad (4-14)$$

persamaan kedua stator tidak dibutuhkan lagi, sehingga solusinya akan menghasilkan i_T , yang merupakan variabel yang dikontrol pada sistem. Sekarang persamaan dari frekuensi stator adalah

$$\omega_s = \omega_r + \omega_{s1} = \omega_r + \frac{i_T}{i_f} \left(\frac{R_r}{L_r} \right) \quad (4-15)$$

persamaan elektrik dari motor diperoleh dengan mensubstitusikan ω_s adalah

$$v_{qs}^e = (R_s + L_a p)i_T + \omega_r (L_s i_f) + \omega_{s1} L_s i_f = (R_s + L_a p)i_T + \omega_r (L_s i_f) + i_T \frac{R_r L_s}{L_r} \quad (4-16)$$

$$v_{qs}^e = \left(R_s + \frac{R_r L_s}{L_r} + L_a p \right) i_T + \omega_r (L_s i_f) \quad (4-17)$$

dari persamaan komponen yang menghasilkan torsi pada arus stator akan didapatkan

$$i_T = \frac{v_{qs}^e - \omega_r L_s i_f}{R_s + \frac{R_r L_s}{L_r} + L_a p} = \frac{K_a}{(1 + sT_a)} \{ v_{qs}^e - \omega_r L_s i_f \} \quad (4-18)$$

dengan

$$R_a = R_s + \frac{L_s}{L_r} R_r; K_a = \frac{1}{R_a}; T_a = \frac{L_a}{R_a} \quad (4-19)$$

$$R_s = \text{resistansi stator} = 1,533 \Omega$$

$$R_r = \text{resistansi rotor} = 2,220 \Omega$$

$$\text{maka } R_a = 3,753 \Omega; K_a = 0,2667; T_a = 0,0084$$

pada bagian ini terjadi konversi tegangan dan umpan balik kecepatan ke dalam arus torsi, yaitu torsi elektromagnetik dapat ditulis

$$T_e = K_t i_T \quad (4-20)$$

dengan konstanta dari torsi ($K_t = 8,2495$), didefinisikan sebagai

$$K_t = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} i_f \quad (4-21)$$

dengan

$$P = \text{daya motor induksi} = 5 \text{ hp}$$

$$i_f = \text{arus fasa inverter} = 6 \text{ A}$$

untuk beban dinamik dapat diwakilkan dengan persamaan torsi elektromagnetik dan torsi beban yang diberikan pada persamaan berikut

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = T_e - T_l = K_t i_T - B_l \omega_m \quad (4-22)$$

dengan B_l adalah konstanta beban, ω_m adalah kecepatan mekanik (Krishnan, 2001 : 275). Persamaan kecepatan rotor diturunkan dengan mengalikan masing-masing sisi dengan pasangan polonya

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = \frac{P}{2} K_t i_T - B_l \omega_m \quad (4-23)$$

sehingga fungsi alih antara kecepatan motor dengan torsi adalah

$$\frac{\omega_r(s)}{I_T(s)} = \frac{K_m}{1 + sT_m} \quad (4-24)$$

dengan

$$K_m = \frac{P}{2} \frac{K_t}{B_t}; B_t = B + B_l; T_m = \frac{J}{B_t} \quad (4-25)$$

$$\text{maka } K_m = 412,4736 \text{ dan } T_m = 2,33$$

Dengan memasukkan nilai-nilai dari parameter motor induksi, maka akan diperoleh fungsi alih antara kecepatan motor dan torsi adalah

$$\frac{\omega_r(s)}{I_T(s)} = \frac{412,4736}{1 + 2,33s} \quad (4-26)$$

4.3.1. Inverter

Error antara arus torsi referensi dan arus umpan balik menjadi masukan bagi inverter yang akan menghasilkan tegangan stator pada sumbu q . Kemudian arus ini akan dikuatkan melalui kontroler arus dari kontroler arus dapat dimisalkan sebagai gain. Sehingga inverter dapat dimodelkan sebagai sebuah gain ($K_{in} = 18,525$), dengan time lag T_{in} . Nilai gain diperoleh dari tegangan dc menuju inverter ($V_{dc} = 285$ volt), dan kontrol tegangan maksimum ($V_{cm} = 10$ volt) sebagai berikut (Krishnan, 2001 : 497)

$$K_{in} = 0.65 \frac{V_{dc}}{V_{cm}} \quad (4-27)$$

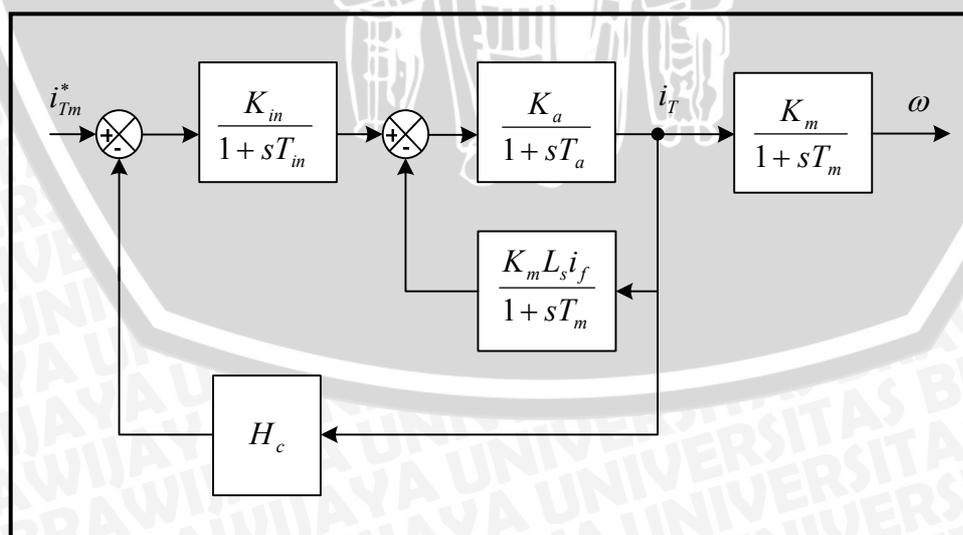
untuk faktor 0,65 diperoleh dari menghitung puncak maksimum dari tegangan yang diperoleh dari inverter yang diberikan tegangan dc, (Krishnan, 2001 : 495) dan time lag inverter ($T_{in} = 0,00025$ detik) sama dengan rata-rata waktu switching-cycle yaitu

$$T_{in} = \frac{1}{2f_c} \quad (4-28)$$

dengan $f_c = 2000\text{Hz}$ adalah frekuensi switching dari inverter.

4.3.2. Fungsi Alih Umpan Balik Inverter dan Motor Induksi

Sinyal umpan balik dari arus yang akan diproses melalui sebuah filter dengan orde satu yang diberikan pada persamaan fungsi alih dari umpan balik arus dapat dinotasikan sebagai sebuah gain yaitu $G_c(s) = H_c = 0,333$.



Gambar 4.2. Diagram blok motor induksi dengan inverter.
(Sumber : Krishnan, 2001 : 497)

Fungsi alih arus, $\frac{i^*_{Tm}}{i_T}$ dapat didekati dengan fungsi alih orde pertama yaitu

melalui beberapa penyederhanaan sebagai berikut (Krishnan, 2001 : 496-498) ;

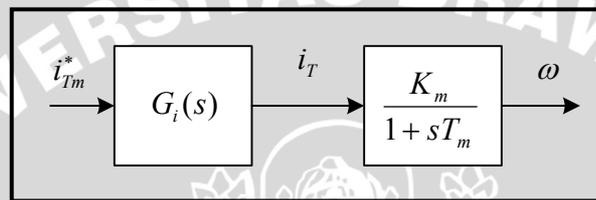
$$1 + sT_{in} \cong 1 \quad (4-29)$$

$$(1 + sT_a)(1 + sT_{in}) \cong 1 + s(T_a + T_{in}) \cong 1 + sT_{ar} \quad (4-30)$$

dengan

$$T_{ar} = T_a + T_{in} \quad (4-31)$$

sehingga didapatkan nilai $T_{ar} = 0,00865$ detik, kemudian disubstitusikan ke dalam $G_i(s)$ maka blok diagram baru motor induksi sebagai berikut



Gambar 4.3. Penyederhanaan diagram blok motor induksi dengan *inverter*.
(Sumber : Krishnan, 2001 : 497)

maka

$$G_i(s) = \frac{K_a K_{in} (1 + sT_m)}{(1 + sT_{ar})(1 + sT_m) + K_a K_b + H_c K_a K_{in} (1 + sT_m)} \quad (4-32)$$

dengan nilai $K_b = K_m L_s i_f = 984,987$, secara lengkap dapat dituliskan sebagai berikut

$$G_i(s) = \frac{T_1 T_2 K_a K_{in} (1 + sT_m)}{T_{ar} T_m (1 + sT_1)(1 + sT_2)} \quad (4-33)$$

dengan

$$\begin{aligned} -\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ a &= T_{ar} T_m \\ b &= T_{ar} + T_m + H_c K_a K_{in} T_m \\ c &= 1 + K_a K_b + H_c K_a K_{in} \end{aligned} \quad (4-34)$$

melalui pendekatan

$$1 + sT_m \cong sT_m \quad (4-35)$$

$$1 + sT_2 \cong sT_2 \quad (4-36)$$

yang disubstitusikan ke dalam persamaan $G_i(s)$, maka

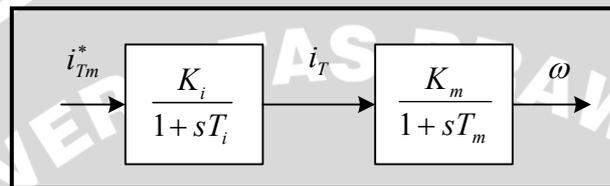
$$G_i(s) = \frac{T_1 T_2 K_a K_{in}}{T_{ar} T_m} \cdot \frac{1}{(1 + sT_1)} = \frac{K_i}{(1 + sT_i)} \quad (4-37)$$

dengan K_i dan T_i merupakan *gain* konstan untuk fungsi alih arus yang telah di sederhanakan

$$T_i = T_1 \quad (4-38)$$

$$K_i = \frac{K_a K_{in} T_1}{T_{ar}} \quad (4-39)$$

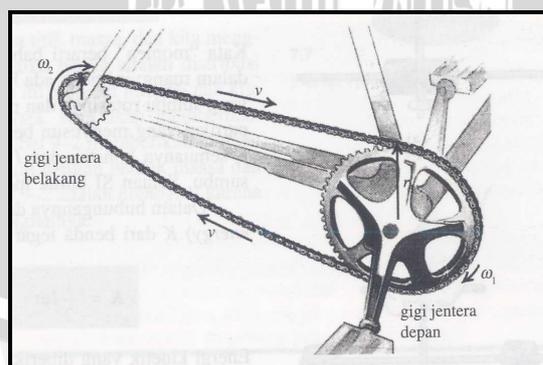
nilai $T_i = 0,00393$ detik dan $K_i = 2,2447$ sehingga blok diagram akhirnya menjadi



Gambar 4.4. Penyederhanaan akhir diagram blok motor induksi dengan *inverter*.
(Sumber : Krishnan, 2001 : 497)

4.4. Rasio Reducer

Reducer adalah suatu blok mekanik yang berfungsi untuk menurunkan putaran motor. Hubungan mekanik didalamnya dibuat sedemikian rupa sehingga keluaran *reducer* ini adalah putaran yang lebih rendah dari masukan putarannya. Salah satu hubungan mekaniknya adalah hubungan antara kecepatan sudut dari motor induksi dan kecepatan sudut dari *rotary feeder* yang dihubungkan menurut gambar di bawah ini dan dimodelkan seperti roda gigi sepeda. (Sears dan Zemansky, 2002 : 273)



Gambar 4.5. Percepatan sudut dari kedua jentera sepeda.
(Sumber : Sears dan Zemansky, 2002 : 273)

Kecepatan translasi untuk $v_1 = v_2$ sehingga $v_1 = v_2 = R_1 \omega_1 = R_2 \omega_2$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (4-40)$$

dengan

ω_1 = Kecepatan sudut motor induksi (rad/detik)

ω_2 = Kecepatan sudut *rotary feeder* (rad/detik)

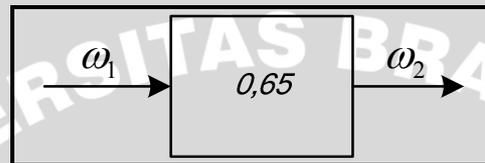
R_1 = Jari-jari *pulley* motor induksi (m) = 13 cm

R_2 = Jari-jari *pulley rotary feeder* (m) = 20 cm

sehingga

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{13 \times 10^{-2}}{20 \times 10^{-2}} = 0,65$$

maka blok *rasio reducer* dimodelkan sebagai berikut



Gambar 4.6. Blok *rasio reducer*.

4.5. *Rotary Feeder*

Rotary feeder adalah bagian dari proses pengepakan yang berfungsi untuk mengisi semen ke dalam sak semen. *Rotary feeder* sendiri digerakkan oleh motor induksi sehingga kecepatan dari *rotary feeder* bergantung pada pengaturan putaran motor induksi. Untuk massa yang keluar dari *rotary feeder* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Nagaratnam, 1971 : 207)

$$Q_{out} = 2eb \{2\pi(R - e) - zt\} \frac{\omega}{60} \quad (4-41)$$

$$Q_{out} = \frac{V}{T}; V = \frac{m_{out}}{\gamma_{semen}} \quad (4-42)$$

$$Q_{out} = \frac{m_{out}}{T \cdot \gamma_{semen}} \quad (4-43)$$

$$\frac{m_{out}}{T \cdot \gamma_{semen}} = 2eb \{2\pi(R - e) - zt\} \frac{\omega}{60} \quad (4-44)$$

dengan

γ_{semen} = berat jenis semen = 3,1 kg/m³

e = jari-jari lubang keluaran = 2,5 cm

b = lebar baling-baling (m) = 5 cm

R = tebal hausing (m) = 12,5 cm

z = jumlah baling-baling = 6 buah

t = tebal baling-baling (m) = 1 cm
sehingga

$$\frac{m_{out}}{\omega_2} = \frac{2eb \{2\pi(R-e) - zt\} \cdot T \cdot \gamma_{semen}}{60} = 44,02 \cdot 10^{-3} \quad (4-45)$$

maka blok *rotary feeder* dapat dimodelkan sebagai berikut



Gambar 4.7. Blok *rotary feeder*.

4.6. Torsi Load

Pembelajaran dari sistem yang sesuai dengan analisis gaya sebagai akibat gerakan telah dinyatakan sejak abad ke-17 oleh Sir Isaac Newton dikenal sebagai hukum Newton. Menurut aturan kedua Newton, jumlah gaya (semua gaya) berbanding lurus pada suatu obyek massa (m) dengan percepatan gerak (a) obyek itu sendiri.

(Sears dan Zemansky, 2002 : 100)

$$F = m \cdot a \quad (4-46)$$

Untuk gerakan rotasi, penjumlahan torsi yang dihasilkan harus dipengaruhi oleh kecepatan sudutnya (Sears dan Zemansky, 2002 : 294)

$$T_l = r \cdot F \quad (4-47)$$

gaya yang diberikan oleh persamaan (4-45) maka persamaan torsi sebagai pengaruh kecepatan sudut menjadi

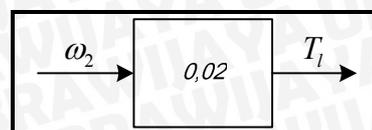
$$T_l = r \cdot m \cdot \alpha \quad (4-48)$$

sebagai akibat momen inersia dari partikel terhadap sumbu rotasi, maka persamaan (4-48) menjadi

$$T_l = r^2 \cdot m \cdot \alpha \quad (4-49)$$

untuk proses pengisian sak semen pada *rotary feeder* terjadi proses perubahan torsi sebagai pengaturan kecepatan motor induksi, sehingga persamaan dapat ditulis

$$\frac{T_l}{\omega_2} = 0,02 \cdot r_2 \cdot m \quad (4-50)$$



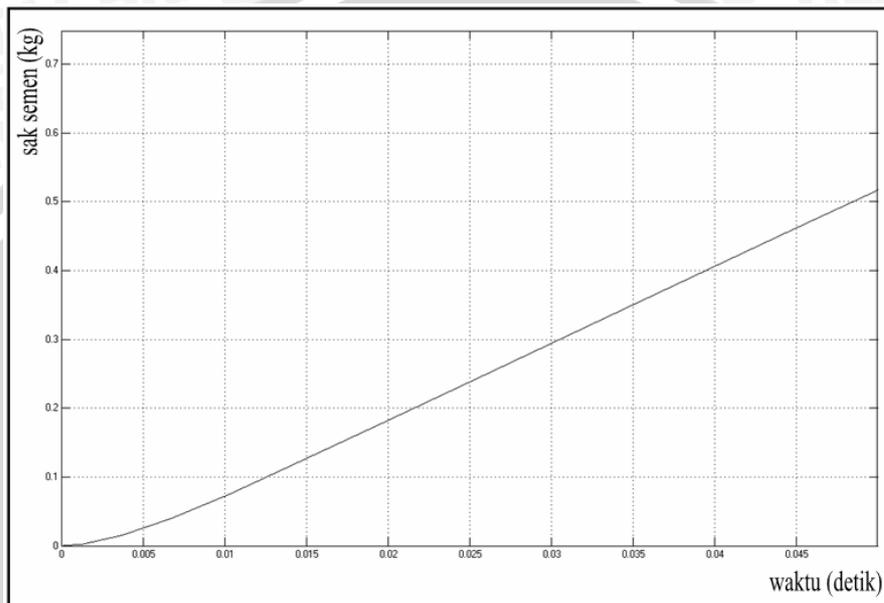
Gambar 4.8. Blok torsi load.

4.7. *Plant*

Plant yang akan dikendalikan adalah *roto packer* (proses penyederhanaan fungsi alih *plant* dapat dilihat pada lampiran). *Plant* yang akan dikendalikan mempunyai orde dan derajat relatif sama dengan dua. Fungsi alih *plant* adalah sebagai berikut :

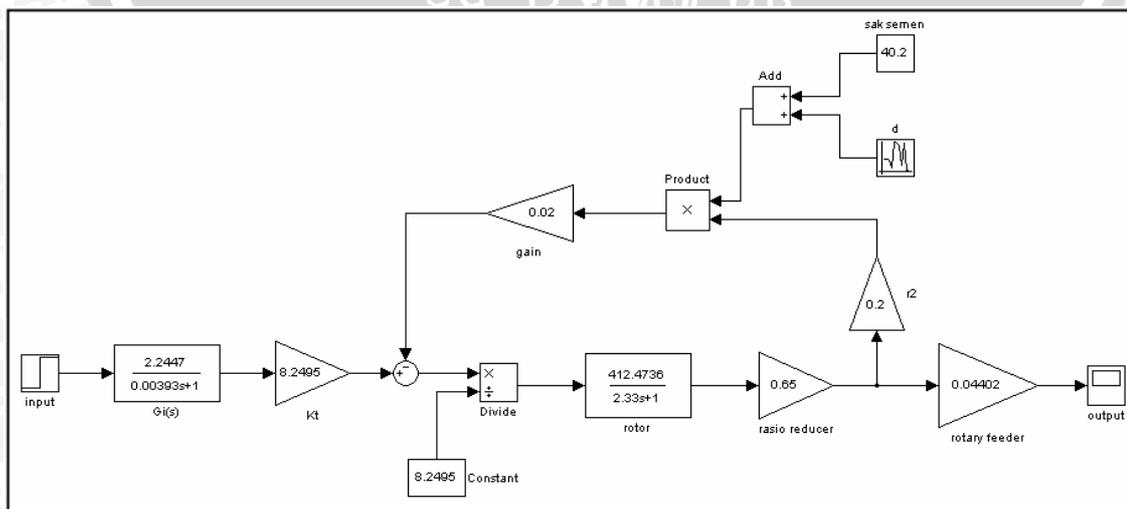
$$w_p(s) = \frac{26,4922}{0,0092s^2 + 2,3344s + 1,1299} \quad (4-51)$$

Respon *roto packer* dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Respon *roto packer* dengan *simulink*.

Pada diagram kerja gambar 4.1, dilakukan pemodelan dari masing-masing komponen penyusun *roto packer*, maka dengan *simulink* MATLAB 7.0.4 *service pack 2*, *Release 14*, pemodelan dari *plant* dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Simulasi *roto packer* dengan *simulink*.

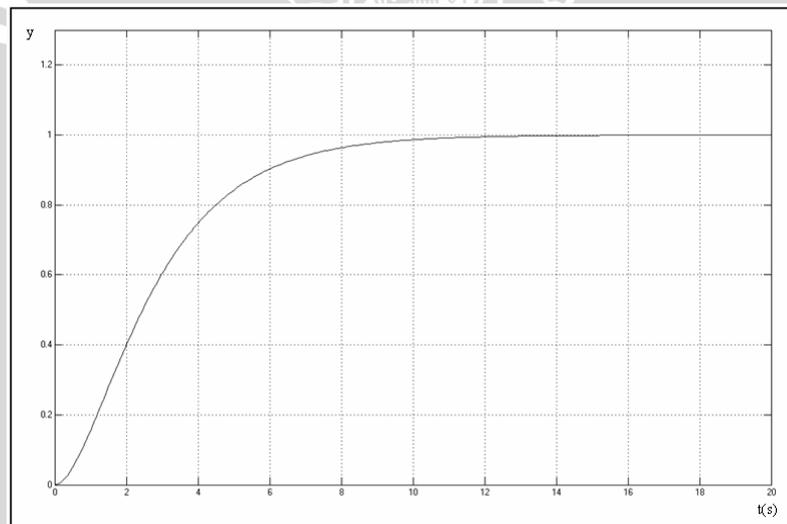
4.8. Penentuan Model Referensi

Model referensi ditentukan dengan mempertimbangkan derajat relatif *plant*. Derajat relatif model referensi sama dengan derajat relatif *plant*. Derajat relatif adalah selisih antara derajat polinomial *pole* dengan derajat polinomial *zero*. Penentuan fungsi alih model referensi didapatkan dengan cara *trial and error* (dapat dilihat pada lampiran), dengan syarat *settling time* model referensi tidak lebih cepat daripada waktu yang dibutuhkan oleh motor induksi dengan sirkuit *inverter*-nya untuk mencapai putaran nominalnya. Serta pengamatan di lapangan mengenai proses pengisian sak semen yang rata-rata waktu dibutuhkan untuk mengisi satu kantong sak semen selama ± 10 detik.

Model referensi yang diberikan pada sistem yaitu :

$$w_m(s) = \frac{0,5s + 25}{s^3 + 51,5s^2 + 75,5s + 25} \quad (4-52)$$

Respon transien dari model referensi terhadap masukan *unit step* adalah



Gambar 4.11. Respon model referensi dengan masukan *unit step*.

4.9. Persamaan Error

Proses adaptasi berakhir jika keluaran *plant* dapat mengikuti keluaran model referensi (Rusdhianto, 2000 : 85). Dalam hal ini, θ^* adalah parameter pengendali yang diharapkan dalam proses adaptasi. Sehingga persamaan *error* antara model referensi dengan *plant* adalah (Sastry dan Bodson, 1993 : 207)

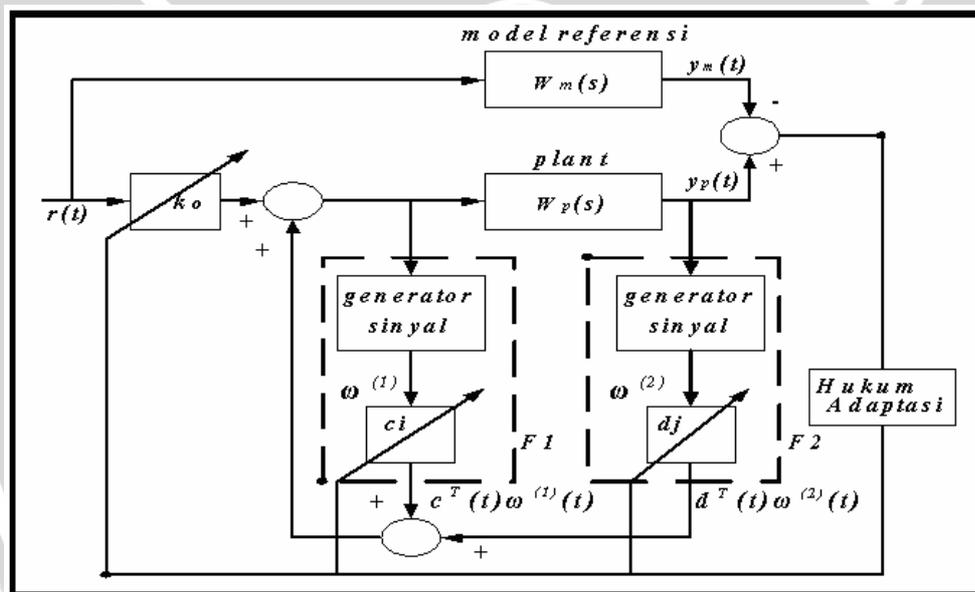
$$e(t) = y_p(t) - y_m(t) \quad (4-53)$$

dengan y_p menyatakan keluaran dari *plant* yang dikontrol sedangkan y_m adalah keluaran model referensi yang diharapkan.

4.10. Penetapan Parameter Pengendali

Sistem pengendalian MRAS mempunyai syarat harus mampu menyesuaikan fungsi alih y_p terhadap r sama dengan y_m terhadap r . Struktur pengendali secara umum mempunyai generator sinyal bantu yang membangkitkan parameter sinyal ω sehingga sinyal kendali yang dihasilkan pengendali adalah $u = \theta^T \cdot \omega$. Dalam hal ini θ adalah parameter pengendali.

Plant yang akan dikendalikan mempunyai orde sama dengan dua dan derajat relatif sama dengan dua. Sinyal kendali diberikan kepada *plant* agar sinyal keluaran *plant* dapat mengikuti sinyal keluaran model referensi. Pada gambar 4.12, pengendali terdiri atas penguat k_0, F_1 , dan F_2 . F_1 terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter c . F_2 terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter d .



Gambar 4.12. Struktur dasar pengendali adaptif.
(Sumber : Butler, 1992 : 53)

F_1 dan F_2 dinyatakan dalam fungsi alih W_1 dan W_2 , dengan persamaan :

$$W_1(s) = \frac{C(s)}{N(s)} \quad (4-54)$$

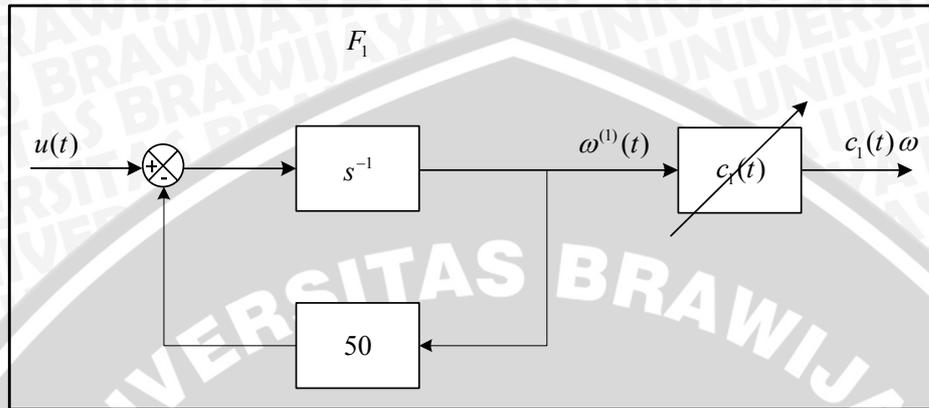
$$W_2(s) = \frac{D(s)}{N(s)} \quad (4-55)$$

polinomial $N(s)$ pada generator sinyal bantu sama dengan *zero* model referensi (Sastry dan Bodson, 1993 : 105). Sehingga fungsi alih W_1 dan W_2 adalah :

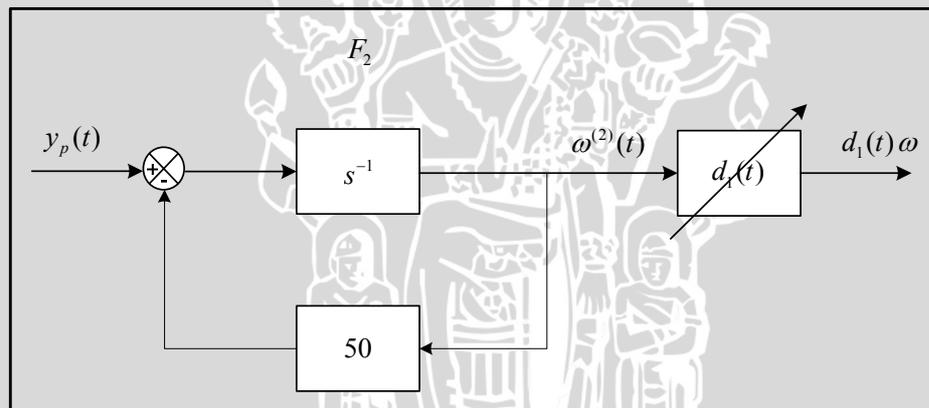
$$W_1(s) = \frac{c_1}{s+50} \quad (4-56)$$

$$W_2(s) = \frac{d_1}{s+50} \quad (4-57)$$

Dalam diagram blok, F_1 dan F_2 digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.13. Diagram blok generator sinyal 1 dan parameter c_1 pada F_1 .



Gambar 4.14. Diagram blok generator sinyal 2 dan parameter d_1 pada F_2 .

Parameter pengendali adalah θ^T , dan parameter generator sinyal adalah ω^T , dengan

$$\theta^T(t) = [k_0(t), c_1(t), d_1(t)] \quad (4-58)$$

$$\omega^T(t) = [r(t), \omega^{(1)}(t), \omega^{(2)}(t)] \quad (4-59)$$

maka sinyal kendali adalah

$$u(t) = \theta^T(t) \cdot \omega(t) \quad (4-60)$$

$$u(t) = k_0(t) \cdot r(t) + c_1(t) \cdot \omega^{(1)}(t) + d_1(t) \cdot \omega^{(2)}(t) \quad (4-61)$$

4.11. Penentuan Hukum Adaptasi

Proses adaptasi berlangsung dengan adanya perubahan nilai parameter pengendali. Proses ini berlangsung selama terjadi *error* antara keluaran *plant* dengan keluaran model referensi. Proses adaptasi diatur melalui cara yang disebut dengan hukum adaptasi (Narendra dan Annaswamy, 1989 : 184). Nilai parameter pengendali akan diubah sedemikian rupa sehingga *error* antara y_p dan y_m sama dengan nol. Penyesuaian parameter pengendali akan menghasilkan sinyal kontrol u sebagai masukan bagi *plant*, sehingga keluaran *plant* mendekati model referensi pada saat t sama dengan tak terhingga. Hal tersebut dinyatakan sebagai,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| = 0 \quad (4-62)$$

Pada pengendalian adaptif dengan MRAS, *error* antara keluaran *plant* dengan keluaran model referensi digunakan secara langsung untuk mengubah nilai parameter pengendali. Proses adaptasi pada MRAS disebut dengan adaptasi langsung (Sastry dan Bodson, 1993 : 110).

Hukum adaptasi yang digunakan adalah metode *lyapunov*. Metode *lyapunov* dipilih karena melalui metode ini akan diperoleh sistem pengendalian adaptif yang stabil (Sastry dan Bodson, 1993 : 8).

Untuk mencapai kestabilan, fungsi *lyapunov* $V(x)$ harus merupakan fungsi dalam bentuk *state*. Dengan syarat (Butler, 1997 : 12) :

$$V(x) > 0, \text{ untuk } x \neq 0 \text{ (definit positif)}$$

$$\dot{V}(x) < 0, \text{ untuk } x \neq 0 \text{ (definit negatif)}$$

$$V(x) \rightarrow \infty, \text{ untuk } |x| \rightarrow \infty$$

$$V(x) = 0$$

Untuk menerapkan metode *lyapunov*, diperlukan tahapan :

1. Adanya persamaan *error*. Persamaan *error* tersebut dapat berupa *error* keluaran yaitu $y_p - y_m$.
2. Untuk mendapatkan hukum adaptasi, dipilih fungsi *lyapunov* yang mengandung sinyal *error* e dan parameter *error* ϕ , yang dituliskan sebagai (Butler, 1997 : 12)

$$V = e^T P e + \phi^T \xi^{-1} \phi \quad (4-63)$$

Dengan e merupakan vektor sinyal *error*, dan ϕ adalah vektor parameter *error*.

$\phi = \theta - \theta^*$. Sedangkan ξ adalah matriks penguatan adaptasi yang memenuhi

syarat definit positif, matriks ditentukan sebagai matriks diagonal sehingga ξ^{-1} juga memenuhi syarat definit positif. Matriks P merupakan matriks simetri definit positif.

dengan menurunkan fungsi *lyapunov* terhadap waktu maka langsung diperoleh hukum adaptasi. \dot{V} mempunyai bentuk $\dot{V} = -e^T Q e + \{\text{beberapa persamaan yang mengandung } \phi\}$ (Butler, 1997 : 13). Persamaan yang mengandung ϕ dibuat sama dengan nol, sehingga diperoleh hukum adaptasi.

\dot{V} definit negatif jika Q definit positif. Matriks A adalah matriks state pada model referensi. Q dinyatakan sebagai matriks identitas I.

$$A^T P + PA = -Q \quad (4-64)$$

fungsi *lyapunov* yang digunakan yaitu fungsi yang mengandung vektor sinyal error e dan vektor parameter error ϕ , yaitu:

$$V = e^T P e + \phi^T \xi^{-1} \phi \quad (4-65)$$

dengan penurunan V, maka diperoleh (Butler, 1997 : 39) :

$$\dot{V} = e^T (A_M^T P + P A_M) e + 2(\phi^T \omega) b_m^T P e + 2\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} \quad (4-66)$$

matriks P dan Q sebagai matriks simetris definit positif, seperti pada persamaan berikut (Butler, 1997 : 39) :

$$A_M^T P + P A_M = -Q \quad (4-67)$$

$$b_m^T P e = e_1 \quad (4-68)$$

dengan demikian maka persamaan (4.65) dituliskan lagi menjadi:

$$V = -e^T Q e + 2(\phi^T \omega) e_1 + 2\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} \quad (4-69)$$

untuk memastikan bahwa V adalah definit negatif, maka dua suku terakhir pada persamaan (4.69) dibuat sama dengan nol, sehingga:

$$(\phi^T \omega) e_1 = -\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} \quad (4-70)$$

dengan demikian, diperoleh hukum adaptasi :

$$\dot{\theta} = \dot{\phi} = -\xi \omega e_1 \quad (4-71)$$

dalam fungsi waktu, hukum adaptasi dinyatakan dengan (Butler, 1997 : 40) :

$$\theta(t) = \theta(t-1) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (4-72)$$

sehingga,

$$\dot{\theta}(t) = \theta(t) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (4-73)$$

Dengan penguatan adaptasi yang telah ditentukan dan parameter pengendali yang telah ditentukan maka persamaan hukum adaptasi dinyatakan sebagai :

$$\dot{k}_0(t) = k_0(t) - \xi r(t) e_1(t) \quad (4-74)$$

$$\dot{c}_1(t) = c_1(t) - \xi \omega^{(1)}(t) e_1(t) \quad (4-75)$$

$$\dot{d}(t) = d_1(t) - \xi \omega^{(2)}(t) e_1(t) \quad (4-76)$$

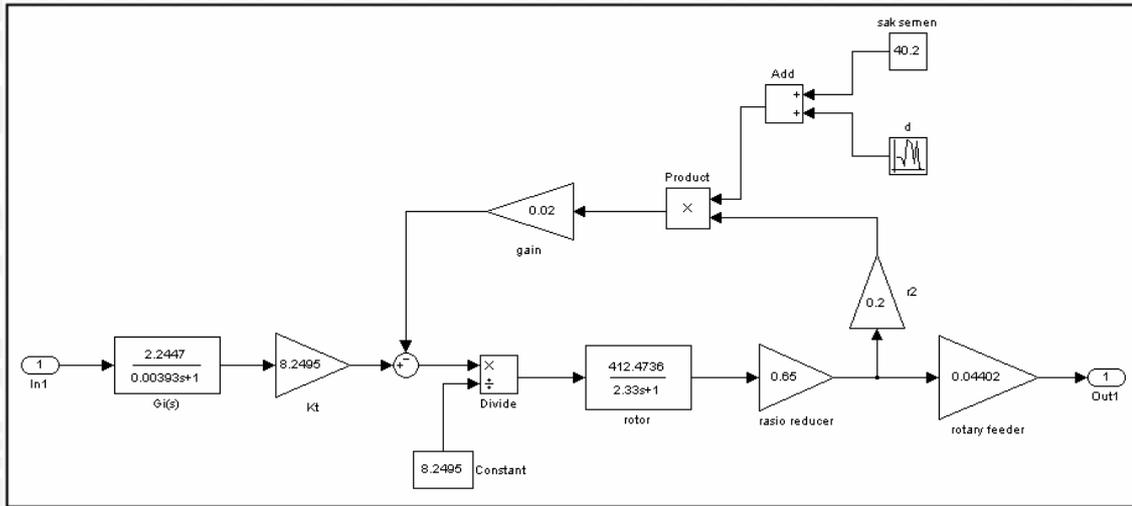
4.12. Penentuan Daerah Kerja *Roto Packer* di PT. Semen Gresik – Tuban

Setelah proses pengisian yang dilakukan oleh *roto packer*, sak semen diteruskan ke *belt conveyor* (proses penimbangan yang dilakukan oleh *belt conveyor* adalah proses yang terpisah dari proses pengisian sak semen yang dilakukan oleh *roto packer*). Semen yang dipasarkan oleh PT. Semen Gresik – Tuban adalah semen yang melalui pengisian sekitar 40,2 kg dengan toleransi berat $\pm 0,02$ kg.

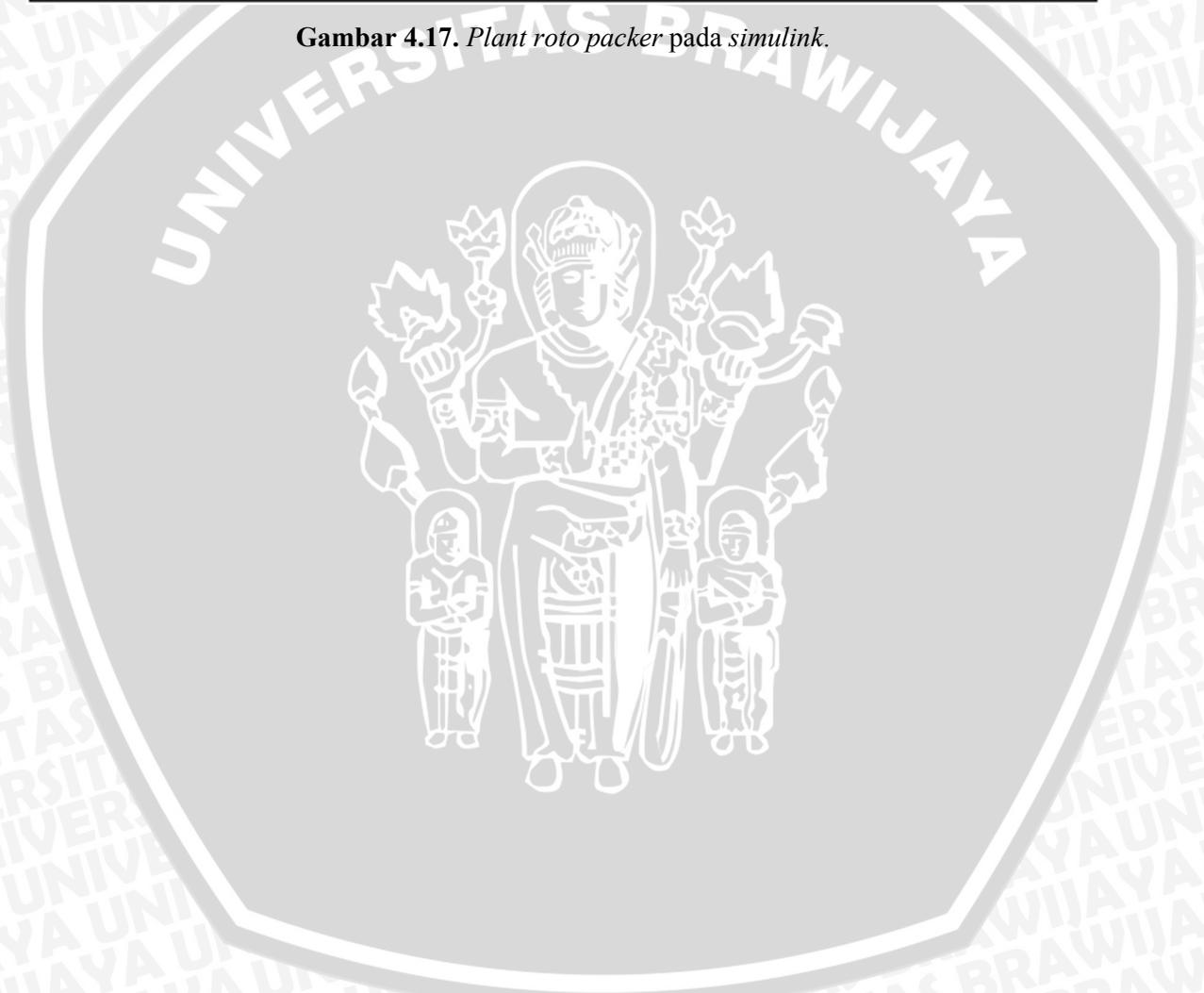
Selain itu juga, proses pada *roto packer* dibatasi oleh kemampuan sirkuit *inverter* dalam melewati arus yang menghasilkan arus keluaran sebagai arus masukan untuk motor induksi, sebagai aktuator pada proses pengisian sak semen yang dilakukan oleh sistem *roto packer*. Dari tabel 2.1 data spesifikasi *inverter*, arus yang dapat dilewatkan tidak lebih dari 15 ampere.

4.13. Simulasi *Roto Packer* Dengan *Model Reference Adaptive Systems* Pada *Simulink* MATLAB 7.0.4 service pack 2, Release 14

Dari hasil pemodelan masing-masing bagian pada *roto packer*, kemudian dilakukan simulasi menggunakan fasilitas yang ada pada perangkat lunak MATLAB 7.0.4 service pack 2, Release 14. Dengan nilai awal penguatan adaptasi yang diambil adalah 1. Besarnya nilai penguatan adaptasi berdasarkan metode *trial and error* (Butler, 1992 : 75), sampai didapatkan respon yang terbaik pada keluaran *plant*.



Gambar 4.17. Plant roto packer pada simulink.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

5.1. Simulasi *Model Reference Adaptive Systems* Pada *Roto Packer*

Pada bab ini akan ditunjukkan simulasi dan analisis hasil simulasi dari sistem pengendalian menggunakan metode MRAS, sebagai pengendalian *roto packer* pada proses pengepakan semen di PT. Semen Gresik – Tuban. Tujuan dari simulasi ini untuk mendapatkan data hasil pengendalian pada sistem *roto packer*. Tahap-tahap simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

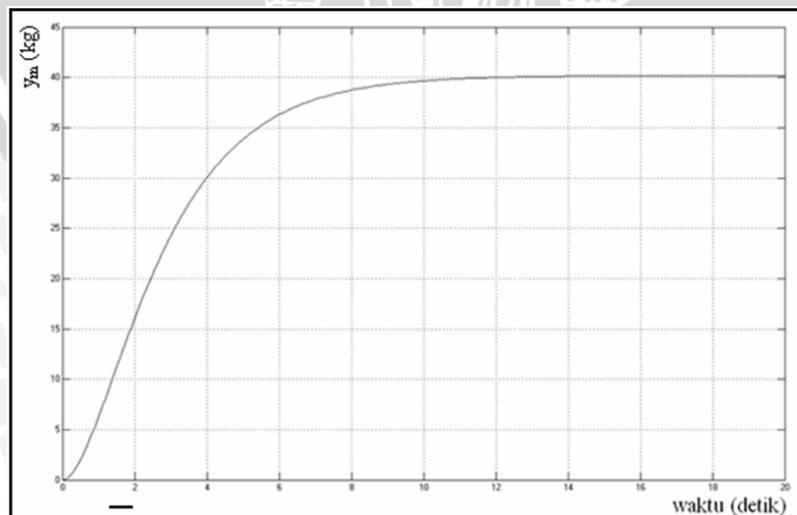
1. Simulasi sistem tanpa *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan acak.
2. Simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan acak.

Tuning parameter pengendali pada pengendalian menggunakan MRAS untuk mendapatkan respon *plant* yang mampu menjejaki respon keluaran model referensi. Jika keluaran *plant* sudah dapat menjejaki respon keluaran dari model referensi, maka *tuning* parameter pengendali tidak perlu dilakukan. *Tuning* dilakukan dengan cara memberikan nilai awal tertentu pada parameter pengendali saat simulasi dilakukan.

3. Simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali dengan gangguan. Dilakukan guna mengamati sistem beradaptasi dalam mengatasi gangguan.

5.2. Hasil Simulasi Model Referensi

Model referensi yang diberikan pada saat simulasi sistem dengan mempertimbangkan derajat relatif *plant*, *set point* sebesar 40,2 kg yaitu;



Gambar 5.1. Respon model referensi dengan *set point* 40,2 kg.

5.3. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Tanpa *Tuning* Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan Acak

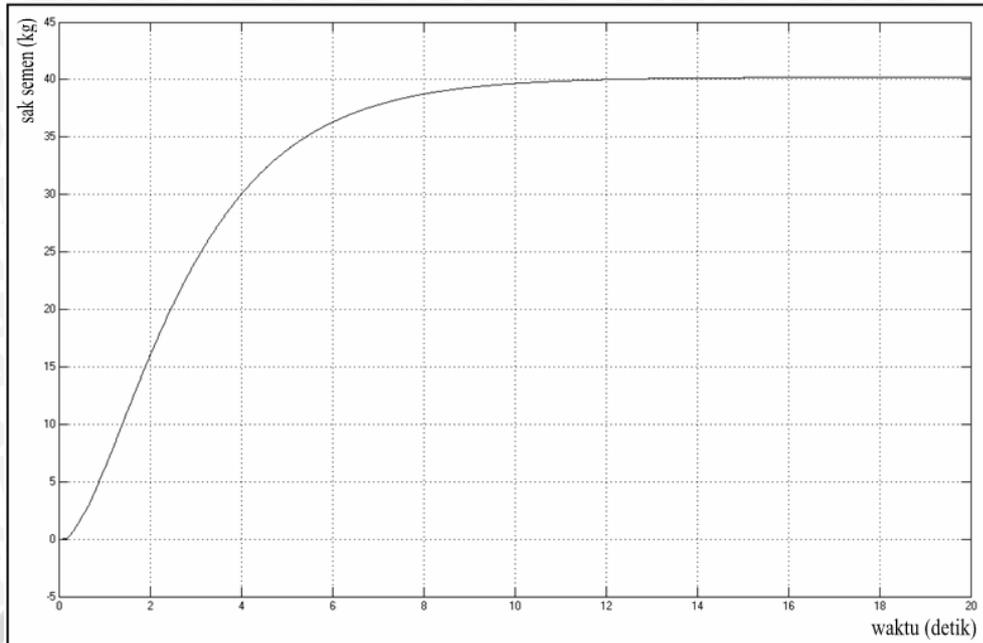
Hasil simulasi sistem tanpa *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak digunakan untuk menemukan nilai *gain* adaptasi (ξ). Nilai awal untuk k_0 , c_1 , dan d_1 sama dengan 0 (nol), *set point* pengisian sak semen sebesar 40,2 kg. Dari tabel 5.1, pada pengujian *gain* adaptasi dengan nilai $\xi \geq 0$, y_p akan bernilai 0 (nol) begitu juga dengan sinyal kontrol bernilai 0 ampere. Jika tanpa elemen saturasi besar keduanya akan menjadi $-\infty$.

Tabel 5.1. Data pengujian pada variasi nilai ξ , set point 40.2 kg tanpa gangguan acak dengan $k_0 = 0$, $c_1 = 0$, $d_1 = 0$

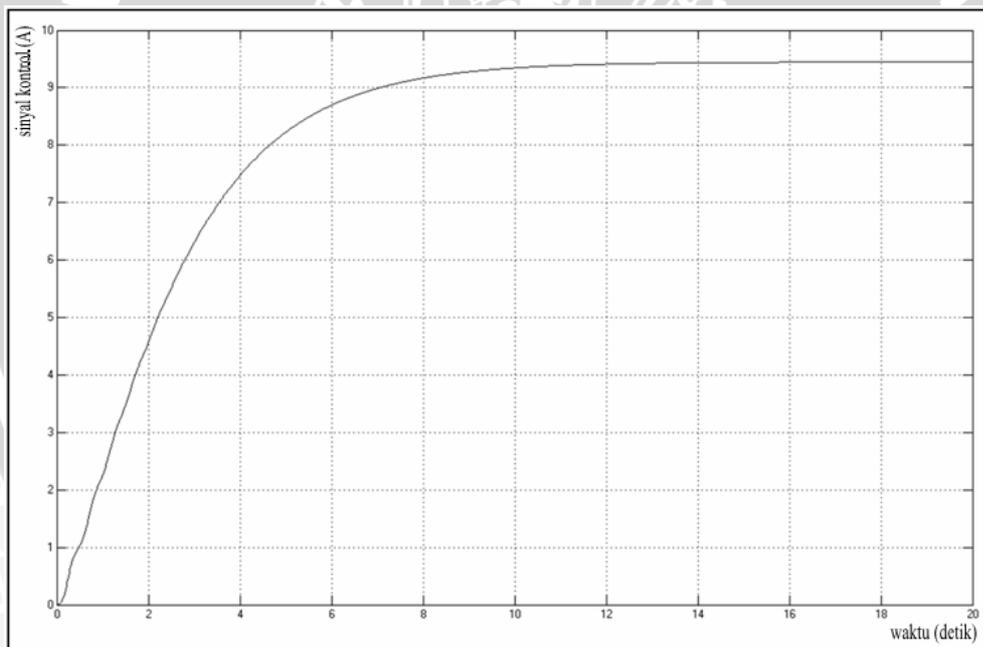
ξ	Keterangan
1	$y_p=0\text{kg}$ dan sinyal kontrol (u)=0A, karena dibatasi oleh elemen saturasi. Jika tidak dibatasi oleh elemen saturasi sinyal kontrol besarnya menjadi $-\infty$. Sehingga y_p besarnya juga $-\infty$.
0.1	idem
0.01	idem
0.001	idem
0	idem
-0.001	Pada awal respon kurang bisa mengikuti model referensi.
-0.01	$e_{ss}=0\%$ $T_s=15$ detik tidak ada <i>overshoot</i> , <i>ripple</i> , dan osilasi.
-0.1	Terjadi <i>ripple</i> .
-1	Terjadi <i>ripple</i> dan osilasi.

Pada tabel 5.1, nilai *gain* adaptasi $-0,01 < \xi < 0$ maka respon *plant* kurang bisa mengikuti model referensi, sedangkan untuk nilai *gain* adaptasi $\xi < -0,01$ sistem cenderung terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi. Untuk *gain* adaptasi bernilai negatif didapatkan nilai $\xi = -0,01$ dengan sistem sudah tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi.

Dari tabel 5.1, diambil nilai *gain* adaptasi sebesar $\xi = -0.01$, untuk selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai parameter pengendali k_0 , c_1 , dan d_1 . Pada respon $\xi = -0.01$ tidak ada *overshoot*, *ripple*, dan osilasi, $e_{ss} = 0\%$ dan *plant* mencapai keadaan mantap selama 15 detik.

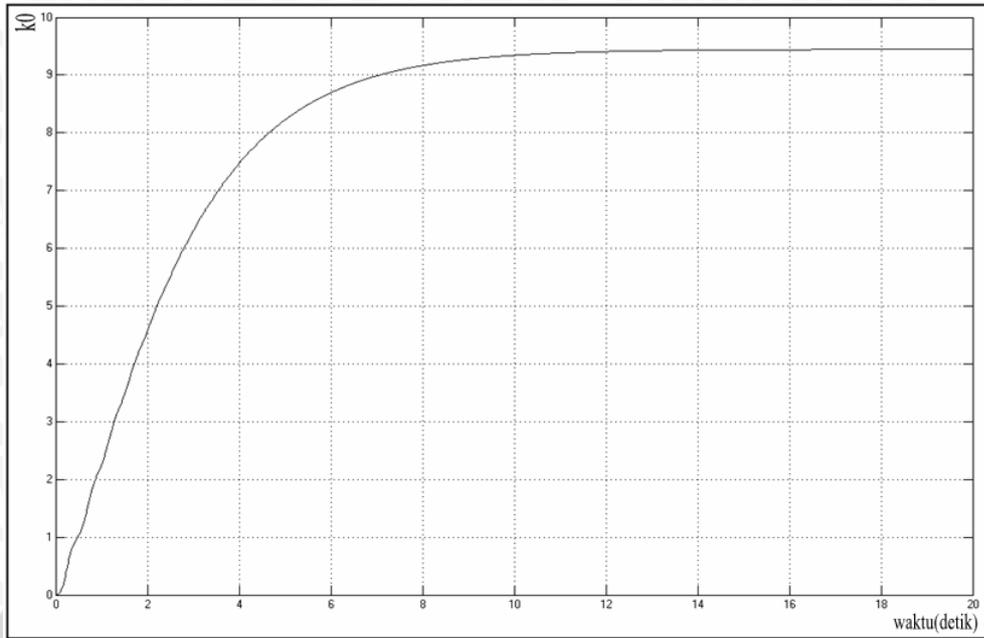


Gambar 5.2. Respon *plant* tanpa *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$.

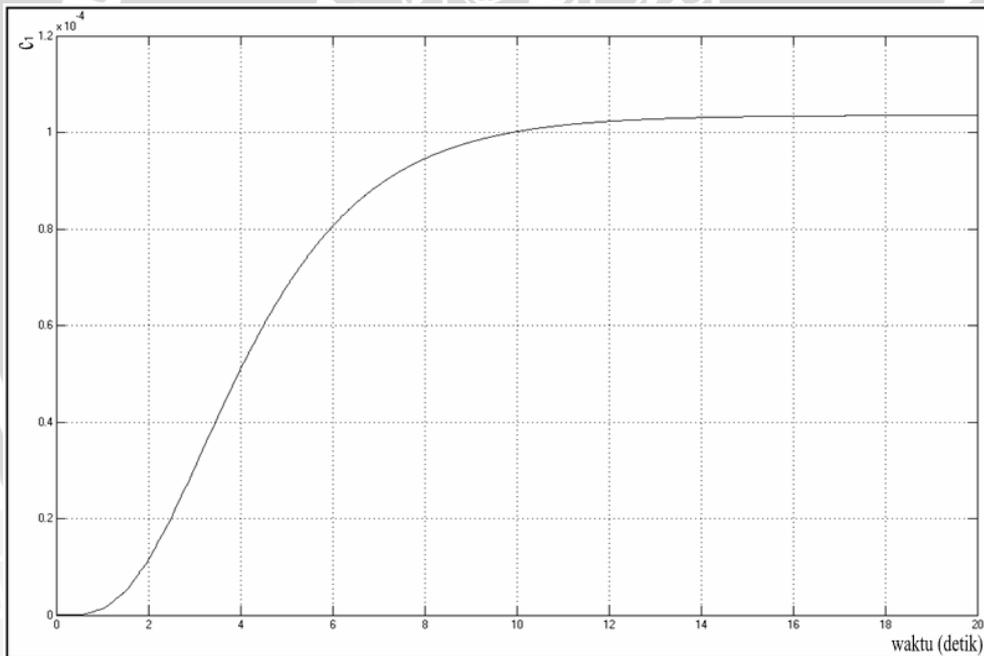


Gambar 5.3. Sinyal kontrol tanpa *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$.

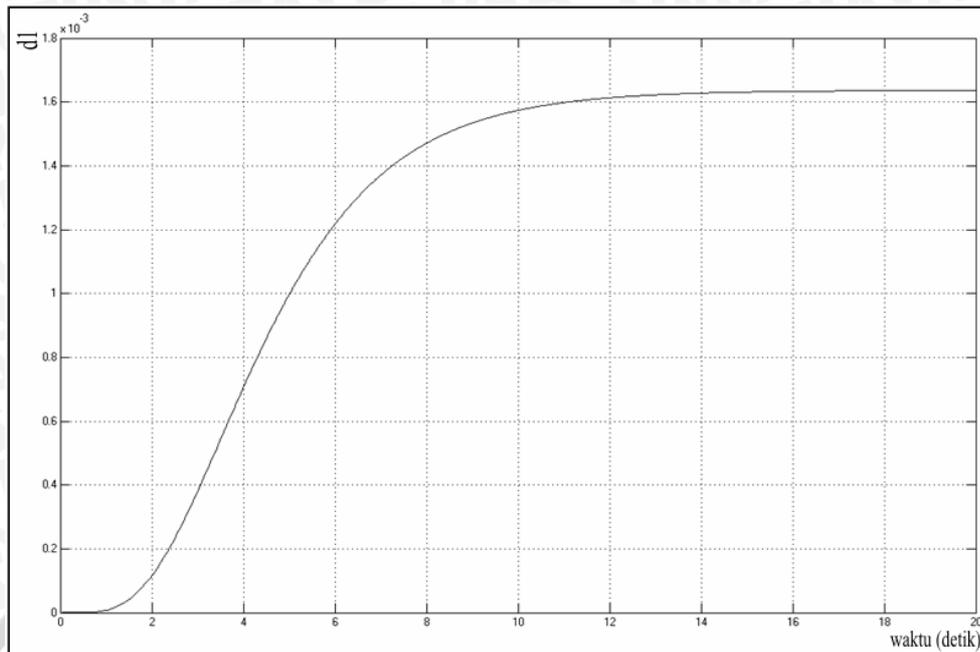
Untuk gambar respon sinyal kontrol (u) diatas, sebagai masukan *plant* adalah sekitar 9,447 ampere yang berarti masih dalam daerah kerja *roto packer* yang dibatasi oleh kemampuan sirkuit *inverter* melewatkan arus. Sedangkan untuk respon k_0 , c_1 , dan d_1 secara berturut-turut dapat dilihat pada gambar berikut ini;



Gambar 5.4. Sinyal k_0 tanpa *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$.



Gambar 5.5. Sinyal c_1 tanpa *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$.



Gambar 5.6. Respon d_1 tanpa *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $\xi = -0,01$.

5.4. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan *Tuning* Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan Acak

Setelah menentukan nilai ξ , maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai parameter pengendali k_0 , c_1 , dan d_1 . Sebagai nilai awal parameter pengendali k_0 , c_1 , dan d_1 diberikan nilai 0 (nol), sedangkan penguatan adaptasi yang digunakan adalah yang bernilai $\xi = -0,01$ saat sistem sudah tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi.

Pada proses pengujian parameter pengendali untuk nilai $-0,01 < k_0 < 0$, sistem cenderung baik (tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi) dengan nilai *settling time* selama 15 detik. Nilai $0,01 > k_0 \geq -0,01$ sistem cenderung terjadi *ripple* (lihat gambar 5.7) dan jika nilai $k_0 < -0,01$ akan muncul *overshoot* dan osilasi (lihat gambar 5.8).

Pada proses pengujian parameter pengendali bernilai positif, dengan nilai $k_0 > 0,001$ sistem cenderung terjadi *ripple* (lihat gambar 5.7) dan jika nilainya semakin positif maka akan muncul *overshoot* dan osilasi. Nilai $0 < k_0 < 0,001$ sistem cenderung tidak banyak terpengaruh dan *settling time* berada pada posisi selama 13,9 detik. Oleh karena itu dipilih nilai $k_0 = 0,001$ (lihat gambar 5.11).

Menentukan nilai k_0 , maka nilai c_1 dan d_1 diberi nilai awal 0 (nol) dengan *set point* yang diberikan sebesar 40,2 kg. Pada tabel 5.2. ditunjukkan hasil simulasi dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak.

Tabel 5.2. Data pengujian pada nilai $\xi = -0,01$, set point 40.2 kg tanpa gangguan acak dengan variasi nilai k_0 , c_1 , dan d_1 .

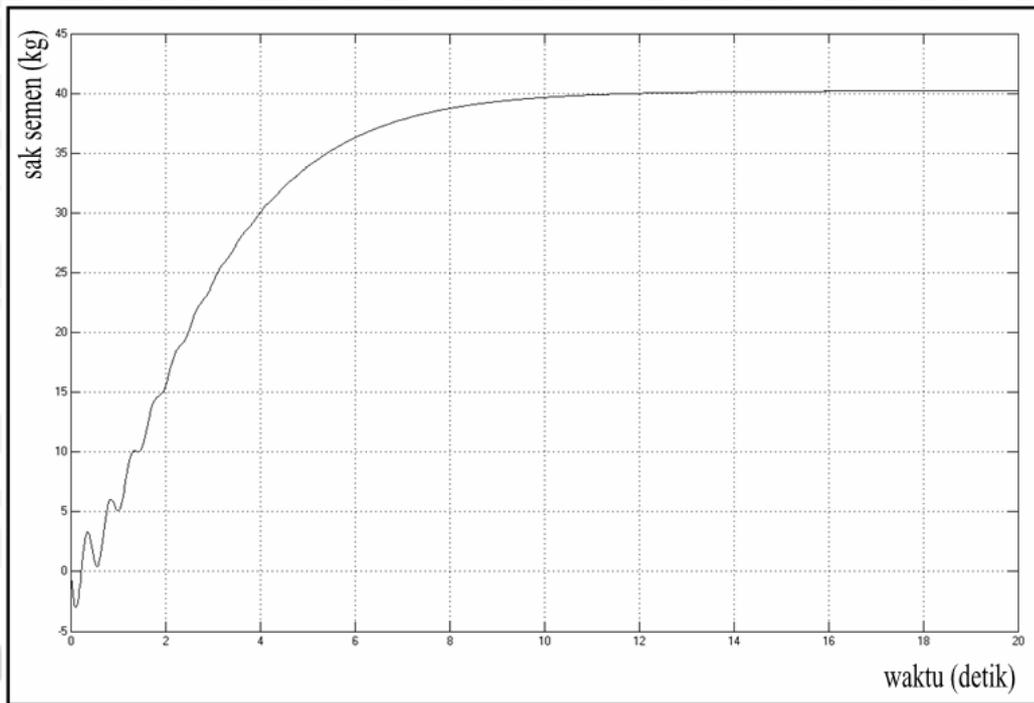
k_0	c_1	d_1	Sak Semen Model (kg)	Sak Semen Plant (kg)	Error (%)	Overshoot (%)	Settling Time (detik)	Sinyal Kontrol (A)	Keterangan
-0.0001	0	0	40,2	40,2	0	-	15	9,447	-
-0,001	0	0	40,2	40,2	0	-	15	9,447	-
-0,01	0	0	40,2	40,2	0	-	15	9,447	ripple
-0,1	0	0	40,2	40,2	0	-	15	9,447	ripple
-10	0	0	40,2	40,2	0	521,9	11	9,447	overshoot dan ripple
-1	0	0	40,2	40,2	0	-	13,4	9,447	ripple
0	0	0	40,2	40,2	0	-	15	9,447	.*
1	0	0	40,2	40,2	0	-	14,7	9	ripple
10	0	0	40,2	40,2	0	647,2	-	9,447	overshoot, ripple, dan osilasi
0,1	0	0	40,2	40,2	0	-	15	9,447	ripple
0,01	0	0	40,2	40,2	0	-	13,9	9,447	ripple
0,001	0	0	40,2	40,2	0	-	13,9	9,447	.**
0,0001	0	0	40,2	40,2	0	-	13,9	9,447	-
0,001	1	1	40,2	40,2	0	-	12,2	9,447	***
0,001	10	10	40,2	39,7	1,27	497,01	-	9,284	overshoot dan osilasi
0,001	-1	-1	40,2	40,2	0	-	13,9	9,447	-
0,001	-10	-10	40,2	40,2	0	-	13,9	9,447	-
0,001	-100	-100	40,2	40,2	0	-	14,1	9,447	-

* awal penjejakan parameter pengendali dengan $\xi = -0,01$

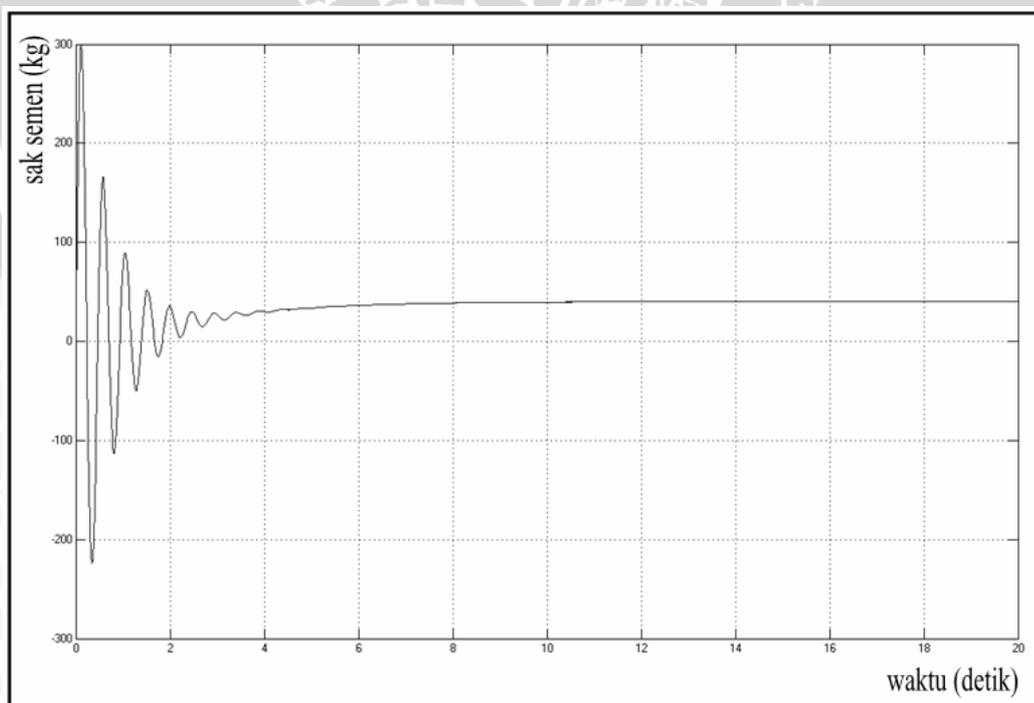
** menentukan nilai $k_0 = 0,001$ untuk menjejaki nilai c_1 dan d_1

*** menentukan nilai k_0 , c_1 , dan d_1

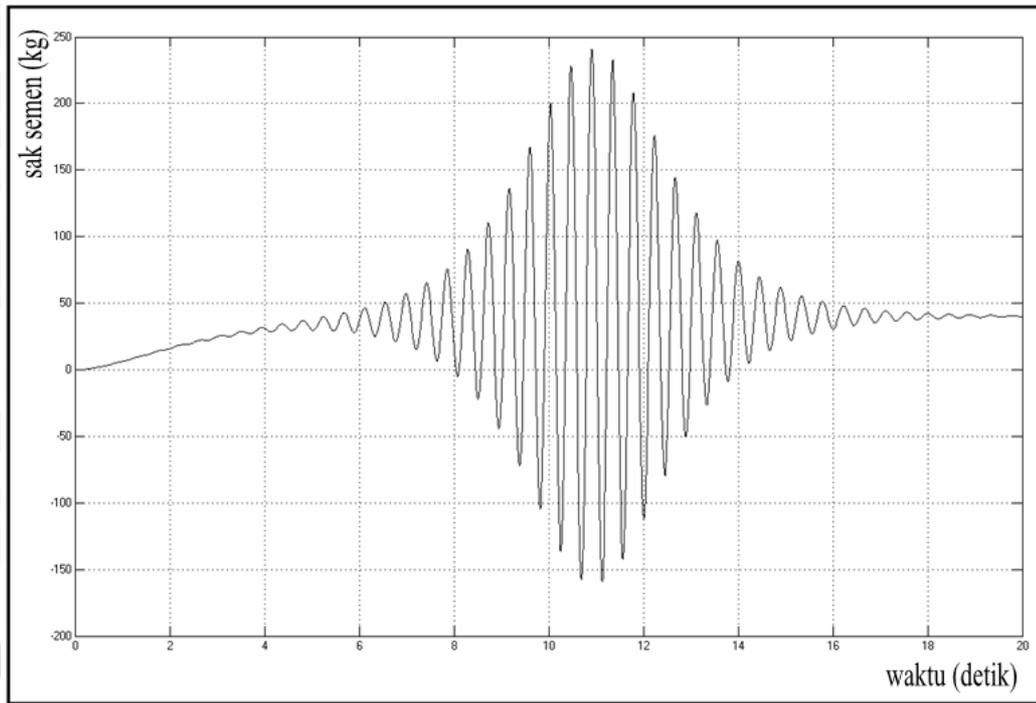
Dalam menentukan nilai parameter pengendali c_1 dan d_1 , digunakan nilai k_0 yang sudah ditetapkan yakni $k_0 = 0,001$. Pada tabel 5.2, nilai c_1 & $d_1 > 1$ sistem terjadi *overshoot* dan osilasi (lihat gambar 5.9). Sedangkan untuk nilai c_1 & $d_1 < 1$, sistem tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi akan tetapi *settling time* cenderung semakin lama (lihat gambar 5.10). Nilai parameter pengendali c_1 dan d_1 yang dipilih adalah bernilai 1. Sistem sudah tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi, dengan *settling time* selama 12,2 detik (lihat gambar 5.11).



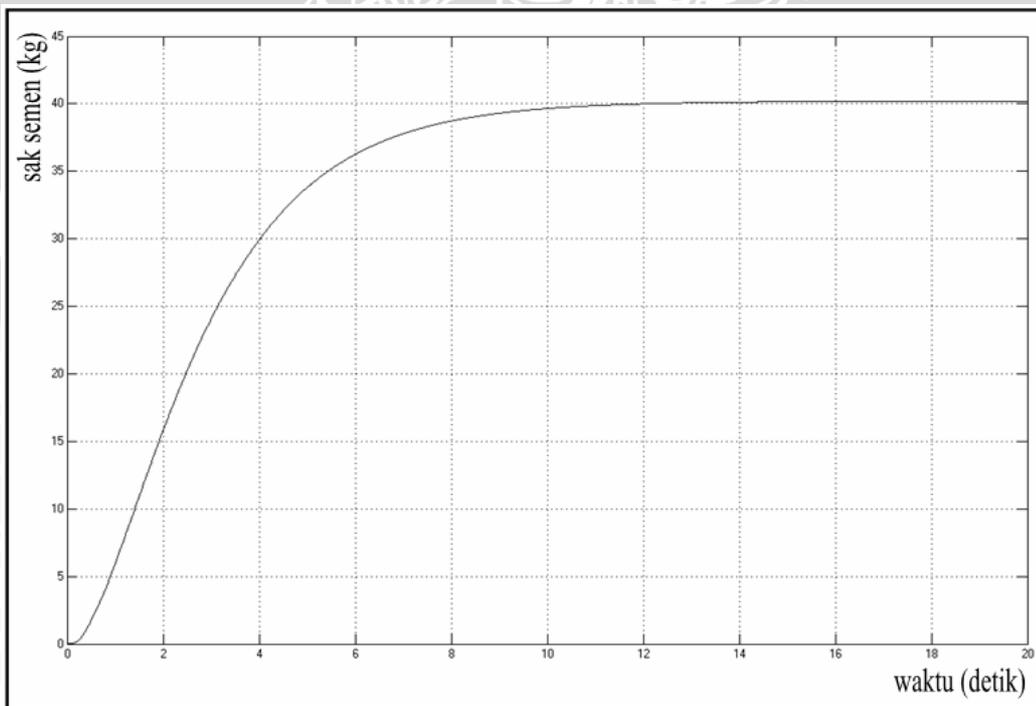
Gambar 5.7. Respon *plant* dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $0,01 > k_0 \geq -0,01$ dan $k_0 > 0,001$.



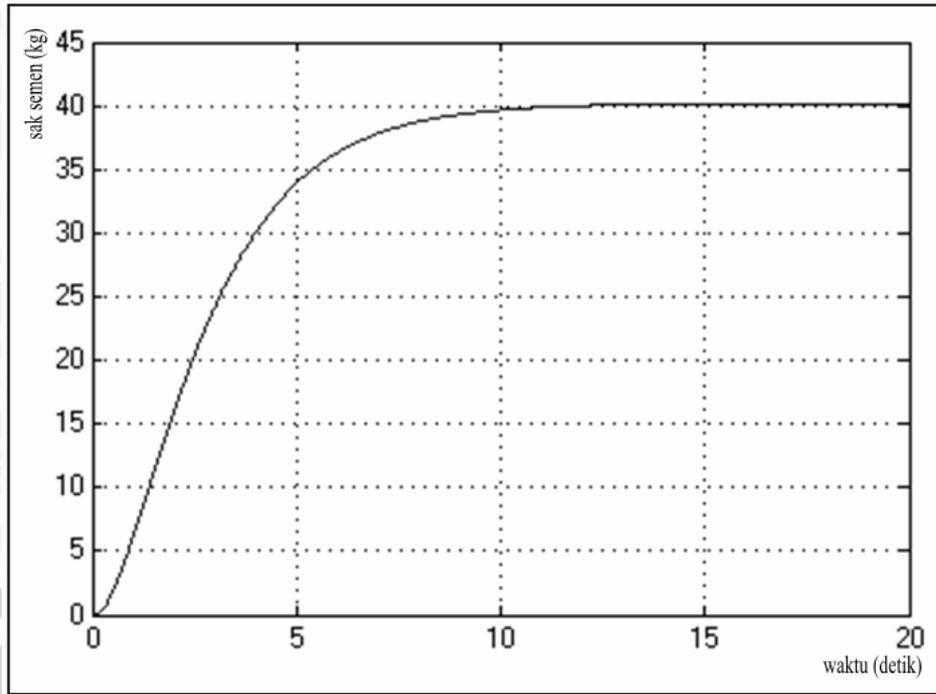
Gambar 5.8. Respon *plant* dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 < -0,01$.



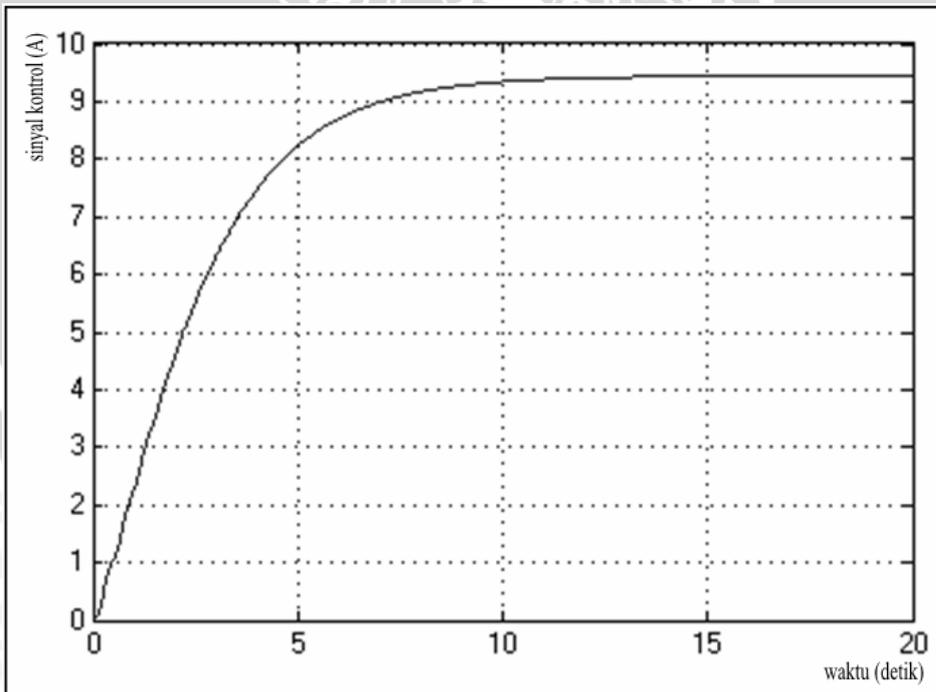
Gambar 5.9. Respon *plant* dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001$ dan c_1 & $d_1 > 1$.



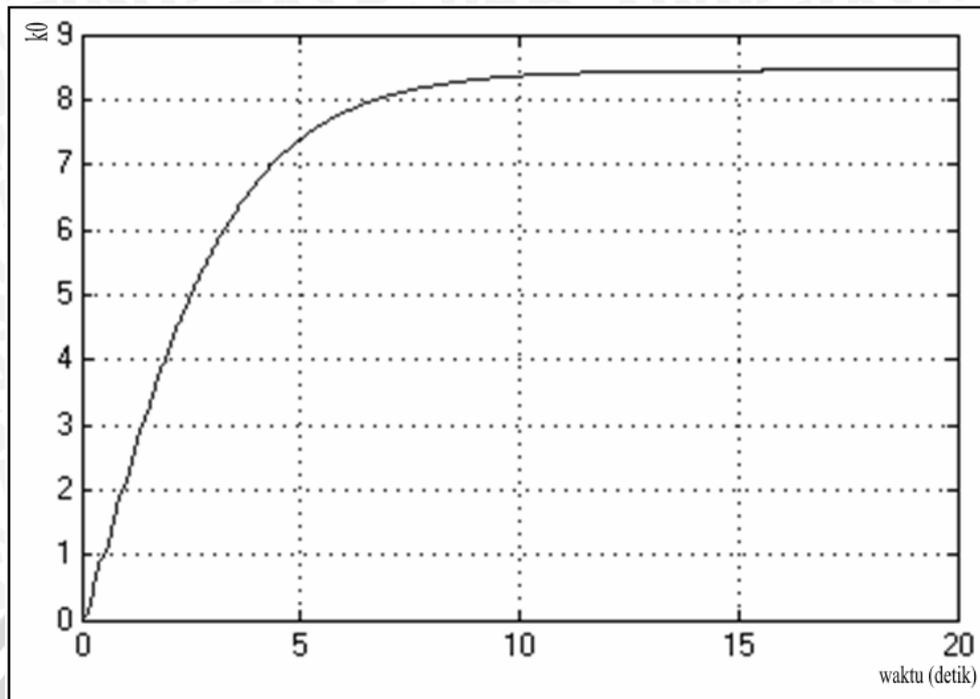
Gambar 5.10. Respon *plant* dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001$ dan c_1 & $d_1 < 1$.



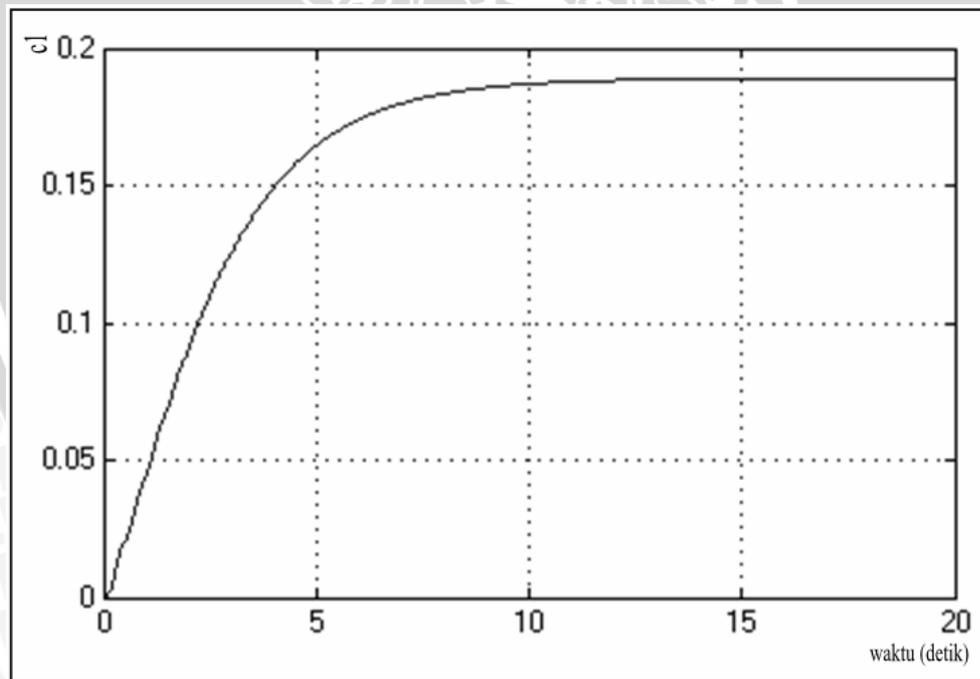
Gambar 5.11. Respon *plant* dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$.



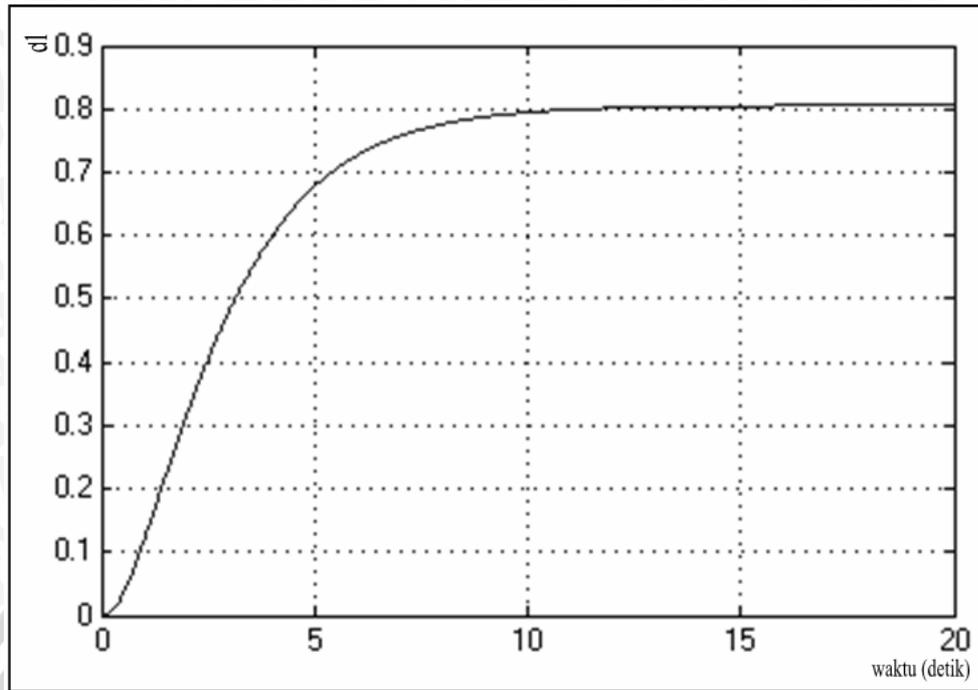
Gambar 5.12. Sinyal kontrol dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$.



Gambar 5.13. Sinyal k_0 dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$.



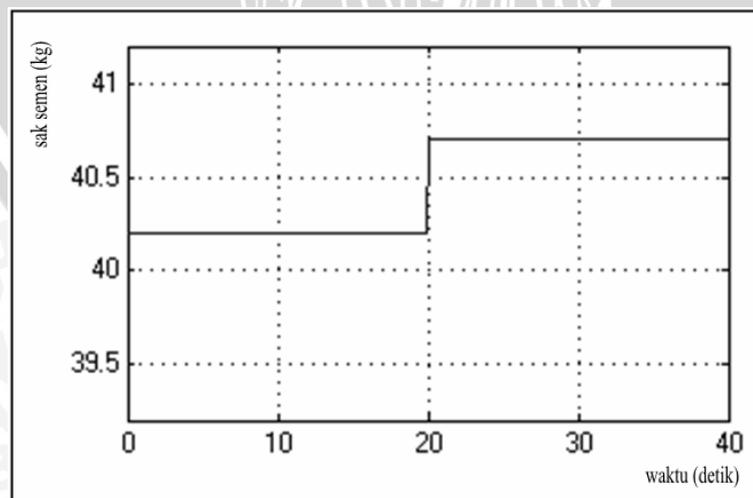
Gambar 5.14. Sinyal c_1 dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001, c_1 = 1, d_1 = 1$.



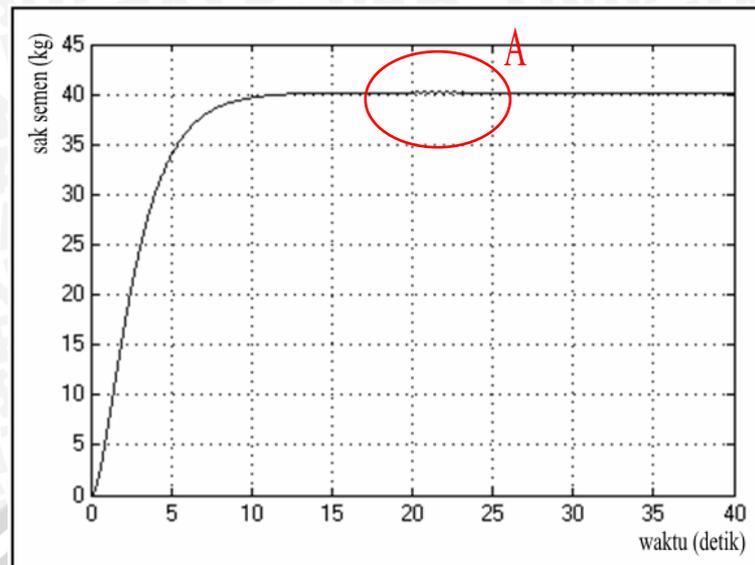
Gambar 5.15. Sinyal d_1 dengan *tuning* parameter pengendali dan tanpa gangguan acak dengan nilai $k_0 = 0,001$, $c_1 = 1$, $d_1 = 1$.

5.5. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan *Tuning* Parameter Pengendali dan Dengan Gangguan

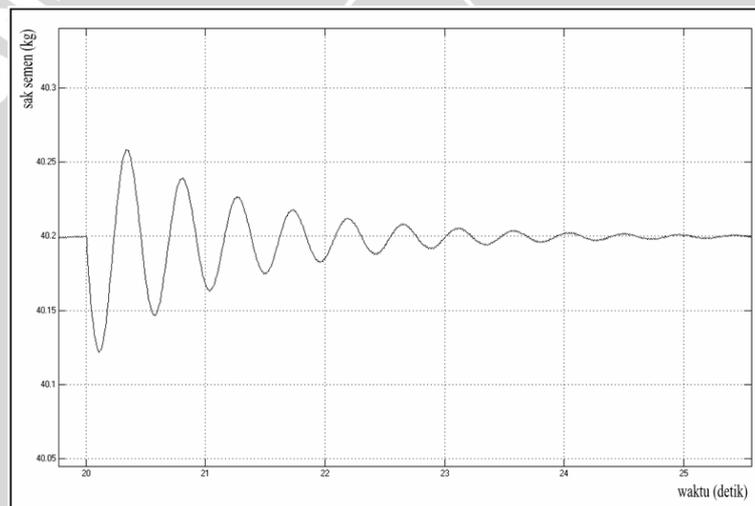
Parameter pengendali k_0 adalah 0,001, sedangkan untuk parameter pengendali c_1 sebesar 1 dan d_1 sebesar 1. Simulasi gangguan yang pertama adalah pemberian gangguan berupa penambahan berat semen sebagai akibat dari debu-debu semen yang menempel pada pelana *roto packer*, secara signifikan sebesar 0,5 kg pada detik ke 20 (lihat gambar 5.16) dari proses pengisian sak semen.



Gambar 5.16. Sinyal gangguan berupa penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.



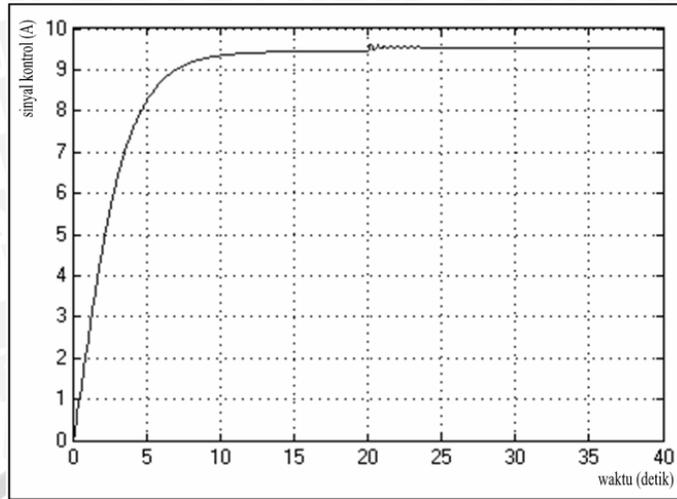
Gambar 5.17. Respon *plant* terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.



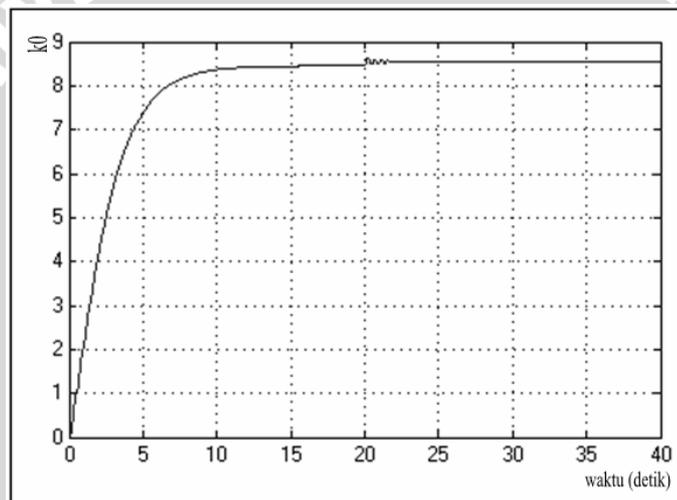
Gambar 5.18. Perbesaran daerah A pada gambar 5.17.

Gambar 5.18. terlihat bahwa pengaruh gangguan berupa penambahan berat semen sebesar 0,5 kg pada detik ke 20 pada proses pengisian sak semen oleh *roto packer*, dengan pengendalian adaptif metode *Model Reference Adaptive Systems* mengalami waktu pulih selama 5,6 detik, dengan pengisian sak semen terberat seberat 40,26 kg.

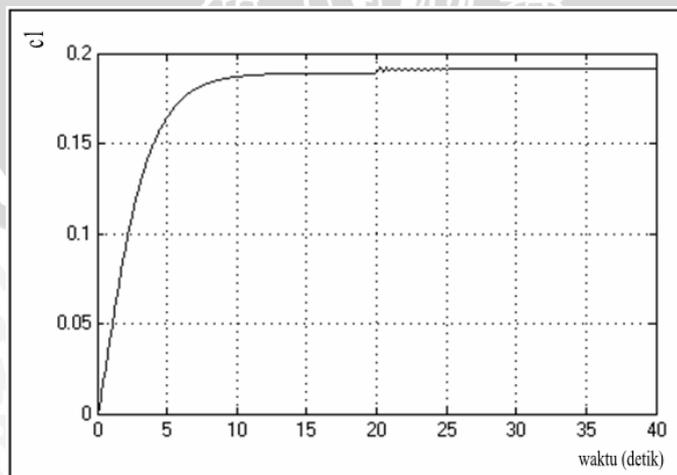
Sedangkan untuk gambar respon sinyal kontrol dan sinyal parameter pengendali k_0 , c_1 , dan d_1 secara berturut-turut dapat dilihat pada gambar 5.19 sampai dengan gambar 5.22.



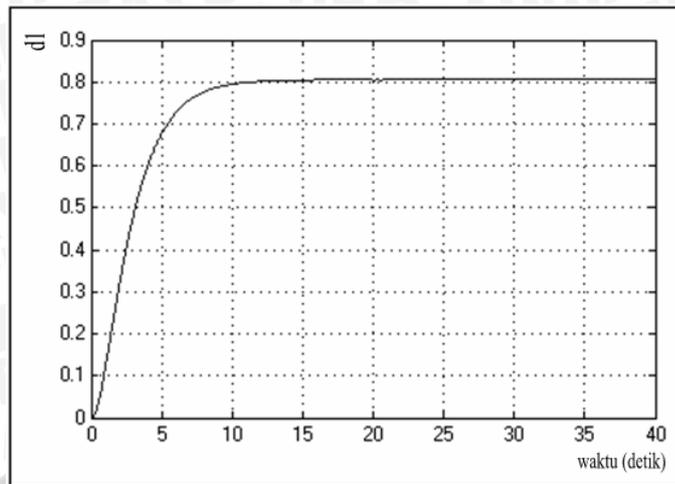
Gambar 5.19. Sinyal kontrol terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.



Gambar 5.20. Sinyal k_0 terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.

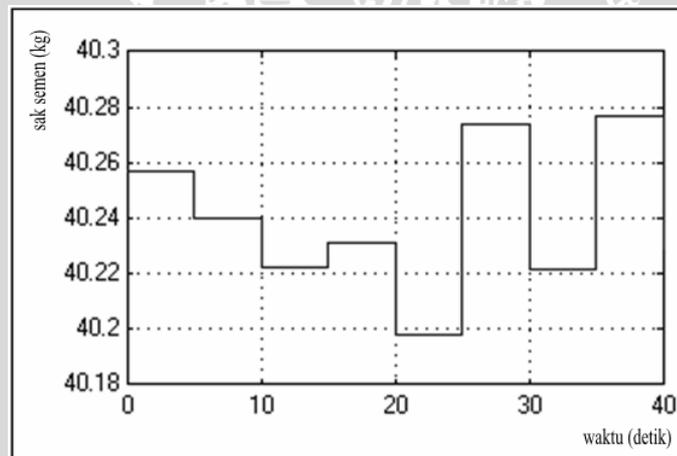


Gambar 5.21. Sinyal c_1 terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.



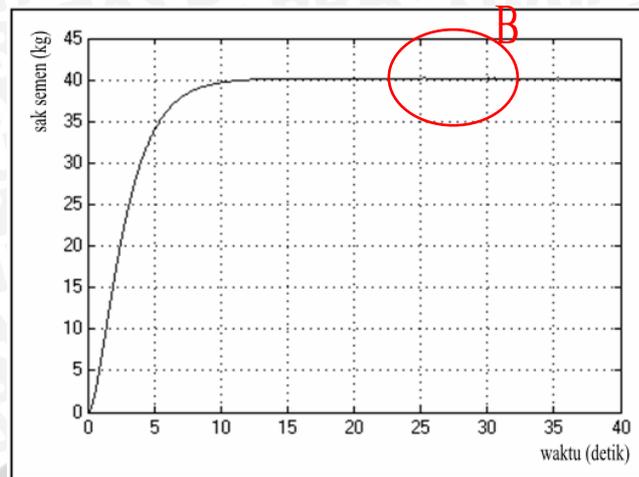
Gambar 5.22. Sinyal d_1 terhadap penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg pada detik ke 20.

Selanjutnya, untuk simulasi gangguan acak yang kedua adalah pemberian gangguan acak berupa penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik (lihat gambar 5.23). Parameter pengendali k_0 sebesar 0,001 sedangkan untuk nilai c_1 sebesar 1 dan d_1 sebesar 1, dengan *set point* 40,2 kg.

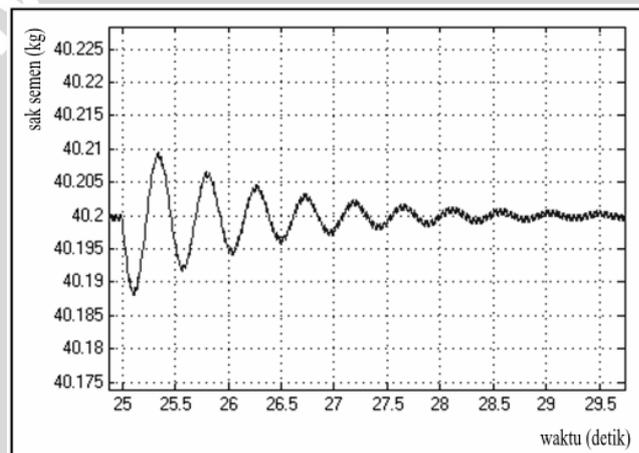


Gambar 5.23. Sinyal gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik.

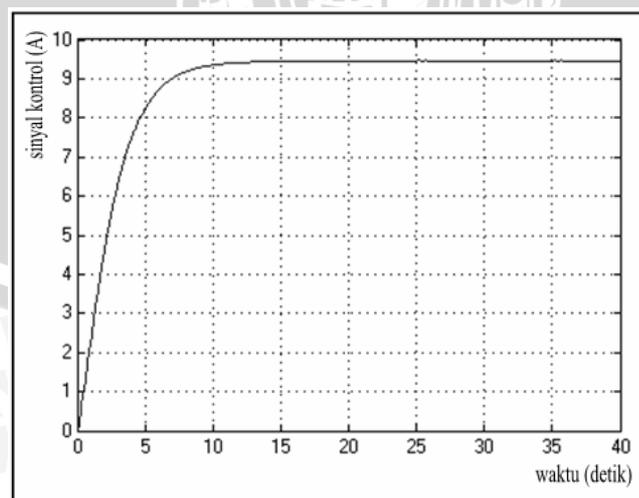
Dengan gangguan sinyal acak berupa penambahan berat semen pada pelana *roto packer* sebesar 0,02 kg setiap 5 detiknya, sistem masih berada dalam daerah kerja *roto packer* yang berarti semen yang akan dipasarkan ke konsumen beratnya tidak akan $\pm 40,21$ kg. Pada gambar 5.25, terlihat pada detik ke 25 sistem mengalami gangguan dan mengalami waktu pulih sekitar 5 detik untuk mendapatkan gangguan penambahan berikutnya.



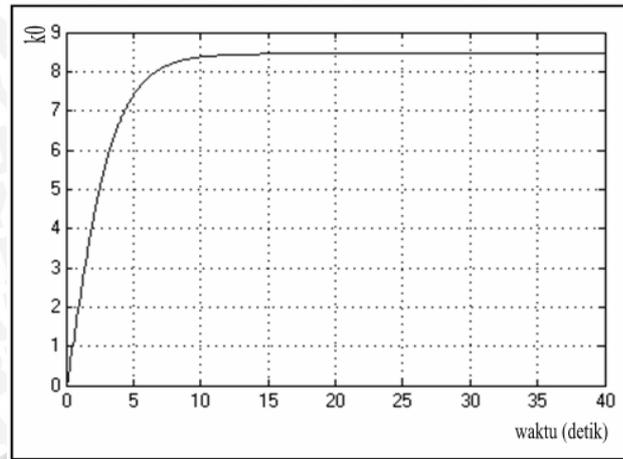
Gambar 5.24. Respon *plant* dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik.



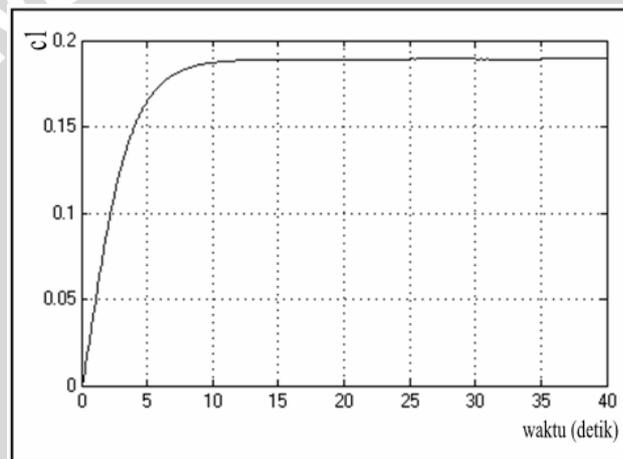
Gambar 5.25. Perbesaran daerah B pada gambar 5.24.



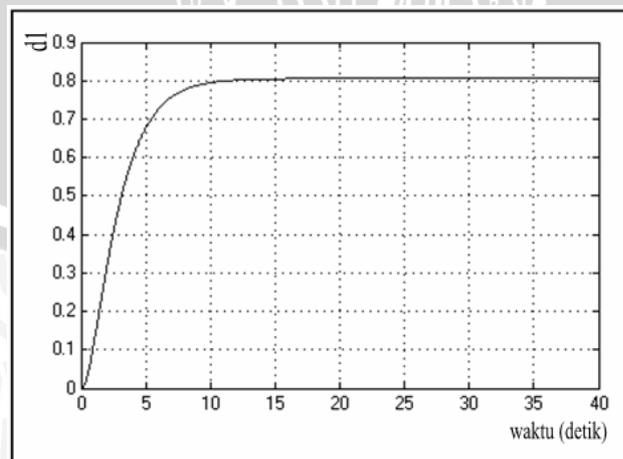
Gambar 5.26. Sinyal kontrol dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik.



Gambar 5.27. Sinyal k_0 dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik



Gambar 5.28. Sinyal c_1 dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik



Gambar 5.29. Sinyal d_1 dengan gangguan berupa sinyal acak penambahan pengisian sak semen pada pelana *roto packer* dengan kisaran 0,02 kg setiap 5 detik

5.6. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan Variasi *Set Point* Dengan *Tuning* Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan Acak

Hasil simulasi dengan variasi *set point* dengan tuning parameter pengendali dan tanpa gangguan dilakukan untuk mengantisipasi perubahan permintaan sak semen oleh konsumen. Hal ini juga bertujuan untuk menjaga peralatan mesin pengepakan sak semen (dalam hal ini sistem *roto packer*) dari kerusakan, sebagai akibat yang mungkin terjadi oleh perubahan *set point*.

Tabel 5.3. Data pengujian variasi set point dengan $\xi = -0,01$, $k_0 = 0,001$, $c_1 = 1$, dan $d_1 = 1$.

<i>Set Point</i> (ton/jam)	Sak Semen Model (kg)	Sak Semen <i>Plant</i> (kg)	<i>Error</i> (%)	<i>Settling</i> <i>Time</i> (s)	Sinyal Kontrol (A)
30,2	30,2	30,2	0	13,2	7,097
40,2	40,2	40,2	0	12,2	9,447
50,2	50,2	50,2	0	15,8	11,8
60,2	60,2	60,2	0	12,4	14,15
70,2	70,2	63,83	9,07	6,6	15

Dari tabel diatas terlihat bahwa dengan menambahkan elemen saturasi pada saat *set point* diubah menjadi 70,2 kg, sinyal kontrol akan terpotong pada 15 ampere. Hal ini dapat menjaga *roto packer* dari kerusakan sebagai akibat dari kelebihan arus yang dapat dilewatkan oleh sirkuit *inverter* pada *roto packer*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dengan *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) pada pengendalian *roto packer* proses pengepakan sak semen di PT. Semen Gresik - Tuban, melalui pengujian dan analisis yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain simulasi pengendalian *roto packer* dengan *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) pada keadaan tanpa gangguan acak dengan *tuning* parameter pengendali didapatkan nilai $k_0 = 0,001$, $c_1 = 1$, dan $d_1 = 1$ dapat meminimalkan *error* sistem sampai 0 % pada *set point* 40,2 kg. Saat sistem tidak terjadi *overshoot*, *ripple*, dan osilasi dengan *settling time* 12,2 detik pada proses pengisian sak semen di PT. Semen Gresik – Tuban.
2. Simulasi dengan gangguan, pengendalian *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) dapat mengatasi gangguan yang berupa sinyal *step* dan sinyal acak. Pada pemberian sinyal *step*, penambahan berat pada pelana *roto packer* sebesar 0,5 kg saat detik ke 20 didapatkan nilai *error* sebesar 0,15 % dengan waktu pulih selama 5,6 detik. Sedangkan pada pemberian sinyal acak seperti yang terjadi di PT. Semen Gresik - Tuban dengan kisaran 0,02 kg tiap 5 detik, *error* sebesar 0,025 %. Sehingga penggunaan MRAS layak digunakan karena proses pengisian semen berada pada $40,2 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$.

6.2. Saran

1. Daerah kerja dari sistem dibatasi oleh kemampuan sirkuit *inverter* dan kemampuan nominal motor. Agar daerah kerja sistem menjadi lebih besar, dapat digunakan motor dengan nominal yang lebih besar.
2. Perancangan pengendalian adaptif dengan metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) yang masih dalam tahap simulasi ini, dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menerapkannya pada sistem fisik yang sesungguhnya dengan lebih memperhatikan faktor kendala yang terjadi di lapangan, serta perancangan akan lebih baik jika fungsi alih *plant* didapatkan dari proses identifikasi, dan tidak hanya dengan pemodelan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Astrom, K.J., Wittenmark, B., 1989, *Adaptive Control*, USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Astrom, K.J., Wittenmark, B., 1993, *Adaptive Control*, USA: Addison-Wesley Publishing Company. *e-book*
- Butler, H., 1992, *Model Reference Adaptive Control from Theory to Practice*, UK: Prentice Hall, Inc.
- Ioannou, P.A., Sun, Jing, 2003, *Robust Adaptive Control*, US: University of Southern California. *e-book*
- Krishnan, R., 2001, *Electric Motor Drives Modeling, Analysis, and Control*, UK: Prentice Hall, Inc.
- Nagaratman, S., 1971, *Fluid Machine and System*, Mc.Graw. Hill. Bombay, New Delhi.
- Narendra, K. S., Annaswamy, N ., 1989, *Stable Adaptive Control*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc.
- Ogata, K, 1995, *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1 cetakan ketujuh*, Jakarta: Erlangga.
- Ogata, K, 1997, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2 cetakan pertama*, Jakarta: Erlangga.
- Rusdhianto, 2000, *Sistem Kontrol Adaptif*, Surabaya: ITS
- Sastry, S., Bodson, M., 1994, *Adaptive Control, Stability, Convergence and Robustness*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc. *e-book*
- Soemarwanto, 1997, *Diktat Kuliah Dasar Konversi Energi Listrik*, Belum Diterbitkan
- Sumanto, MA., Drs, 1993, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik Motor Sinkron Motor Induksi*, Yogyakarta: Andi Offset
- Zemansky, Sears, 2002, *Fisika Universitas Edisi 10 Jilid 1*, Jakarta: Erlangga
- Zuhal, 2000, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Umum
- <http://digilib.petra.ac.id/ads-cgi/viewer.pl/jiunkpe/s1/elkt/2001/jiunkpe-ns-s1-2001-23497097-224-pompa-chapter2.pdf?setmode=tpijb100#DocumentBody> *22-02-2007*
- [http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-%20Electric%20motors%20\(Bahasa%20Indonesia\).pdf](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-%20Electric%20motors%20(Bahasa%20Indonesia).pdf) *10-05-2007*
- <http://www.semengresik.com/indonesia/about/images/plant.swf> *21-05-2007*

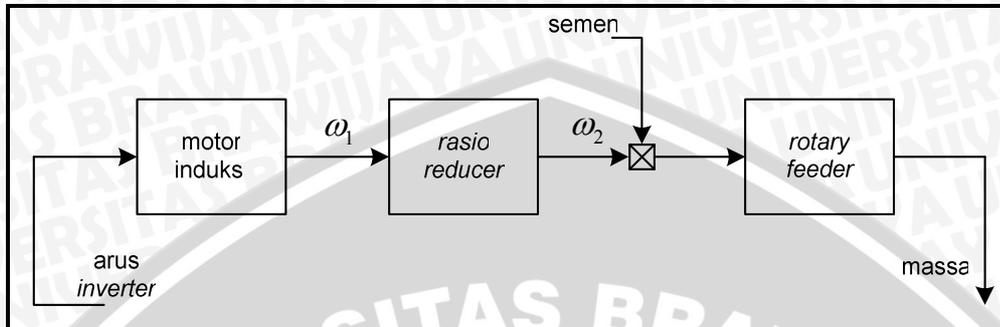
LAMPIRAN



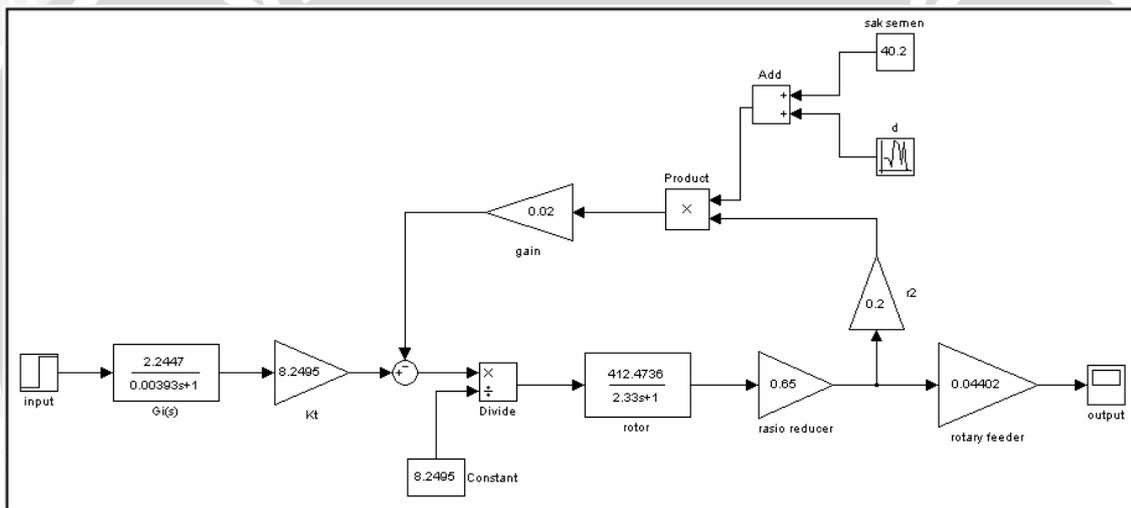
Lampiran A

Proses mendapatkan fungsi alih *plant*

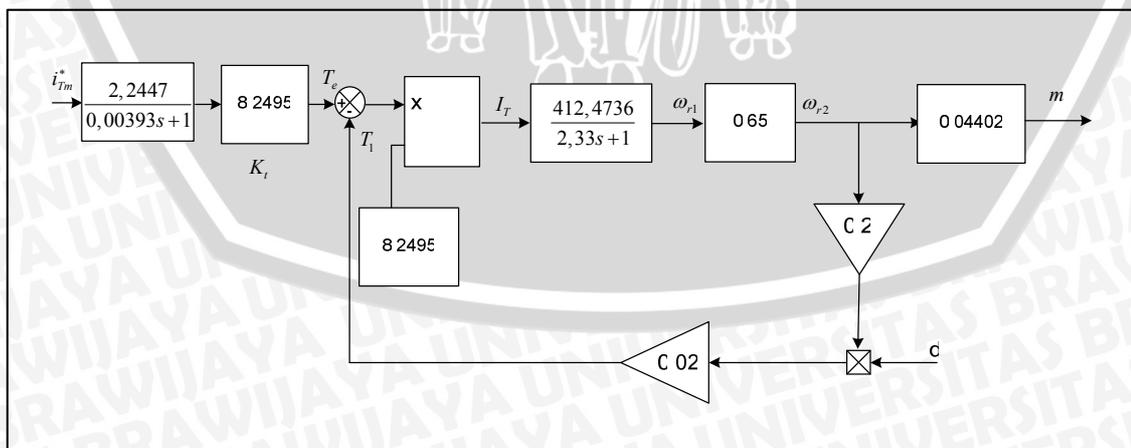
Sistem *roto packer* pada PT. Semen Gresik - Tuban terdiri atas *inverter*, motor induksi, *rasio reducer*, dan *rotary feeder*.

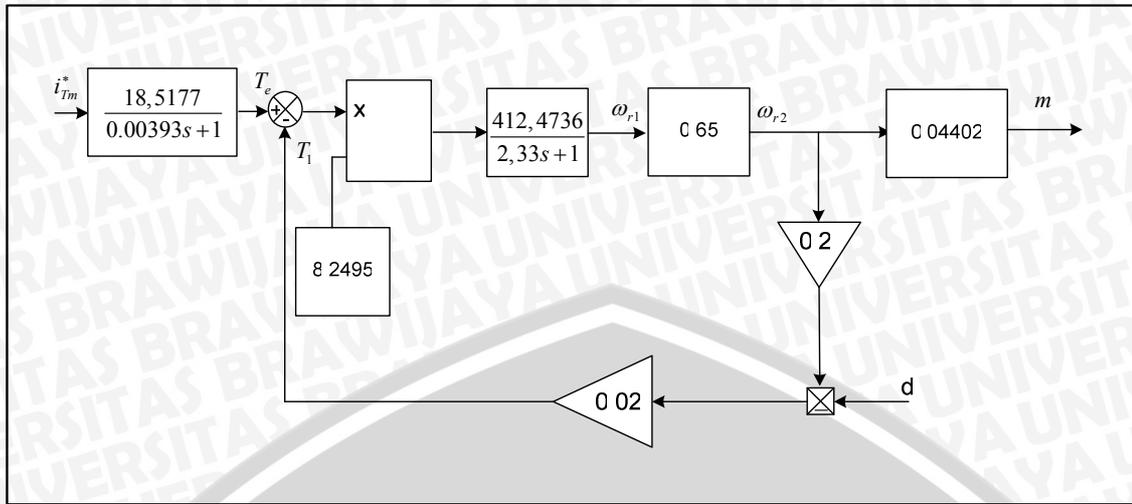


masing-masing blok beserta gangguannya ditentukan fungsi alihnya, sebagai berikut



secara berturut-turut dengan penyederhanaan blok diagram *plant* didapatkan

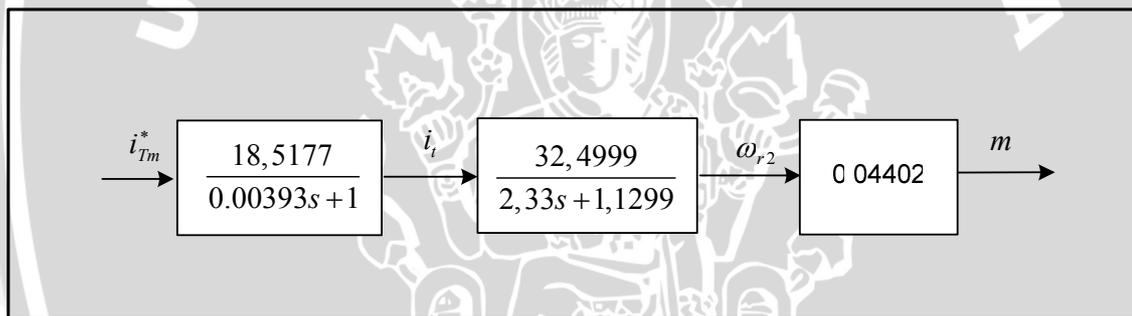




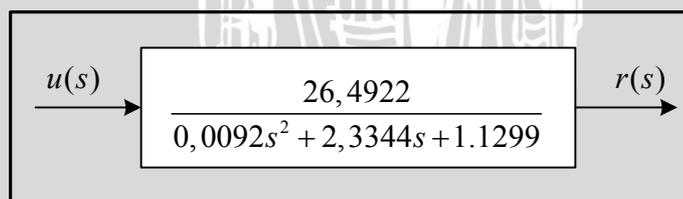
dengan menggunakan penyederhanaan

$$\frac{r(s)}{u(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

didapatkan



sehingga akhir penyederhanaan diagram blok *plant* adalah



Lampiran B

Proses menentukan model referensi

Penentuan fungsi alih model referensi didapatkan dengan cara *trial and error*, *settling time* yang diinginkan selama 10 detik. Menggunakan persamaan model referensi untuk *plant* yang akan dikendalikan mempunyai derajat relatif sama dengan dua; yakni :

$$\frac{(s + ABC)}{\left(\frac{t_s}{5} s + A\right)(s + B)(s + C)} \quad (B-1)$$

Nilai A, B, dan C dipilih nilai-nilai acak berupa nilai akar-akar. Untuk nilai A dipilih merupakan akar dominan, yakni nilai yang paling dekat dengan sumbu *y*. Sedangkan untuk nilai B dipilih akar yang dekat dengan nilai A tetapi bukan berhimpit. Sehingga nilai C dapat ditentukan sebagai akar yang tidak dominan artinya tidak mempengaruhi respon atau pengaruhnya sangat kecil terhadap respon.

$$\frac{(s + 50)}{\left(\frac{10}{5} s + 1\right)(s + 1)(s + 50)} \quad (B-2)$$

$$\frac{(s + 50)}{(2s + 1)(s + 1)(s + 50)} \quad (B-3)$$

$$\frac{(s + 50)}{(2s^3 + 103s^2 + 151s + 50)} \quad (B-4)$$

$$\frac{(0,5s + 25)}{(s^3 + 51,5s^2 + 75,5s + 25)} \quad (B-5)$$