

repository.ub.ac.id

**APLIKASI KONTROL OPTIMAL LQG
UNTUK PENGENDALIAN WATER LEVEL STEAM DRUM BOILER
DI PG. Kebon Agung Malang Jawa Timur**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

RUDITO PRAYOGO
NIM. 105060300111021-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**APLIKASI KONTROL OPTIMAL LQG
UNTUK PENGENDALIAN WATER LEVEL STEAM DRUM BOILER
DI PG. Kebon Agung Malang Jawa Timur**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

RUDITO PRAYOGO
NIM. 105060300111021-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

Ir. Purwanto, MT
NIP. 19511224 198203 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

APLIKASI KONTROL OPTIMAL LQG UNTUK PENGENDALIAN *WATER LEVEL STEAM DRUM BOILER* DI PG. Kebon Agung Malang Jawa Timur

SKRIPSI

Disusun oleh:

RUDITO PRAYOGO
NIM. 105060300111021-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 12 November 2014

MAJELIS PENGUJI

Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT.
NIP. 19711013 200604 1 001

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19771102 200604 2 003

Ir. Moch. Rusli, Dipl.-Ing.
NIP. 19630104 198701 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Assalamu' Alaikum Warrohmatulloh Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW selaku suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan yang baik ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- Keluarga tercinta, Bapak Priyanto dan Ibu Bangun Rubeti yang selalu memberikan kasih sayang, support dan doa yang tiada akhir. Mbah Uti, Budhe Yun, Pakpuh Pribadi, Pak Yogi, Tante Dona, Pakpuh Joko, Mas Awan dan seluruh keluarga yang juga memberikan support serta doa. Adikku tersayang Rio, yang selalu menghibur dan memberi semangat.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak waktu, ilmu, masukan, dan kesabaran dalam membimbing..
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol, selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, masukan, serta saran yang telah diberikan selama bimbingan.
- Bapak Ir. Chairuzaini (Alm), dan Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu dalam memberi bimbingan akademik.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas selaku Kepala Laboratorium Sistem Kontrol yang telah meluangkan banyak waktunya untuk kemajuan lab.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Mbak Eka selaku Laboran Lab. Sistem Kontrol sekaligus pendengar keluh kesah selama berada di Lab .
- PG. Kebon Agung Malang yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di pabrik

- Pak Cucut selaku pembimbing ketika penulis berada di PG. Kebon Agung atas segala masukan, nasihat dan arahnya.
- Keluarga Besar Lab Siskon, Mas Darmo, Mas Salmi, Mas Adeck, Mas Arga, Mas Along, Mas Glady, Mbak Yoshiko, Ade, Sendok, Khairul, Hakiki, Garneta, Ayu, Dina, Ika, Hamu, Rozi, Azri, Tesu, Mirza, Zainudin, Emon, Samid, dan adek-adek asisten baru Lab Siskon.
- Sahabat Family Day, Hamu, Ika, Rara, Zara, Ade, Sendok, Dayat, Anas, Fitra, dan Firman atas semangat, cerita, dan waktu menyenangkan saat menjadi mahasiswa Teknik Elektro.
- Orang Tua Fitra Rahmat Indiyanto, Om Harijanto dan Tante Indi, yang selalu memberikan support, nasihat dan dukungan untuk kami.
- Fitria Magdalena Suprpto atas segala pengertian, kesabaran, semangat yang tak pernah putus, waktu, segala bantuan, dan doa yang telah diberikan.
- Tak lupa keluarga besar MAGNET'10, yang telah mengukirkan sebuah kisah klasik untuk masa depan.
- Mbak penjual kopi di belakang SOB, yang telah bersedia menyediakan tempat berpikir dan merenung sejak penulis MABA.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis juga berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, November 2014

Penulis

ABSTRAK

Rudito Prayogo, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2014, Aplikasi Kontrol Optimal LQG Untuk Pengendalian *Water Level Steam Drum Boiler* Di PG. Kebon Agung Malang Jawa Timur, Dosen Pembimbing: M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D., Ir. Purwanto, MT.

Steam drum adalah bagian penting dari *boiler* dimana di dalamnya terjadi proses perubahan dari air menjadi uap (*steam*) berlangsung secara kontinyu. Level air pada *steam drum boiler* harus dijaga pada *NWL (Normally Water Level)*, level tidak boleh terlalu rendah atau tinggi dari *NWL*. *Level drum* yang terlalu rendah bisa menyebabkan terjadinya panas berlebih (*overheated*) pada *boiler tubes* sehingga *tubes* bisa menjadi rusak. Sebaliknya *level drum* yang terlalu tinggi akan menyebabkan kualitas *steam* yang dihasilkan kurang bagus (banyak mengandung air/basah), hal ini dapat menyebabkan korosi pada peralatan yang menggunakan *steam* sebagai penggerakannya. Perubahan *water level* pada *steam drum* bisa terjadi akibat, perubahan kebutuhan *steam* yang digunakan pada proses produksi. Sistem pengendalian *water level* pada *steam drum*, mempunyai gangguan berupa perubahan kebutuhan *steam* ataupun *noise* dari pembacaan sensor ketinggian.

Salah satu metode sistem kontrol optimal yang dapat mengkompensasi kedua masalah tersebut, adalah kontrol optimal dengan metode LQG (*Linier Quadratic Gaussian*). Digunakannya metode kontrol optimal LQG, bertujuan untuk mengoptimalkan kemampuan yang dimiliki oleh *valve* agar dapat mengatasi gangguan yang diberikan oleh perubahan laju *steam* dan pengukuran yang dikotori *noise*. Sehingga *level* dari *steam drum* bisa dipertahankan di dalam *range* yang diperbolehkan.

Dari hasil pengujian *water level steam drum* mempunyai error rata-rata sebesar 0.067%, *settling time* sebesar 1100s dalam pengisian awal dimana gangguan *noise* sensor diberikan, dan mempunyai *error* rata-rata sebesar 0.13% ketika sistem mendapat gangguan dari laju *steam* dan *noise* sensor.

Kata Kunci: *NWL, disturbance, LQG.*



DAFTAR ISI

PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Kontrol Lup Tertutup	5
2.2 Sistem Kontrol Lup Terbuka	5
2.3 Pemodelan Sistem	6
2.4 Sistem Linier	7
2.5 Sistem Linier Parameter Konstan (<i>Time Invariant</i>) dan Sistem Linier Parameter Berubah (<i>Time Varying</i>)	7
2.6 Dinamika Proses	7
2.7 Fungsi Alih	8
2.8 Konsep Ruang Keadaan (<i>State Space</i>).....	9
2.9 Analisa Kestabilan Sistem	10
2.10 Keterkendalian dan Keteramatan	10
2.10.1 Keterkendalian	10
2.10.2 Keteramatan	11
2.11 Konsep Sistem Kontrol Optimal	11
2.12 LQR (Linier Quadratic Gaussian)	12
2.13 State Observer.....	13
2.14 Kontrol Optimal LQG (Linier Quadratic Gaussian)	15
2.15 Kontrol Kaskade	17
2.16 Tempat Kedudukan Akar (<i>root locus</i>).....	18

2.17	Kontroler Proporsional	19
2.18	Proses Pada Boiler	20
BAB III METODE PENELITIAN		21
3.1	Studi Literatur	21
3.2	Pengumpulan Data	21
3.3	Penyusunan Model Sistem	21
3.4	Desain Kontroler LQG	22
3.5	Pengujian Dan Analisa	22
3.6	Penarikan Kesimpulan Dan Saran	22
BAB IV PEMODELAN SISTEM.....		23
4.1	Block Diagram Keseluruhan	23
4.2	Pemodelan Level Steam Drum	24
4.3	Pemodelan Control Valve.....	28
4.3.1	Pemodelan <i>Valve</i>	28
4.3.2	Pemodelan Flow Sensor	29
4.3.3	Pemberian Konstanta K_p (Kontrol Proporsional)	30
4.4	Pemodelan Sensor Ketinggian Air	33
4.5	Pembentukan <i>State Space</i>	33
BAB V DESAIN PENGENDALIAN, PENGUJIAN, DAN ANALISIS SISTEM.....		35
5.1	Analisa Keterkendalian dan Keamanan	35
5.1.1	Analisis Keterkendalian	35
5.1.2	Analisa Keamanan	35
5.2	Uji Kestabilan Sistem	36
5.3	Formulasi Permasalahan Optimal	37
5.4	Perancangan Kontroler	37
5.4.1	Kontroler LQR	37
5.4.1.2	Penyusunan Sistem kontrol LQR	38
5.4.1.3	Penentuan Matriks Bobot Q dan R	39
5.4.1.4	Perancangan LQR Mode Pertama	39
5.4.1.5	Perancangan LQR <i>Mode</i> Kedua.....	43
5.4.2	Perancangan <i>Estimator</i>	46

5.4.3	Perancangan LQG.....	46
5.5	Simulasi Sistem Terhadap Gangguan	48
5.5.1	Simulasi <i>Mode</i> Pertama	50
5.5.2	Simulasi <i>Mode</i> Kedua.....	51
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
6.1	Kesimpulan.....	53
6.2	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN I.....		57
LAMPIRAN II		89
LAMPIRAN III.....		94
LAMPIRAN IV		99



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Kontrol Lup Tertutup	5
Gambar 2.2 Sistem kontrol lup terbuka.....	6
Gambar 2.3 Sistem Kontrol Optimal dengan umpan balik keadaan	13
Gambar 2.4 Full Order State Observer	14
Gambar 2.5 <i>Plant</i> yang dikontrol LQG.....	15
Gambar 2.6 <i>Close Loop</i> LQG	16
Gambar 2.7 Blok Diagram Kontrol Kaskade.....	17
Gambar 2.8 Sistem <i>loop</i> tertutup	18
Gambar 2.9 Diagram blok kontroler proporsional	19
Gambar 2.10 Steam Drum Boiler.....	20
Gambar 4.1 Diagram blok sistem keseluruhan	23
Gambar 4.2 (a) Grafik steam flow dan feedwater flow; (b) Grafik level steam drum	25
Gambar 4.3 <i>input</i> dan <i>output</i> fungsi <i>ident</i>	25
Gambar 4.4 Grafik hasil identifikasi.....	26
Gambar 4.5 Grafik perbandingan data real time dan simulasi	26
Gambar 4.6 Diagram blok <i>steam drum</i> 1.....	27
Gambar 4.7 Diagram blok <i>steam drum</i> 2.....	27
Gambar 4.8 Diagram Blok <i>Valve</i>	29
Gambar 4.9 Diagram Blok Feedwater Flow-Transmitter.....	30
Gambar 4.10 Blok Diagram <i>Loop Slave</i>	30
Gambar 4.11 Grafik <i>root locus valve</i>	31
Gambar 4.12 respon sistem dengan masukan <i>step</i>	31
Gambar 4.13 Sistem pengendalian <i>feedwater flow</i>	32
Gambar 4.14 Grafik respon dengan masukan <i>flow</i> 18 Kg/s.....	32
Gambar 4.15 Diagram Blok Sensor level	33
Gambar 4.16 Diagram blok <i>open loop</i> sistem.....	33
Gambar 4.17 Penggabungan diagram blok <i>open loop</i>	34
Gambar 5.1 Diagram blok sistem kontrol LQR	38
Gambar 5.2 Diagram blok sistem kontrol LQT	40
Gambar 5.3 (a) respon <i>water level steam drum set point</i> 0.9 m (b) Sinyal kontrol <i>set point</i> 0.9 m dengan nilai $Q_w=1.23$ dan $R_v=0.0009$	42
Gambar 5.4 Pembesaran respon <i>water level steam drum set point</i> 0.9 m.....	43

Gambar 5.5 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol dengan nilai $Q_w=100$ dan $R_v=0.0009$44

Gambar 5.6 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol dengan nilai $Q_w=100$ dan $R_v= 20000000$45

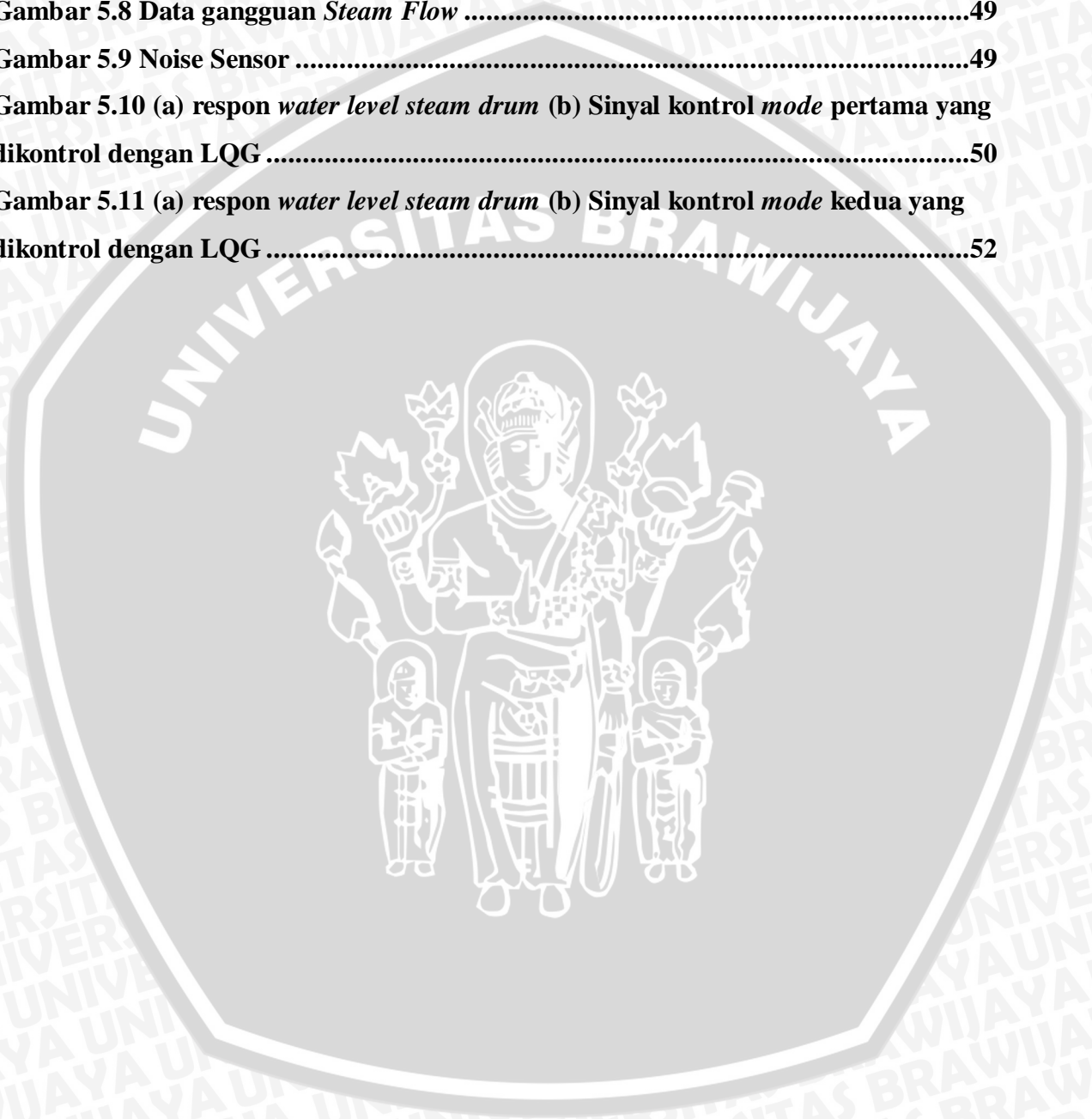
Gambar 5.7 Diagram blok sistem kontrol LQG/LQT47

Gambar 5.8 Data gangguan *Steam Flow*49

Gambar 5.9 Noise Sensor49

Gambar 5.10 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol *mode pertama* yang dikontrol dengan LQG50

Gambar 5.11 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol *mode kedua* yang dikontrol dengan LQG52



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik Gula Kebon Agung yang terletak di daerah Malang Jawa Timur, menghasilkan produksi gula yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Dalam hasil wawancara dengan salah satu pegawai pabrik, pada tahun 2009 hingga sekarang PG Kebon Agung mampu memproduksi gula sebanyak lebih dari 100.000 ton per tahunnya.

Proses produksi yang dilakukan di PG Kebon Agung melibatkan mesin-mesin uap seperti halnya Penggerak *Cane Cutter I* dan *Cane Cutter II*, Penggerak HDS, Penggerak Gilingan dan Penggerak Generator Listrik (PLTU). Keseluruhan mesin-mesin tersebut memerlukan uap sebagai tenaga penggerakannya, dimana produksi uap dilakukan oleh boiler sebagai salah satu peralatan proses (Caysar dkk, 2013). Bisa dilihat bahwa uap hasil produksi dari boiler tidak hanya digunakan untuk pembangkit tenaga listrik.

Pada bagian boiler terdapat suatu bagian yang bernama *steam drum*, bagian ini berfungsi sebagai tempat pemisahan antara uap dan air (Nugraha, 2006). Di dalam *steam drum* pula proses perubahan dari air menjadi uap (*steam*) berlangsung secara kontinyu. Dalam proses pembentukan *steam* ini, variabel yang sangat penting untuk dilakukan pengontrolan secara kontinyu adalah level air di dalam *steam drum*. Level air pada *steam drum* boiler dijaga pada *NWL (Normally Water Level)*, level air tidak boleh terlalu rendah atau terlalu tinggi dari *NWL*. *Level drum* yang terlalu rendah bisa menyebabkan terjadinya panas berlebih (*overheated*) pada *boiler tubes* sehingga *tubes* bisa menjadi rusak/bengkok/bocor. Sebaliknya *level drum* yang terlalu tinggi akan menyebabkan pemisahan air dan *steam* dalam drum tidak sempurna sehingga kualitas *steam* yang dihasilkan kurang (banyak mengandung air/basah), hal ini dapat menyebabkan korosi pada turbin-turbin yang menggunakan *steam* sebagai penggerakannya (Caysar dkk, 2013). Apabila terjadi keadaan fatal hingga *level* jauh melebihi batas minimum dan maksimum dari *steam drum*, maka akan terjadi trip pada sistem operasinya, sehingga diperlukan waktu yang lama untuk melakukan restart awal.

Perubahan *water level* pada *steam drum* bisa terjadi akibat, perubahan kebutuhan uap panas (*steam*) yang digunakan pada proses produksi. Pada konsep sistem pengendalian proses yang di bahas pada (Gunterus, 1994), menjelaskan bahwa perubahan yang terjadi akibat kebutuhan proses produksi, dinyatakan sebagai *Load/Disturbance* pada sistem pengendalian proses.

Sistem pengendalian *water level* pada *steam drum*, mempunyai gangguan berupa *load* dari kebutuhan *steam* ataupun *noise* dari pembacaan sensor ketinggian. Salah satu metode sistem kontrol optimal yang dapat mengkompensasi kedua gangguan tersebut, adalah kontrol optimal dengan metode LQG (*Linier Quadratic Gaussian*) (Lewis and Syrmos, 1995). Permintaan *steam* untuk proses produksi yang berubah-ubah, akan mengakibatkan perubahan *level* hingga melewati batas maksimum yang diperbolehkan ataupun *level* tidak sesuai dengan NWL, jika kontroler tidak bisa memprediksi seberapa besar perubahan *load* yang terjadi. Sulitnya memprediksi perubahan *load*, seringkali mengakibatkan penggantian nilai parameter kontroler saat proses berlangsung. Hal semacam ini bisa diatasi dengan menggunakan kontroler yang dapat memprediksi seberapa besar gangguan yang terjadi pada sistem. Salah satu metode yang bisa diterapkan adalah kontrol optimal dengan metode LQG.

Pada penelitian sebelumnya telah dibahas penggunaan konsep kontrol optimal LQG, untuk pengendalian *water level steam drum* pada PT.IPMOMI di Paiton, yang dilakukan oleh (Ardiansyah, 2007). Pada penelitian tersebut terlihat bahwa sistem bisa kembali pada nilai *set point* ketika diberi gangguan. Oleh karena itu untuk penelitian kali ini akan ditelaah kembali penggunaan kontrol optimal LQG untuk pengendalian *water level steam drum boiler* Yoshimine 2, yang ada di PG Kebon Agung Malang.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mendapatkan gain umpan balik K_c yang sesuai syarat pengontrolan optimal.
2. Bagaimana mendapatkan gain estimator K_f optimal dalam perancangan *state observer*.
3. Bagaimana performansi sistem dengan diterapkannya pengendalian optimal dengan metode LQG dan pengaruh gangguan pada sistem.

1.3 Batasan Masalah

1. Parameter-parameter yang dikendalikan adalah *level steam drum* Boiler Yoshimine 2.
2. Parameter sistem yang digunakan berdasarkan data yang diperoleh dari data primer yang berasal dari PG. Kebon Agung.
3. Model matematis *plant* bersifat linear dan *time-invariant* (parameter sistem dianggap konstan terhadap waktu).
4. Pembahasan hanya mengenai penerapan kontrol optimal LQG pada *water level steam drum*.
5. Pemberian gangguan dilakukan saat sistem sudah berjalan pada kondisi normal.
6. Pemodelan sistem dilakukan, berdasarkan atas keadaan saturasi pada *plant*, yaitu suhu 213,982 °C, dan *Pressure* 20 Kg/cm².
7. Daerah kerja *water level* yang diperbolehkan adalah antara 0.8 – 1.05 m dan laju aliran air maksimal dari *vavle* sebesar 33.33 Kg/s.
8. Pemodelan *steam drum* mempunyai *error* rata-rata dibawah 5%.
9. Analisis dan simulasi sistem menggunakan *software* Matlab.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan desain kontrol optimal LQG pada pengendalian *water level* pada *Steam Drum*, sehingga ketika diberi gangguan sistem akan tetap berada dalam *range* yang diperbolehkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dipakai pada penelitian ini adalah :

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai dasar-dasar teori sistem kontrol yang mendukung atau dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Bab III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir.

Bab IV PEMODELAN SISTEM

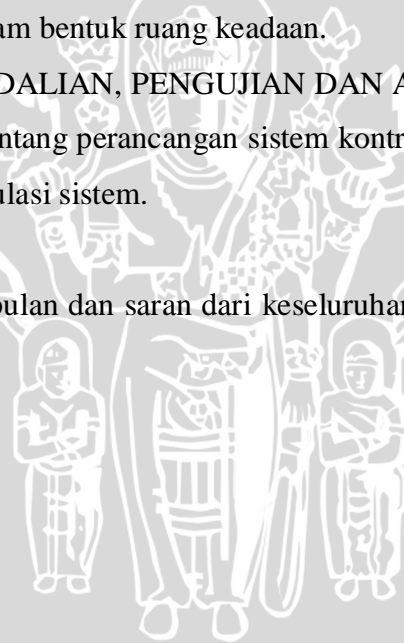
Bab ini membahas mengenai pemodelan parameter-parameter *Steam Drum* hingga penyajian dalam bentuk ruang keadaan.

Bab V DESAIN PENGENDALIAN, PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Bab ini membahas tentang perancangan sistem kontrol LQG dan penerapannya pada *plant*, serta simulasi sistem.

Bab VI PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan penyusunan tugas akhir ini.

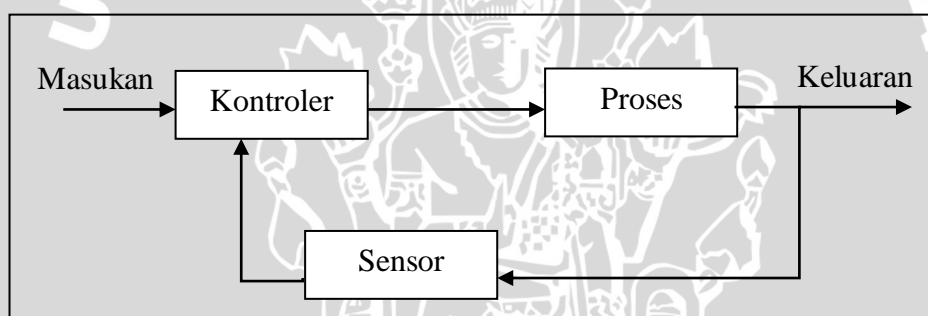


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kontrol Lup Tertutup

Sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Jadi, sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran dan turunannya), diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah “lup tertutup” berarti menggunakan aksi umpan-balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Gambar 2.1 menunjukkan hubungan masukan-keluaran dari sistem kontrol lup tertutup (Ogata, 1984:4).



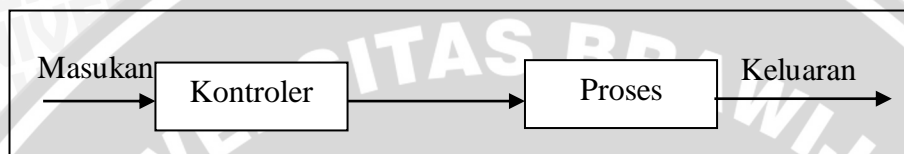
Gambar 2.1 Sistem Kontrol Lup Tertutup
Sumber : Ogata, K., 1984 :4

2.2 Sistem Kontrol Lup Terbuka

Sistem kontrol lup terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol lup terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpkan-balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan masukan-keluaran untuk sistem kontrol lup terbuka. Sebuah contoh praktis adalah mesin cuci. Perendaman, pencucian dan pembilasan pada mesin cuci dioperasikan pada basis waktu. Mesin ini tidak mengukur sinyal keluaran, misalnya kebersihan pakaian.

Pada setiap kontrol lup terbuka keluaran tidak dibandingkan dengan masukan acuan. Sehingga, untuk setiap masukan acuan, terdapat suatu kondisi operasi yang tetap. Jadi, ketelitian sistem bergantung pada kalibrasi. (sistemkontrol lup terbuka harus dikalibrasi

dengan hati-hati dan harus menjaga kalibrasi tersebut agar dapat dimanfaatkan dengan baik). Dengan adanya gangguan, sistem kontrol lup terbuka tidak dapat bekerja seperti yang diinginkan. Kontrol lup terbuka dapat digunakan dalam praktek hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan jika tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal. Jelaslah bahwa sistem semacam ini bukan sistem kontrol berumpan-balik. Perhatikan bahwa setiap sistem kontrol yang bekerja pada basis waktu adalah lup terbuka. Sebagai contoh, pengontrolan lalu-lintas dengan sinyal yang dioperasikan pada basis waktu adalah contoh lain dari kontrol lup terbuka (Ogata, 1984:6).



Gambar 2.2 Sistem kontrol lup terbuka
Sumber : Ogata, K., 1984 :7

2.3 Pemodelan Sistem

Beberapa sistem dinamik, seperti mekanik, listrik, termal, hidraulik, ekonomi, biologi, dan sebagainya, dapat dikarakteristikan dengan persamaan differensial. Respon suatu sistem dinamik terhadap suatu masukan (atau fungsi penggerak) dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan differensial tersebut. Persamaan tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan beberapa hukum fisika yang berlaku pada sistem yang ditinjau, misalnya, hukum Newton untuk sistem mekanik, hukum Kirchoff untuk sistem listrik, dan sebagainya.

Diskripsi matematika dari karakteristik dinamika suatu sistem disebut *model matematika*. Langkah pertama dalam analisis suatu sistem dinamik adalah menurunkan modelnya. Harus selalu kita ingat bahwa menurunkan model matematika yang masuk akal adalah bagian yang paling penting dari keseluruhan analisis.

Model dapat disajikan dalam beberapa bentuk yang berbeda. Bergantung pada sistem dan sekeliling yang ditinjau, suatu penyajian matematika mungkin lebih cocok daripada bentuk penyajian yang lain. Sebagai contoh, dalam persoalan kontrol optimal, seringkali lebih mudah untuk menggunakan seperangkat persamaan differensial orde pertama (Ogata, 1984:69).

2.4 Sistem Linier

Sistem linier adalah suatu sistem yang mempunyai persamaan model linier. Suatu persamaan differensial adalah linier jika koefisiennya adalah konstan atau hanya merupakan fungsi dari variabel bebasnya. Sifat yang paling penting dari sistem linier adalah bentuk superposisi. Prinsip superposisi menyatakan bahwa respon yang dihasilkan oleh penggunaan secara serentak dua buah fungsi penggerak yang berbeda adalah sama dengan jumlah dari dua buah respon individuannya. Oleh karenanya pada sistem linier, respon terhadap beberapa masukan dapat dihitung dengan mencari respon terhadap tiap-tiap masukan dan menjumlahkan hasilnya. Prinsip ini memungkinkan kita untuk menyusun jawab yang kompleks pada persamaan differensial linier dari beberapa jawab yang sederhana.

Pada penyelesaian sistem dinamik secara eksperimental, jika sebab dan akibat adalah sebanding, jadi berlaku prinsip superposisi, maka sistem tersebut dapat dianggap linier (Ogata, 1984:70).

2.5 Sistem Linier Parameter Konstan (*Time Invariant*) dan Sistem Linier Parameter Berubah (*Time Varying*)

Sistem dinamik linier yang terdiri dari beberapa komponen parameter konstan terkumpul dapat digambarkan dengan persamaan differensial linier parameter konstan. Sistem semacam itu disebut sistem *linier time invariant*. Sistem yang dinyatakan oleh persamaan differensial yang koefisiennya merupakan fungsi dari waktu disebut *sistem linier time-varying* (atau linier parameter berubah). Sebagai suatu contoh sistem kontrol parameter berubah adalah sistem kontrol pesawat ruang angkasa. (Massa pesawat berubah karena konsumsi bahan bakar, dan gaya gravitasi berubah karena pergerakan pesawat yang menjauhi bumi) (Ogata, 1984:70).

2.6 Dinamika Proses

Dinamika proses selalu dikaitkan dengan unsur kapasitas dan kelambatan. Ambil sebagai contoh aktivitas meniup balon karet mainan anak-anak. Balon bisa ditiup dengan mulut, bisa ditiup dengan pompa sepeda, dan bisa juga ditiup dengan kompresor. Balon akan lama mengembang bila ditiup dengan mulut, akan semakin cepat mengembang kalau ditiup dengan pompa sepeda, dan akan cepat mengembang kalau ditiup dengan kompresor. Ketiga keadaan ini menggambarkan adanya unsur kapasitas dan unsur kelambatan di dalam proses meniup balon.

Besarnya kapasitas balon menjadi sangat relatif karena harus selalu dikaitkan dengan apa balon itu ditiup. Dalam bahasa ilmu sistem pengendalian, dikatakan kapasitas proses tergantung pada sumber energi yang bekerja pada proses. Kalau sumber energinya kecil dan kapasitas prosesnya besar, proses akan menjadi lambat. Kalau sumber energinya besar dan kapasitas prosesnya kecil, proses akan menjadi cepat. Tampak jelas ada keterkaitan antara kapasitas dan kelambatan proses.

Kata kapasitas dan kelambatan itulah yang kemudian dipakai sebagai standar (ukuran) untuk menyatakan dinamika proses secara kualitatif. Dalam bentuk kualitatif, proses dibedakan menjadi proses cepat dan proses lambat, atau berkapasitas besar dan berkapasitas kecil.

Selain bentuk kualitatif, dinamika proses juga dinyatakan secara kuantitatif dalam bentuk fungsi alih (*transfer function*) (Gunterus, 1994:4-2).

2.7 Fungsi Alih

Dalam teori kontrol, fungsi yang disebut “fungsi alih” seringkali digunakan untuk mencirikan hubungan masukan-keluaran dari sistem linier parameter konstan. Konsep fungsi alih hanya digunakan pada sistem linier parameter konstan, walaupun dapat diperluas untuk suatu sistem kontrol nonlinier.

Fungsi alih sistem linier parameter konstan didefinisikan sebagai bandingan dari transformasi Laplace keluaran (fungsi respon) dan transformasi Laplace masukan (fungsi penggerak), dengan anggapan bahwa semua syarat awal adalah nol.

Tinjau sistem linier parameter konstan yang didefinisikan persamaan differensial berikut :

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x \quad (n \geq m) \quad (2.1)$$

di mana y adalah keluaran sistem dan x adalah masukan. Fungsi alih dari sistem ini diperoleh dengan mencari transformasi Laplace dari kedua ruas persamaan (2.1), dengan menganggap bahwa semua syarat awal adalah nol atau

$$\text{Fungsi alih} = G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}$$

Fungsi alih adalah suatu ekspresi yang merealisasikan keluaran dan masukan suatu sistem linier parameter konstan dalam bentuk parameter sistem dan merupakan sifat dari sistem itu sendiri, tidak bergantung pada fungsi masukan dengan keluaran, meskipun demikian, fungsi alih tidak memberikan informasi mengenai struktur fisik dari sistem.

Dengan menggunakan konsep ini, kita dapat menyatakan dinamika sistem dengan beberapa persamaan aljabar dalam s. pangkat tertinggi s penyebut fungsi alih sama dengan orde suku turunan tertinggi dari keluaran. Jika pangkat tertinggi dari s tersebut adalah n, maka sistem tersebut disebut sistem orde ke n (Ogata, 1984:72).

2.8 Konsep Ruang Keadaan (*State Space*)

Proses pemodelan sistem akan selalu dilakukan dalam mendesain sistem kontrol. Model dapat berupa diagram blok, diagram aliran sinyal, maupun dalam bentuk persamaan matematis. Model matematis sebuah sistem didefinisikan sebagai kumpulan informasi dalam bentuk persamaan matematis yang mewakili sistem fisik yang ditinjau. Kebanyakan sistem yang dibahas merupakan sistem yang dimodelkan dalam bentuk persamaan diferensial linier tidak berubah terhadap waktu (*linear time invariant*). Melalui persamaan tersebut dapat diperoleh hubungan *input-output* melalui fungsi alihnya yang diselesaikan dengan metode transformasi Laplace.

Terdapat satu metode lagi untuk memodelkan sistem, yang dikenal dengan metode ruang keadaan (*state space*). Model ini merupakan persamaan diferensial yang ditulis dalam bentuk yang spesifik. Model ruang keadaan merupakan sekumpulan persamaan diferensial orde satu yang saling berhubungan dan ditulis dalam notasi matriks vector. Bentuk umum ruang keadaan (*state space*) sebuah sistem adalah sebagai berikut : (Yamin, 2004:5).

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned} \tag{2.2}$$

dimana :

- $x(t)$ = vektor *state* (n - vektor)
- $u(t)$ = vector kontrol (m - vektor)
- $y(t)$ = vector keluaran (p - vektor)
- A = matriks orde n x n
- B = matriks orde n x m
- C = matriks orde p x n
- D = matriks orde p x n

2.9 Analisa Kestabilan Sistem

Stabilitas sistem ditentukan oleh tanggapan sistem terhadap masukan (*input*) dan gangguan (*disturbances*). Stabilitas sistem linier dapat didefinisikan sebagai keluaran terhingga (*definite*) untuk masukan yang terhingga, sedangkan ketidakstabilan sistem linier didefinisikan keluaran yang tak berhingga (*infinite*) untuk masukan berhingga (Shahian dkk, 1993:7).

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui stabilitas sistem adalah dengan melihat letak kutub-kutub model sistem pada bidang s . Kutub – kutub itu merupakan *eigenvalue* dari matriks keadaan A yang diperoleh dengan menyelesaikan persamaan $|sI - A| = 0$ untuk setiap s . Sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika kutub-kutub model sistem tersebut berada di sebelah kiri bidang s , dengan kata lain bagian nyata akar- akar karakteristik merupakan bilangan negatif (Ogata, 1984:316).

2.10 Keterkendalian dan Keteramatan

Suatu sistem disebut terkendali (terkontrol) pada saat t_0 jika menggunakan vector kontrol tanpa kendala kita dapat memindahkan sistem dari keadaan awal sembarang $x(t_0)$ ke keadaan lain sembarang dalam selang waktu yang terhingga.

Suatu sistem disebut teramati pada saat t_0 , jika kita dapat menentukan keadaan sistem $x(t_0)$ dari pengamatan keluaran dalam selang waktu yang terhingga.

Konsep keterkendalian dan keteramatan dikenalkan oleh kalman. Konsep tersebut memegang peranan yang sangat penting pada kontrol optimal sistem multi-variabel. Sebenarnya, syarat keterkendalian dan keteramatan dapat menentukan adanya jawaban lengkap persoalan kontrol optimal (Ogata, 1984:405).

2.10.1 Keterkendalian

Tinjau sistem kontinyu

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.3)$$

Dimana

x = vector keadaan (vector n -dimensi)

u = sinyal kontrol

A = matriks $n \times n$

B = matriks $n \times l$

Sistem yang dinyatakan oleh persamaan (2.3) disebut terkendali pada saat $t = t_0$ jika kita dapat menentukan sinyal kontrol yang akan memindahkan suatu keadaan awal ke keadaan akhir sembarang dalam selang waktu terhingga $t_0 \leq t \leq t_1$.

Keadaan sistem yang dinyatakan oleh persamaan (2.3) dikatakan terkontrol jika dan hanya jika vector \mathbf{B} , \mathbf{AB} , \dots , $\mathbf{A}^{n-1}\mathbf{B}$ bebas linier, atau matriks $n \times n$

$$[\mathbf{B} \mid \mathbf{AB} \mid \dots \mid \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{B}] \quad (2.4)$$

Mempunyai “rank” n (Ogata, 1984:406).

2.10.2 Keteramatan

Tinjau sistem tanpa penggerak yang dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{Ax} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{Cx} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Di mana

\mathbf{x} = vektor keadaan (vector n -dimensi)

\mathbf{y} = vector keluaran (vector m -dimensi)

\mathbf{A} = matriks $n \times n$

\mathbf{C} = matriks $m \times n$

Sistem dikatakan teramati jika setiap keadaan awal $\mathbf{x}(0)$ dapat ditentukan dari pengamatan $\mathbf{y}(t)$ selama selang waktu terhingga. Oleh karena itu sistem teramati sempurna jika setiap transisi keadaan akhirnya mempengaruhi setiap elemen vector keluaran. Konsep keteramatan berguna dalam penyelesaian persoalan rekonstruksi variabel keadaan yang tidak terukur, dari variabel yang terukur dalam selang waktu semimumimum mungkin.

Sistem dikatakan teramati sempurna untuk keluaran $\mathbf{y}(t)$ pada selang waktu $0 \leq t \leq t_1$, jika dan hanya jika matriks $n \times nm$

$$[\mathbf{C}^* \mid \mathbf{A}^*\mathbf{C}^* \mid \dots \mid (\mathbf{A}^*)^{n-1}\mathbf{C}^*] \quad (2.6)$$

Mempunyai “rank” n , atau mempunyai n vector kolom bebas linier (Ogata, 1984:14).

2.11 Konsep Sistem Kontrol Optimal

Suatu sistem dikatakan optimal bila sistem tersebut mempunyai unjuk kerja terbaik (*best performance*) terhadap suatu acuan tertentu. Sistem kontrol optimal mempunyai tolak ukur, artinya sistem tersebut harus sesuai terhadap suatu referensi. Dinamika sistem yang

akan dikontrol digambarkan oleh sekumpulan persamaan *state* yang dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{2.7}$$

Permasalahan umum dalam kontrol optimal adalah :

- Pada sistem (*plant*) yang akan dikendalikan, dapatkan fungsi kontrol $u^*(t)$ yang akan bekerja pada *plant*, yang mana hal itu merupakan aksi kontrol terbaik. Terbaik dalam artian selain memenuhi criteria desain tertentu juga memenuhi kendala-kendala yang ada.
- Bagaimana merealisasikan fungsi kontrol yang didapat dari poin di atas ke dalam suatu kontroler.

Pengendalian deterministik membutuhkan variabel keadaan secara lengkap untuk membangkitkan sinyal kontrol optimal dengan jalan meminimumkan suatu fungsi yang disebut *cost function*. *Cost function* ini mewakili indeks performansi yang harus dicari solusinya untuk mendapatkan hasil yang optimal (Ogata, 1984:401).

2.12 LQR (Linier Quadratic Gaussian)

Untuk sistem dengan indeks performansi kuadrat dalam bentuk :

$$J = \int_0^{\infty} [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt\tag{2.8}$$

Dengan tujuan untuk membawa state sistem dari state awal $x(t) = x^0$ ke state yang diinginkan x^t dengan meminimumkan J , maka permasalahan sistem demikian disebut permasalahan *Linier Quadratic Regulator*. Secara umum permasalahan LQR adalah :

Untuk suatu sistem linier, *time invariant*,

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)\tag{2.9}$$

Dimana A dan B adalah matriks bernilai konstan berdimensi $n \times n$ dan $n \times m$ berturut-turut, dengan indeks performansi :

$$J = \int_0^{\infty} [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt\tag{2.10}$$

Dimana Q dan R adalah matriks semidefinit positif dan definit positif yang bernilai konstan berdimensi $n \times n$ dan $n \times m$. Dapatkan sinyal kontrol optimal u berumpan balik :

$$u = -K_c x(t)\tag{2.11}$$

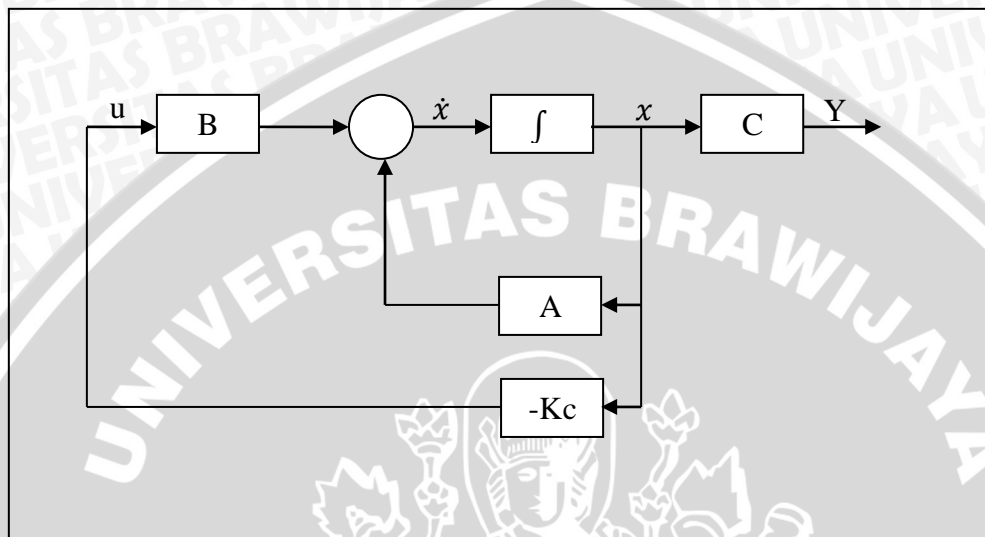
Dengan K_c adalah :

$$K_c = R^{-1}B^T P\tag{2.12}$$

Dimana P adalah suatu matriks definit positif yang merupakan solusi dari persamaan :

$$A^T P + PA + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \quad (2.13)$$

Persamaan tersebut dikenal dengan sebagai persamaan *Algebraic Riccati Equation (ARE)*. Solusi persamaan di atas hanya dapat diselesaikan bila pasangan matriks (A,B) adalah terkontrol dan pasangan matriks (A,C) adalah teramati. Skema sistem kontrol dengan *state feedback* adalah seperti gambar berikut ini (Ogata, 1984:429):



Gambar 2.3 Sistem Kontrol Optimal dengan umpan balik keadaan
Sumber : Gopal,M. , 1987 : 373

Solusi dari problem *regulator* optimal harus menyertakan batasan-batasan sebagai berikut :

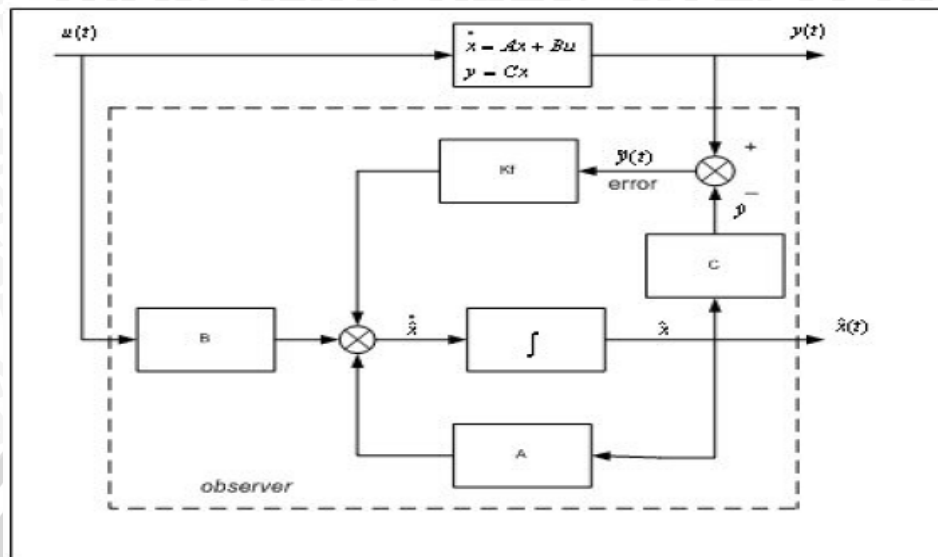
- Tidak ada *error* aktuator.
- Tidak ada gangguan acak pada *plant*.
- Seluruh informasi tentang *plant* dapat diindera sensor.
- Seluruh parameter *plant* dapat diketahui dengan pasti.

2.13 State Observer

Pada sistem dengan banyak state, adalah tidak mungkin untuk mengetahui seluruh informasi mengenai state, yang mengasumsikan bahwa semua state dapat diindera oleh sensor, dan dapat diumpan balikkan. Sistem dengan *state feedback* membutuhkan sensor ideal yang mempunyai *bandwith* tak hingga, kenyataannya tidak ada sensor yang ideal, dan juga karena sensor memiliki *bandwith* terbatas.

Konsep pengamat (*observer*) sebenarnya adalah bila tidak memiliki seluruh *state*, adalah mungkin untuk mengestimasi *state-state* tersebut dengan menggunakan input dan

output sistem. *State estimator* ini pertama kali dikenalkan oleh D. Luenberger, konsepnya adalah, seperti dalam gambar 2.4:



Gambar 2.4 Full Order State Observer
Sumber : Gopal, M.,1987 : 601

Untuk sistem,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t); x(0) = x^0 \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dengan estimasi *state* $x(t)$ dinotasikan oleh $\hat{x}(t)$, maka dinamika *observer* didefinisikan oleh :

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= A\hat{x} + Bu + K_f(y - C\hat{x}) \\ \hat{y} &= C\hat{x} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Nilai $\tilde{y} = y - \hat{y}$ diusahakan bernilai sekecil mungkin, yang menandakan bahwa *estimator* bekerja dengan baik. Untuk membuat $\hat{x}(t)$ sedekat mungkin dengan $x(t)$, didefinisikan *state estimator error* :

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x} &= x - \hat{x} \\ \dot{\tilde{x}} &= \dot{x} - \dot{\hat{x}} \\ \dot{\tilde{x}} &= Ax + Bu - A\hat{x} - Bu - K_f C(x - \hat{x}) \\ \dot{\tilde{x}} &= A(x - \hat{x}) - K_f C(x - \hat{x}) \\ \dot{\tilde{x}} &= (A - K_f C)\tilde{x} \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Jika dapat dicari nilai matriks *observer gain* K_f sedemikian rupa sehingga $(A - K_f C)$ stabil, maka nilai *estimator error* akan menuju nol untuk sembarang nilai awal. Hal ini

dapat dilakukan hanya jika pasangan matriks (A,C) *observable* (Lewis and Syrmos, 1995:450).

Dengan :

$$Kf^T = R^{-1}CP \quad (2.17)$$

Atau

$$Kf = PC^T R^{-1} \quad (2.18)$$

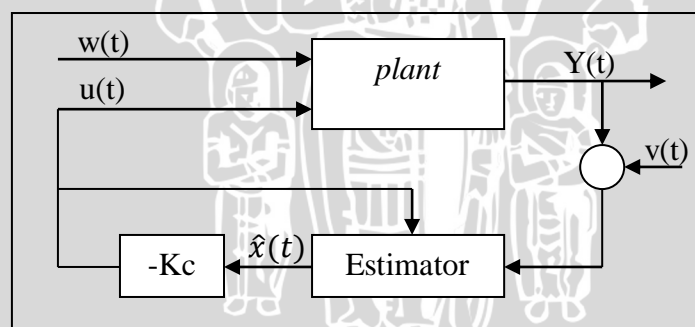
Dimana P adalah solusi dari persamaan Ricatti :

$$AP + PA^T + Q - PC^T R^{-1}CP = 0 \quad (2.19)$$

2.14 Kontrol Optimal LQG (Linier Quadratic Gaussian)

Kalman dan Bucy telah menunjukkan bahwa dari permasalahan estimasi optimal adalah permasalahan *regulator* optimal. Artinya, untuk mendesain suatu *regulator* dinamik, dapat menggunakan *regulator* optimal LQR dan *filter* Kalman secara bersama-sama. Prosedur ini dinamakan *Linier Quadratic Gaussian* (LQG).

Dengan metode ini, dapat dirancang secara terpisah permasalahan LQR dan *filter* Kalman untuk kemudian memecahkan permasalahan LQG, dimana diagram bloknya dapat dilihat dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Plant* yang dikontrol LQG
Sumber : Kwakernak. H, 1989:208

Sistem yang ditinjau diberikan oleh persamaan :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + \bar{B}w \\ y &= Cx + Du \\ z &= Gx + v \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dengan state $x(t) \in R^n$, masukan kontrol $u(t)$, keluaran $y(t)$, keluaran yang terukur sensor $z(t)$, $w(t)$ adalah gangguan, dan $v(t)$ adalah *noise* pengukuran. Dimisalkan sinyal kontrol berumpan balik *state* (*full state feedback kontrol*) yang diberikan oleh :

$$u = -K_c x \tag{2.21}$$

Telah didapat. Matriks *feedback gain* K_c didapat dengan menyelesaikan permasalahan LQR. Dengan memasukkan sinyal kontrol ini, maka sistem *loop* tertutup menjadi :

$$\dot{x} = (A - BK_c)x + \bar{B}w \tag{2.22}$$

Permasalahannya adalah aksi kontrol tidak dapat dilakukan karena pada umumnya semua *state* sistem tidak dapat diukur. Sekarang, diumpamakan *state observer* :

$$\dot{\hat{x}} = (A - K_f G)\hat{x} + Bu + K_f z \tag{2.23}$$

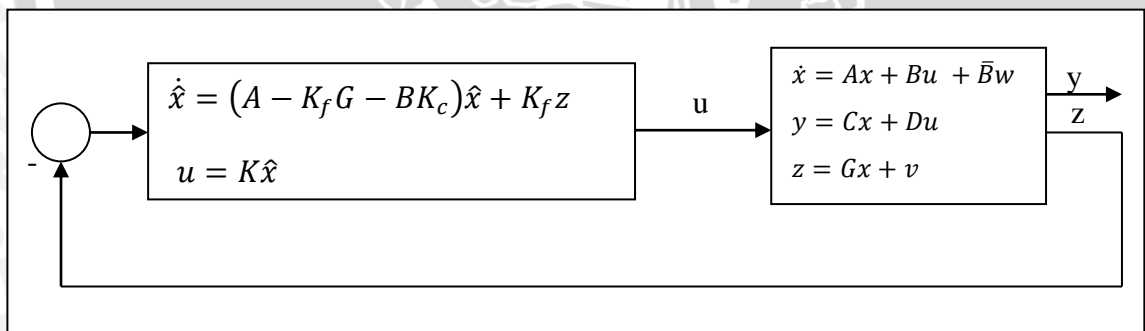
telah didesain, dalam artian matriks *filter gain* K_f telah didapat dengan menyelesaikan permasalahan *filter* Kalman. Dikarenakan *state* sistem tidak dapat diukur dan aksi kontrol tidak dapat diterapkan, maka digunakan *state* estimasi $\hat{x}(t)$ daripada *state* sistem $x(t)$, sehingga didapat :

$$u = -K_c \hat{x} \tag{2.24}$$

untuk mempermudah dalam pembentukan diagram blok *close loop*, persamaan 2.23 dapat dirubah menjadi:

$$\dot{\hat{x}} = (A - K_f G - BK_c)\hat{x} + K_f z \tag{2.25}$$

Setelah mendapatkan persamaan 2.25, maka *close loop* system dapat dibentuk kembali seperti dalam gambar 2.6



Gambar 2.6 Close Loop LQG
 Sumber : Hespanha. J.P., 2007:24

dalam gambar 2.6 terlihat bahwa kontroler LQG merupakan suatu persamaan *state space* :

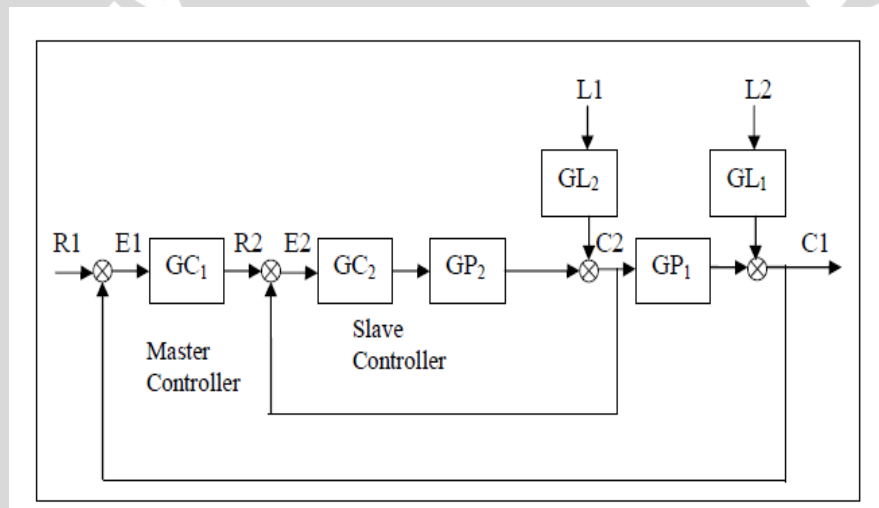
$$\left. \begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= (A - K_f G - BK_c)\hat{x} + K_f z \\ u &= K\hat{x} \end{aligned} \right\} \tag{2.26}$$

Salah satu hal penting yang didapat dari perancangan ini yaitu matriks K_c dan K_f dapat dirancang secara terpisah untuk mendapatkan karakteristik *plant loop* tertutup yang diinginkan dan juga karakteristik *observer* yang sesuai (Hespanha, 2007:23).

2.15 Kontrol Kaskade

Kontrol Kaskade merupakan pengembangan dari strategi kontrol konvensional. Metode ini terdiri dari minimal dua loop, yaitu loop primer (*primary loop/master loop*) dan loop sekunder (*secondary loop/slave loop*). Masing-masing loop memiliki kontroler yaitu kontroler primer (*primary controller/master controller*) dan kontrol sekunder (*secondary control*). Kedua loop saling berinteraksi dimana *manipulated variable* dari kontroler primer merupakan *set point* dari kontroler sekunder.

Sistem pengendalian kaskade sangat menguntungkan jika dipakai di proses yang banyak mengalami gangguan/memiliki *load* dibagian proses. Gangguan ini akan segera diatasi oleh loop sekunder sebelum gangguan tersebut membawa pengaruh pada proses variable primer. Selain itu, sistem kaskade dapat mempercepat proses-proses yang lambat. Blok diagram kontrol kaskade ditunjukkan dalam gambar 2.7 :



Gambar 2.7 Blok Diagram Kontrol Kaskade
Sumber : Seborg dkk, 2004:415

- Keterangan:
- GC_1 = Kontroler primer
 - GC_2 = Kontroler Sekunder
 - GP_1 = Bagian *plant* yang dipengaruhi kontrol primer
 - GP_2 = Bagian *plant* yang dipengaruhi kontrol sekunder
 - GL_1 = Fungsi alih *load* 1
 - GL_2 = fungsi alih *load* 2

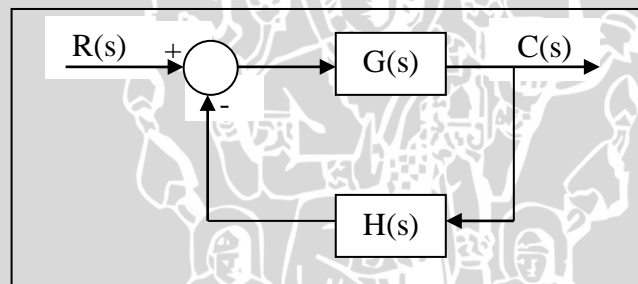
Parameter-parameter kontroler ditetapkan dalam proses penalaan. Dalam proses penalaan parameter kontroler, kontroler sekunder ditala lebih dahulu baru kemudian kontroler primer. Respon loop sekunder harus lebih cepat daripada loop primer. Hal ini disebabkan agar gangguan yang terjadi dalam loop dapat langsung diatasi oleh loop

sekunder sehingga tidak mempengaruhi proses variable primer yang merupakan keluaran master loop (Seborg dkk, 2004:414).

2.16 Tempat Kedudukan Akar (*root locus*)

Gagasan dasar dari metode tempat kedudukan akar adalah bahwa harga s yang membuat fungsi alih *loop* terbuka sama dengan -1 harus memenuhi persamaan karakteristik sistem.

Tempat kedudukan akar-akar persamaan karakteristik sistem *loop* tertutup, jika penguatan diubah dari nol sampai tak hingga, memberikan latar belakang pemberian metode ini. Metode tempat kedudukan akar memungkinkan kita untuk mencari *pole-pole loop* tertutup dari *pole* dan *zero loop* terbuka dengan penguatan sebagai parameter. Dalam mendisain sistem kontrol linier, metode ini terbukti cukup berguna karena menunjukkan cara memodifikasi *pole* dan *zeroloop* terbuka, sedemikian rupa sehingga respon memenuhi spesifikasi performansi sistem.



Gambar 2.8 Sistem *loop* tertutup
Sumber : Ogata, K., 1984 :4

Fungsi alih *loop* tertutup sistem dalam gambar 2.8 adalah :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (2.27)$$

Persamaan karakteristik sistem *loop* tertutup ini diperoleh dengan menyamakan penyebut ruas kanan persamaan 2.27 dengan nol. Jadi,

$$1 + G(s)H(s) = 0$$

atau

$$G(s)H(s) = -1 \quad (2.28)$$

Karena $G(s)H(s)$ adalah besaran kompleks, maka persamaan 2.28 dapat dipisahkan menjadi dua persamaan dengan menyamakan masing-masing sudut dan besar kedua ruas persamaan tersebut, untuk mendapatkan

Syarat sudut :

$$\angle G(s)H(s) = \pm 180^\circ(2k + 1) \quad (k = 0,1,2, \dots) \quad (2.29)$$

Syarat besar :

$$|G(s)H(s)| = 1 \quad (2.30)$$

Harga-harga s yang memenuhi syarat sudut dan syarat besar adalah akar-akar persamaan karakteristik, atau *pole-pole loop* tertutup. Suatu diagram dari titik-titik pada bidang kompleks yang hanya memenuhi syarat sudut adalah tempat kedudukan akar. Akar-akar persamaan karakteristik untuk suatu harga penguatan yang diberikan dapat diperoleh dari sarat besar (Ogata, 1984:324).

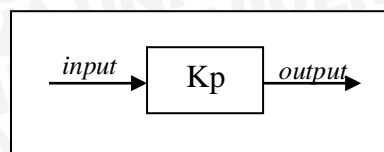
2.17 Kontroler Proporsional

Salah satu dari ketiga *mode* unit kontrol yang paling populer dan paling banyak dipakai adalah unit kontrol P. Tercermin dari namanya, besar *output* unit kontrol P selalu sebanding dengan besarnya *input*. Bentuk *transfer function* unit kontrol proporsional oleh karenanya akan sederhana sekali seperti ditunjukkan persamaan 2.31, karena bentuk *transfer function*-nya sederhana, bentuk diagram bloknnya juga sederhana. Seperti yang ada di gambar 2.9. Unit kontrol P adalah unit kontrol yang paling banyak dipakai, baik tersendiri dalam bentuk pengendali P-*only* maupun dalam kombinasi dengan *mode* integral (I) dan diferensial (D).

Seperti yang dapat dilihat di dalam gambar 2.9, *transfer function* unit kontrol proporsional adalah sebagai berikut :

$$o = Kp * i \quad (2.31)$$

Gain (Kp) unit kontrol proporsional bisa berupa bilangan bulat, bilangan pecahan, positif, dan juga berharga negatif. Yang pasti besarnya tetap, linier di semua daerah kerja dan tidak tergantung pada fungsi waktu. Sepintas istilah *gain* memberikan kesan bahwa ada penguatan atau pembesaran sinyal. Padahal *gain* bisa saja berbentuk bilangan pecahan, bahkan negatif. Sehingga *output* bisa lebih kecil dari *input*, dan juga bisa menjadi negatif (Gunterus, 1994:6-6).



Gambar 2.9 Diagram blok kontroler proporsional

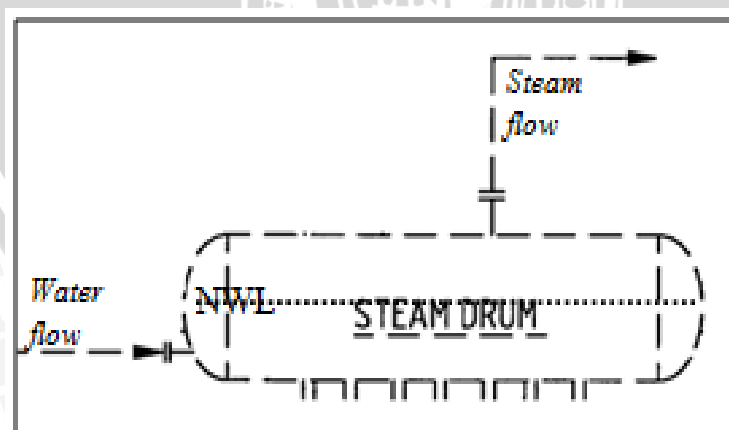
Sumber : Gunterus, F., 1994:6-6

2.18 Proses Pada Boiler

Boiler merupakan peralatan utama yang diperlukan dalam proses perubahan energi panas dari bahan bakar menjadi energi kinetis uap yang mempunyai tekanan dan temperature tertentu. Boiler merupakan kumpulan pipa-pipa air yang disusun vertikal membentuk dinding-dinding yang berfungsi sebagai tempat pemanasan air. Pipa-pipa ini dipanaskan oleh hasil pembakaran bahan bakar bersama udara pembakaran.

Steam drum adalah suatu alat pada *boiler* yang berfungsi untuk menampung air dalam pembuatan uap, dimana temperaturnya cukup tinggi dan berupa campuran air serta uap. Di dalam *steam drum* terdapat peralatan pemisah uap. Campuran air dan uap mengalir mengikuti bentuk separator sehingga air pada campuran akan jatuh dan masuk ke dalam saluran *primary* dan *secondary drain*. Uap yang telah dipisahkan oleh separator masuk ke *cevron dryer*.

Tujuan dari *drum level kontrol* adalah menjaga agar level dalam *steam drum* tetap pada *set point*nya, walaupun terjadi perubahan beban ataupun gangguan lainnya. *Level* yang terlalu rendah bisa menyebabkan terjadinya panas berlebih (*overheat*) pada *boiler tubes*, sehingga *tubes* bisa menjadi rusak/bengkok yang lama-kelamaan menjadi bocor. Sebaliknya level drum yang terlalu tinggi akan menyebabkan pemisahan air dan *steam* dalam drum tidak sempurna, sehingga kualitas *steam* yang dihasilkan jelek (banyak mengandung air/ uap basah). Kualitas uap yang jelek akan mengakibatkan korosi pada bagian turbin, maupun bagian boiler yang lain. Gambar dari *steam drum* ditunjukkan pada Gambar 2.9 (Wahid, 2011 :5).



Gambar 2.10 Steam Drum Boiler
Sumber: Yosimine Boiler Instrument

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam skripsi ini dilakukan analisa dan simulasi untuk melihat perubahan ketinggian *level* air yang diakibatkan oleh adanya perubahan beban (gangguan). Kontroler yang digunakan adalah LQG dan simulasi dilakukan dengan memberikan gangguan pada keluaran sistem, setelah itu diamati penyimpangan yang muncul.

Langkah-langkah yang akan digunakan untuk menyusun skripsi ini adalah sebagai berikut :

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperdalam dan memahami masalah yang akan dibahas.

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang diperoleh merupakan data primer berupa :

1. *Chek list* sistem operasional.
2. *Data real time* dari *feedwater flow*, *steam flow*, dan *water level steam drum*.
3. *Data Sheet* dari instrument penyusun sistem.
4. Bagan proses pengendalian *water level*.

Untuk data lain yang diperlukan dan tidak tercantum pada buku instrumentasi, akan ditanyakan langsung kepada orang di lapangan.

3.3 Penyusunan Model Sistem

1. Menentukan Diagram Blok Sistem.
2. Menyusun model matematis *steam drum*.
3. Menyusun model matematis *control valve*.
4. Menyusun model matematis sensor level.
5. Menyusun ruang keadaan sistem ke dalam matrik A,B,C dan D.

3.4 Desain Kontroler LQG

1. Melakukan uji keterkendalian, keteramatan dan kestabilan sistem.
2. Menentukan *gain* LQR yang sesuai dengan kriteria sistem.
3. Menentukan *gain* Kalman filter yang sesuai dengan besarnya gangguan.
4. Penyusunan Kembali menjadi Blok Diagram

3.5 Pengujian Dan Analisa

Pengujian dilakukan dengan menggunakan program MATLAB. Simulasi dilakukan dengan mengamati respon sitem loop tertutup ketika kontrol LQG diterapkan, dan pada sistem diberikan gangguan berupa laju *steam* dan *noise* sensor.

3.6 Penarikan Kesimpulan Dan Saran

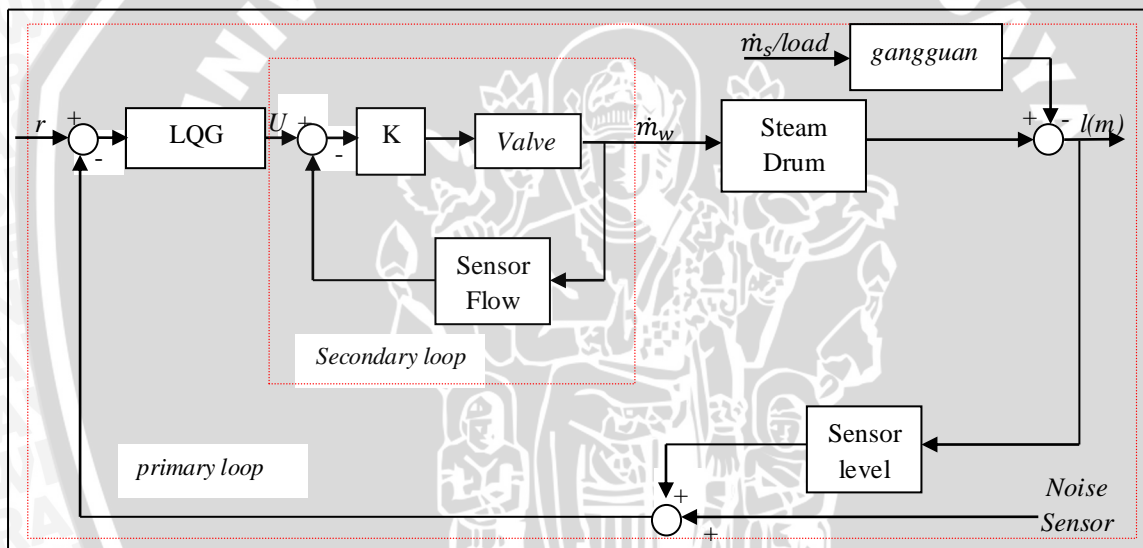
Penarikan kesimpulan bisa didapat setelah diperoleh hasil dari pengujian dan analisa, dan saran akan diterima guna memperbaiki skripsi menjadi lebih baik.



BAB IV PEMODELAN SISTEM

4.1 Blog Diagram Keseluruhan

Ketinggian *level* air dalam *steam drum* dikendalikan dengan mengatur jumlah aliran air masuk (*feedwater flow*) yang disesuaikan dengan jumlah aliran keluar (*steam flow*) yang dibutuhkan. Jumlah dari laju aliran uap, sangat dipengaruhi oleh adanya perubahan beban yang diakibatkan proses di dalam pabrik. Permintaan beban yang sering berubah mengakibatkan perubahan laju *steam flow*, dimana akan mengakibatkan level ketinggian air dalam *steam drum* terganggu. Gambar 4.1 adalah blok diagram yang akan digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Diagram blok sistem keseluruhan

Keterangan :

- r = input referensi (m)
- U = Sinyal Kontrol LQG (Kg/s)
- \dot{m}_w = Laju Aliran air (Kg/s)
- \dot{m}_s = Laju Aliran Steam (Kg/s)
- l = Output / water level steam drum (m)

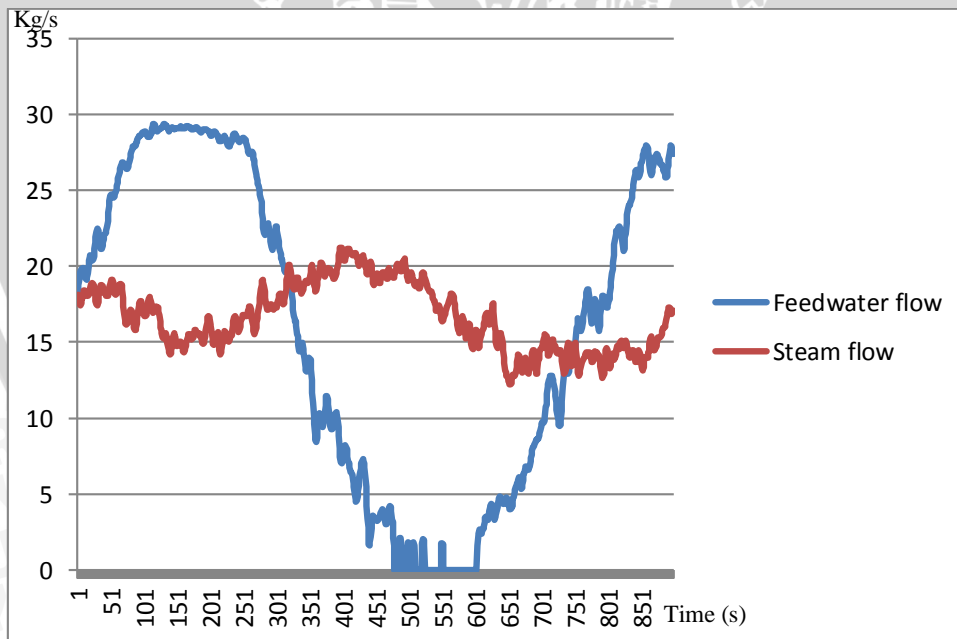
Blok diagram Gambar 4.1 menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan mempunyai dua buah kontroler, dengan *output* sistem adalah *level* ketinggian air *steam drum* . *Valve* yang digunakan di pabrik memiliki suatu komponen yang bernama *Smart*

Potitioner. Dimana *Smart potitioner* yang terpasang pada suatu *valve*, dapat diartikan bahwa *valve* tersebut memiliki suatu kontroler proporsional dalam sistemnya (Gunterus,1994:12-4). Secara tidak langsung maka sistem secara keseluruhan membentuk suatu sistem kaskade dengan 2 *loop* seperti yang dijelaskan di bab 2.

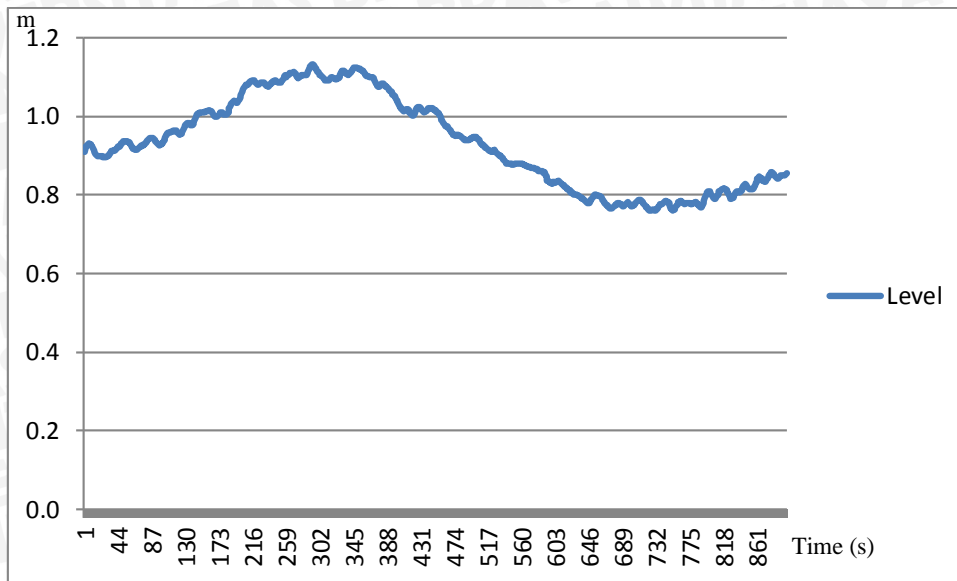
Pada sistem ini kontroler primer yaitu kontroler yang mengatur ketinggian air *steam drum*, akan memberikan *set point* (sinyal kontrol) berupa jumlah *feedwater flow* yang dibutuhkan kepada kontroler sekunder (kontroler *feedwater flow*). Bisa diartikan bahwa kontroler primer mempunyai *set point* yang tetap sedangkan kontroler sekunder mempunyai *set point* yang berubah-ubah sesuai dengan *feedwater flow* yang dibutuhkan, agar ketinggian air tetap terjaga. Perubahan *set point* pada kontrol sekunder didasarkan pada perubahan *load* yang mengakibatkan terganggunya *level* ketinggian air pada *steam drum*.

4.2 Pemodelan Level Steam Drum

Pemodelan *level steam drum* pada penelitian ini didasarkan pada data *real* proses yang bisa dilihat dalam gambar 4.2 dan disajikan dalam tabel 5.1 dalam lampiran 1.



(a)

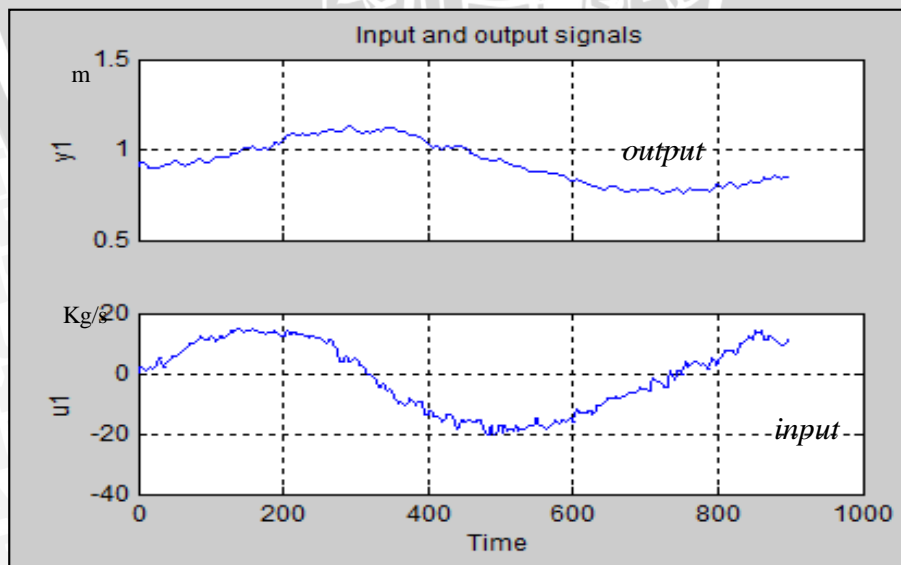


(b)

Gambar 4.2 (a) Grafik steam flow dan feedwater flow; (b) Grafik level steam drum

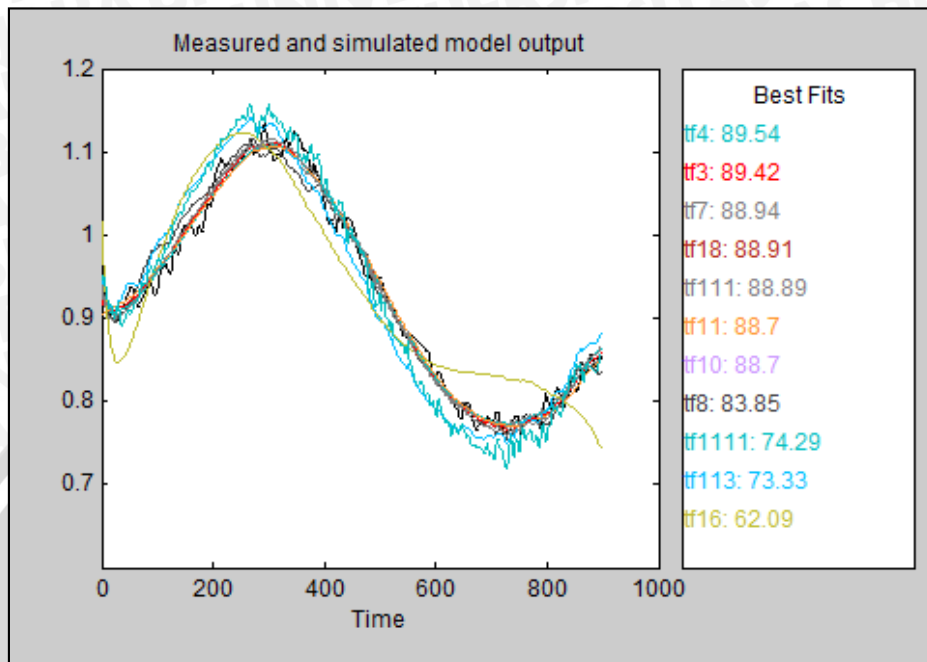
Pemodelan dilakukan dengan bantuan program MATLAB fungsi *ident*, dimana fungsi ini membutuhkan data *input* dan *output* untuk proses identifikasi. Data *input* yang akan digunakan adalah selisih nilai antara *feed water flow* dan *steam flow*. Digunakannya nilai tersebut sebagai *input* karena nilai *level water* yang digunakan untuk proses *output* pada fungsi *ident*, dipengaruhi oleh nilai *feed water flow* dan *steam flow*.

Nilai *input* dan *output* fungsi *ident* dapat dilihat dalam gambar 4.3 dan tabel 5.2 dalam lampiran 1 .



Gambar 4.3 input dan output fungsi *ident*

Dengan memasukan data dalam gambar 4.3 pada fungsi ident di MATLAB, didapatkan hasil seperti dalam gambar 4.4 berikut :

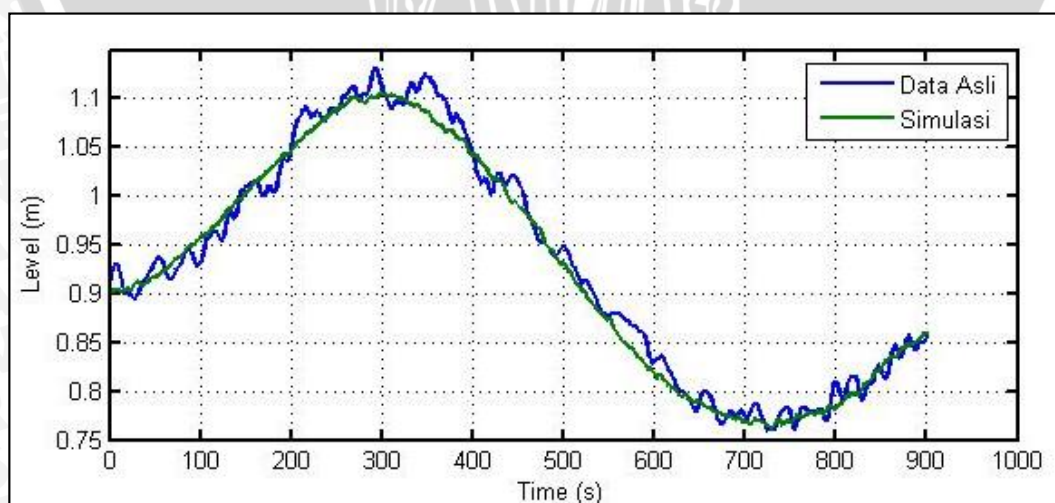


Gambar 4.4 Grafik hasil identifikasi

Dari hasil identifikasi tersebut, didapatkan fungsi alih yang memenuhi syarat yaitu :

$$G(s) = \frac{0.001922s^3 + 0.0002912s^2 + 1.307e-05s + 1.214e-07}{s^3 + 0.1557s^2 + 0.001819s + 9.755e-17} \quad (4.1)$$

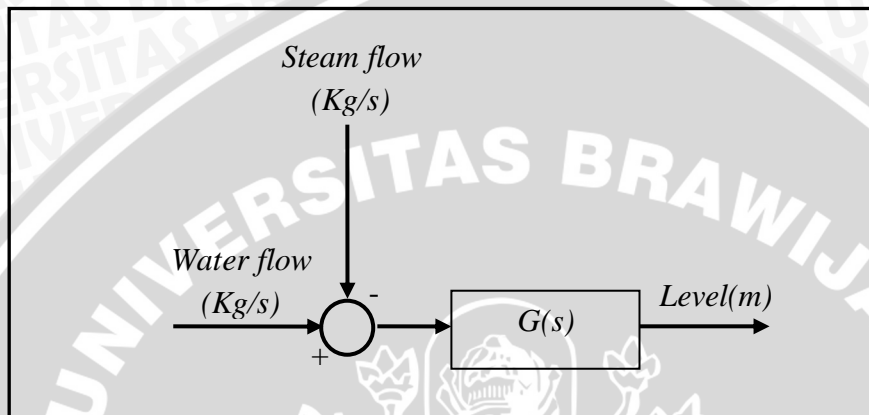
Setelah didapatkan fungsi alih sistem, perlu dilakukan validasi dengan menggunakan SIMULINK pada MATLAB. Hasil validasi sistem dapat dilihat dalam gambar 4.5 berikut :



Gambar 4.5 Grafik perbandingan data real time dan simulasi

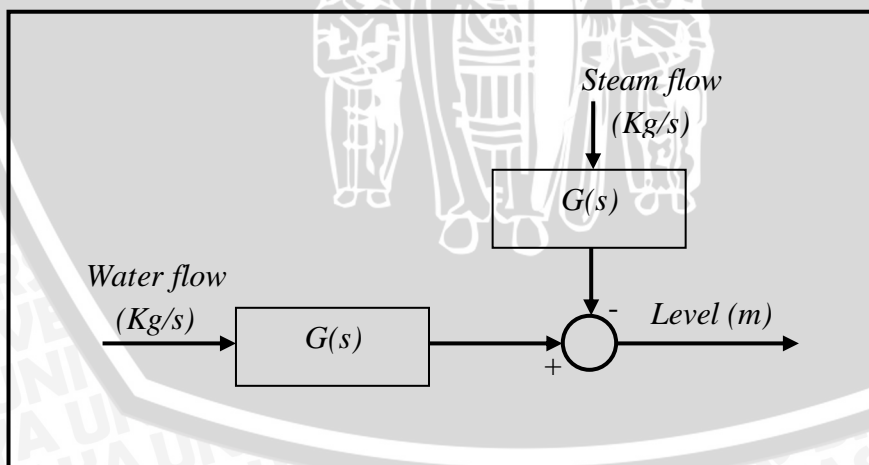
Hasil validasi yang dalam gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi dapat mengikuti pola dari sistem asli. Error rata-rata yang didapat dari hasil pemodelan adalah sebesar 1.2%. Dikarenakan error kurang dari 5% maka pemodelan di atas bisa digunakan, dan error sebesar 1.2% yang terjadi diasumsikan berasal dari error sensor.

Input dari identifikasi sistem adalah selisih antara *feed water flow* dan *steam flow*, oleh karena itu blok diagram sistem dapat dilihat dalam gambar 4.6



Gambar 4.6 Diagram blok steam drum 1

Diagram blok dalam gambar 4.6 dapat diubah menjadi diagram blok yang terdapat dalam gambar 4.7. Dimana diagram blok tersebut yang akan digunakan dalam skripsi ini.



Gambar 4.7 Diagram blok steam drum 2

4.3 Pemodelan Control Valve

4.3.1 Pemodelan Valve

Katup pengendalian terdiri dari sebuah *devaice* pneumatik yang menggerakkan tangkai (*stem*) katup sebagai fungsi tekanan pada diafragma. Tangkai katup memposisikan plug dimana posisi *plug* membatasi *flow* fluida yang mengalir melalui *control valve* tersebut. *Feed water flow* yang mengalir ke *steam drum* ditentukan oleh presentase bukaan *control valve*. (Nugraha, 2006). Pada sistem pengendalian ini digunakan *control valve* jenis *globe valve* yang memiliki karakteristik *equal percentage* dan dilengkapi dengan aktuator diafragma. Fungsi alih dari *valve* dapat dinyatakan sebagai sistem orde satu sebagai berikut : (Coughanowr and LeBlanc, 2009:190)

$$\frac{\dot{m}(s)}{i(s)} = \frac{G_T}{T_{CV}s+1} \quad (4.2)$$

Dengan $\dot{m}(s)$ = Laju aliran massa (Kg/s)

$i(s)$ = Sinyal elektrik (mA)

G_T = *Gain* total dari *valve*

T_{CV} = Konstanta waktu *valve*

Konstanta waktu *valve* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_{CV} = T_V \cdot (\Delta V + R_V) \quad (4.3)$$

$$G_C = K_T \cdot K_V \quad (4.4)$$

Dengan :

T_V = Time Stroke (s)

R_V = Perbandingan konstanta waktu dengan *time stroke* ($R_V = 0,03$ untuk aktuator diafragma)

ΔV = Fraksi perubahan posisi *valve*

$$= \frac{flow_{maks} - flow_{min}}{flow_{maks}}$$

$$= \frac{33,3 \left(\frac{Kg}{s}\right) - 5,13 \left(\frac{Kg}{s}\right)}{33,3 \left(\frac{Kg}{s}\right)} = 0,85 \frac{Kg}{s}$$

Karena sinyal kendali berupa sinyal elektrik, sedangkan katup kendali hanya menerima sinyal pneumatik, sehingga untuk menjalankan *valve* tersebut sinyal keluaran kontroler harus melalui transduser I/P yang mengubah besaran arus dengan nilai 4-20 mA menjadi besaran tekanan dengan nilai 3-15 psi.

Maka *Gain Transduser* adalah sebagai berikut :

$$K_T = \frac{\text{Span}_{out}}{\text{Span}_{in}} = \frac{15-3 \text{ psi}}{20-4 \text{ mA}} = 0.75 \frac{\text{psi}}{\text{mA}}$$

Sedangkan penguatan untuk *Valve* adalah sebagai berikut :

$$K_v = \frac{\Delta \text{besar bukaan valve}}{\Delta \text{sinyal pressure}} \cdot \frac{\Delta \text{flow(kerja)}}{\Delta \text{bukaan valve(kerja)}} = \frac{0,43}{12} \cdot \frac{28.16-11.01}{0.39-0.18} = 2.92 \frac{\text{Kg}}{\text{psi.s}}$$

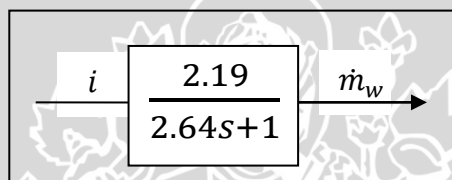
Sehingga *gain* total *valve* adalah hasil kali K_T dan K_v , seperti berikut :

$$G_T = K_T \cdot K_v = 2.19$$

Setelah diketahui *gain* total dari *valve*, konstanta waktu dari *valve* dapat dicari menggunakan persamaan (4.3), dengan memasukan nilai-nilai yang telah diketahui maka :

$$T_{CV} = 3 \cdot (0,03 + 0,85) = 2.64$$

Setelah diketahui *gain* dan konstanta *valve*, diagram blok dari *valve* dapat disusun seperti gambar 4.8



Gambar 4.8 Diagram Blok *Valve*

4.3.2 Pemodelan Flow Sensor

Jenis sensor yang digunakan untuk mengukur laju masa air yang masuk *steam drum* di PG. Kebon Agung adalah *differential pressure transmitter*. Jenis ini memanfaatkan perbedaan tekanan antara dua lubang untuk menghitung laju air menuju *steam drum*. *Range* pengukuran yang mampu dilakukan adalah 0-180 ton/jam (50 Kg/s), sedangkan keluarannya berupa arus sebesar 4-20 mA.

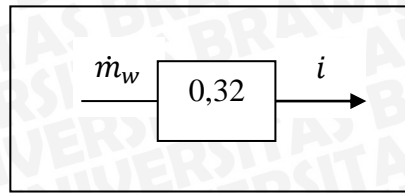
Nilai *gain* dari sensor dapat dihitung dengan persamaan 4.5 : (Seborg dkk, 2004:214).

$$K_{sf} = \frac{\text{range of instrument output}}{\text{range of instrument input}} \quad (4.5)$$

Jadi nilai *gain* dari *flow sensor* adalah :

$$K_{sf} = \frac{20-4}{50-0} = \frac{16}{50} = 0.32 \frac{\text{mA}}{\text{Kg/s}}$$

Sehingga blok diagramnya ditunjukkan gambar 4.9:

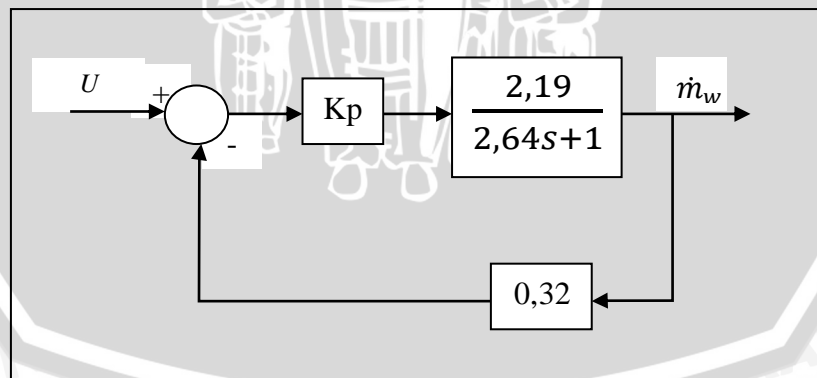


Gambar 4.9 Diagram Blok Feedwater Flow-Transmitter

4.3.3 Pemberian Konstanta Kp (Kontrol Proporsional)

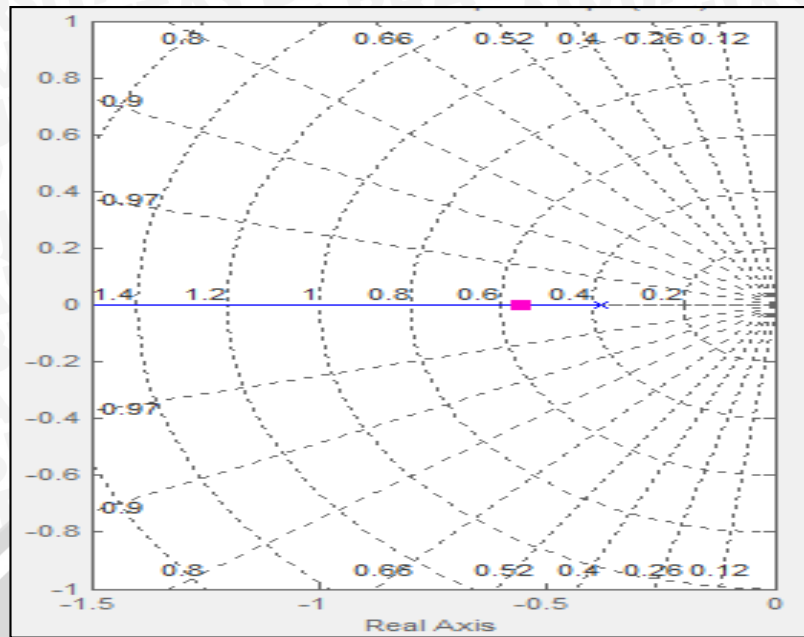
Control Valve yang digunakan di PG.Kebon Agung dilengkapi dengan *valve positioner*. Pada dasarnya, *valve positioner* adalah sebuah kontroler proporsional. Pemakaian *valve positioner* pada sebuah *loop*, secara tidak langsung akan membentuk sistem pengendalian menjadi sistem yang lazim disebut *cascade control* (Gunterus, 1994:12-4).

Sistem pengendalian yang disusun secara kaskade berfungsi untuk mengatasi kesalahan yang terjadi dalam sistem *loop slave* agar tidak mempengaruhi *loop master*. *Loop slave* pada diagram *loop* tertutup adalah pengendalian *flow* seperti dalam gambar 4.10. *Output* dari *loop slave* adalah laju aliran air untuk mensuplai *steam drum* agar *level* air tetap terjaga pada nilai yang telah ditentukan. Sebagai kontroler proporsional dibutuhkan suatu nilai Kp yang tepat, sehingga error bisa diminimalisir sekecil mungkin. Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai Kp adalah dengan metode *root locus*.



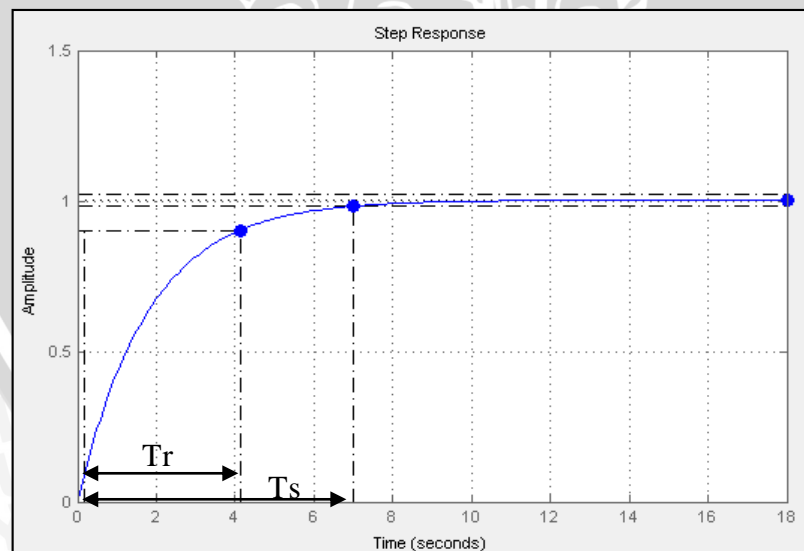
Gambar 4.10 Blok Diagram Loop Slave

Setelah didapatkan fungsi alih *valve* adalah $G(s) = \frac{2,19}{2,64s+1}$ dan fungsi alih sensor adalah $H(s) = 0,32$. Dengan bantuan program MATLAB, dari fungsi alih tersebut diperoleh grafik *root locus* seperti dalam gambar 4.11 :



Gambar 4.11 Grafik root locus valve

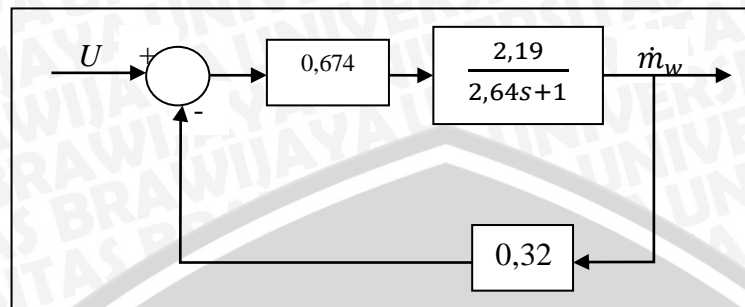
Dengan menggeser nilai *pole* pada diagram *root locus* ke arah kiri, otomatis akan memperbesar nilai penguatan K_p . Ketika K_p yang diperoleh sebesar 0.674, maka fungsi alih *loop* tertutupnya mempunyai pole di -0.558, diperoleh suatu grafik respon dengan masukan step seperti dalam gambar 4.12



Gambar 4.12 respon sistem dengan masukan *step*

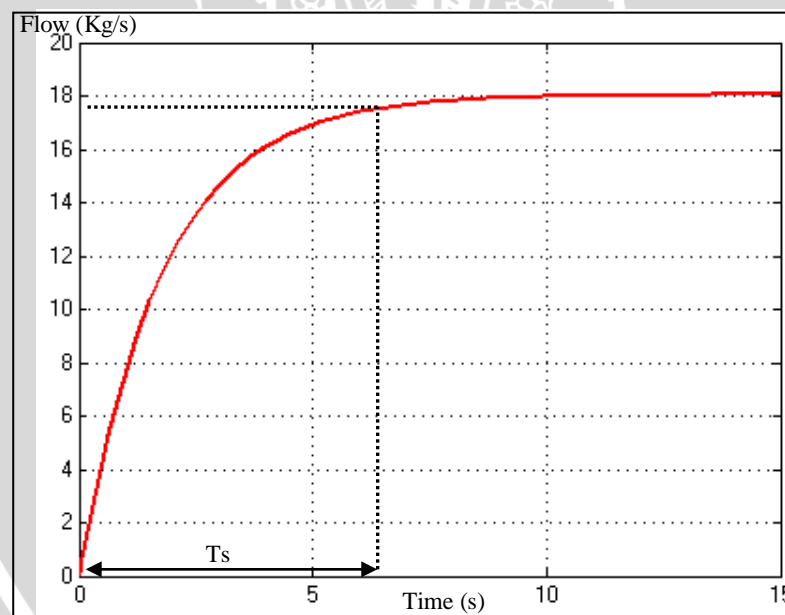
Gambar 4.12 menunjukkan bahwa respon dengan nilai K_p 0.674 memiliki *settling time* sebesar 7 detik dan *rise time* sebesar 4.2 detik. Setelah didapat nilai K_p

yang tepat, maka diagram blok dari sistem pengendalian *feedwater flow* dapat digambarkan secara lengkap seperti gambar 4.13 :



Gambar 4.13 Sistem pengendalian *feedwater flow*

Untuk menguji sistem tersebut maka akan dicoba dengan memberikan masukan step sebesar 18 Kg/s. Grafik respon sistem pengendalian *feedwater flow* ketika diberi masukan *flow* sebesar 18 Kg/s dapat dilihat dalam gambar 4.14 :



Gambar 4.14 Grafik respon dengan masukan *flow* 18 Kg/s

Gambar 4.14 menunjukkan grafik respon ketika sistem diberi masukan 18Kg/s, dan sistem menunjukkan hasil respon dengan error sebesar 0,25% dan *settling time* sebesar 7 detik.

4.4 Pemodelan Sensor Ketinggian Air

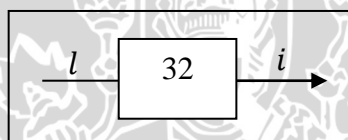
Jenis sensor yang digunakan untuk mengukur ketinggian level air dalam *steam drum* di PG. Kebon Agung adalah *differential pressure transmitter*. Jenis ini memanfaatkan perbedaan tekanan yang ada di dalam *steam drum*. Dari data teknik diperoleh bahwa sensor level dapat bekerja pada range (-250mm – 250mm) dari nilai *set point*, atau memiliki *span* sebesar 500mm. Nilai tersebut akan dirubah menjadi besaran arus dengan *range* 4-20 mA, ketika masuk menuju kontroler. Nilai *gain* dari sensor dapat dihitung dengan persamaan 4.6 : (Seborg dkk, 2004:214).

$$K_{sl} = \frac{\text{range of instrument output}}{\text{range of instrument input}} \quad (4.6)$$

Jadi nilai *gain* dari sensor level adalah :

$$K_{ls} = \frac{20-4}{0.5} = 32 \frac{\text{mA}}{\text{m}}$$

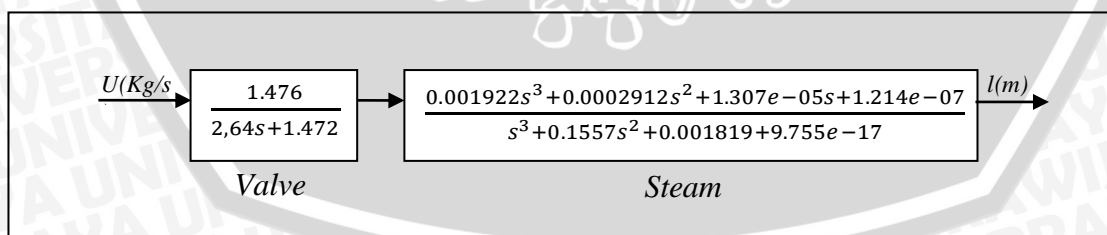
Sehingga blok diagramnya ditunjukkan dalam gambar 4.15 :



Gambar 4.15 Diagram Blok Sensor level

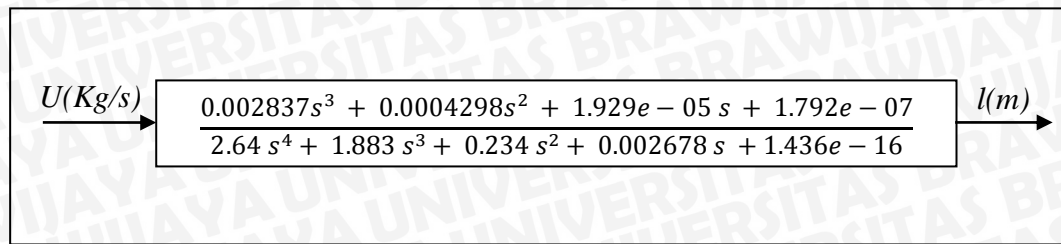
4.5 Pembentukan State Space

Semua fungsi alih dari pembentukan sistem telah didapatkan, sehingga pembentukan *state space* sistem dapat dibentuk dari diagram blok *loop* terbuka tanpa gangguan seperti yang terlihat dalam gambar 4.16 berikut:



Gambar 4.16 Diagram blok *open loop* sistem

Diagram blok dalam gambar 4.16 akan dirubah menjadi diagram blok dalam gambar 4.17 :



Gambar 4.17 Penggabungan diagram blok open loop

Diagram blok dalam gambar 4.17 akan dirubah menjadi model persamaan keadaan (*state space*) dengan bantuan MATLAB, maka diperoleh *state* sistem sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= -0.7133 x_1 - 0.08864x_2 - 0.001014x_3 - 5.439e - 17x_4 + u \\ \dot{x}_2 &= x_1 \\ \dot{x}_3 &= x_2 \\ \dot{x}_4 &= x_3 \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

$$Y = 0.001075x_1 + 0.0001628x_2 + 7.307e - 06x_3 + 6.788e - 08x_4 \quad (4.8)$$

Y adalah *output* sistem (*water level steam drum/l*). *State-state* dalam persamaan 4.7 dan 4.8 membentuk persamaan umum *state space*:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ Y &= Cx + Du \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Dengan :

$$A = \begin{bmatrix} -0.7133 & -0.08864 & -0.001014 & -5.439e-17 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0.001075 \quad 0.0001628 \quad 7.307e-06 \quad 6.788e-08]$$

$$D = 0$$

BAB V

DESAIN PENGENDALIAN, PENGUJIAN, DAN ANALISIS SISTEM

5.1 Analisa Keterkendalian dan Keteramatan

Keterkendalian dan keteramatan sistem dinamik sangat menentukan apakah sistem tersebut dapat dikendalikan dan diamati atau tidak. Keterkendalian dan keteramatan merupakan syarat awal dalam mendisain sistem kontrol optimal dengan metode LQG. Berikut akan dibahas mengenai uji keterkendalian dan keteramatan dari sistem *loop* terbuka sistem.

5.1.1 Analisis Keterkendalian

Analisa keterkendalian diperoleh dengan memeriksa matriks dalam persamaan 2.4 :

Jika rank matriks sama dengan orde sistem, maka dapat dikatakan sistem terkendali secara sempurna. Dengan mensubstitusikan matriks A dan B dalam persamaan 4.10 ke dalam persamaan 2.4, akan diperoleh matriks keterkendalian (Co), atau dengan menggunakan program MATLAB :

$$Co = [B \ A*B \ A*A*B \ A*A*A*B] \tag{5.1}$$

maka akan didapatkan nilai Matrik Co sebagai berikut :

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -0.7133 & 0.4201 & -0.2374 \\ 0 & 1 & -0.0207 & 0.4201 \\ 0 & 0 & 1 & -0.7133 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rank Co = 4

Matrik Co memiliki rank 4, dimana sesuai dengan orde sistem *loop* terbuka. Dari pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa sistem *controllable*.

5.1.2. Analisa Keteramatan

Analisa keteramatan dapat diuji dengan menggunakan matrik dalam persamaan 2.6 :

Jika rank matriks sama dengan orde sistem, maka dapat dikatakan sistem terkendali secara sempurna. . Dengan mensubstitusikan matriks A dan C dalam

persamaan 4.10 ke dalam persamaan 2.6, akan diperoleh matriks Keteramatan (Ob), atau menggunakan program MATLAB :

$$Ob = [C' \ A' * C' \ A' * A' * C' \ A' * A' * A' * C'] \quad (5.2)$$

Maka akan didapatkan nilai matrik Ob sebagai berikut :

$$Ob = \begin{bmatrix} 0.0011 & -0.0006 & 0.0003 & -0.0002 \\ 0.0002 & -0.0001 & 0.0001 & -0.00003 \\ 0.000007 & -0.000001 & 0.0578 & -0.00000003 \\ 0.0000001 & -0.00000 & 0.0001 & -0.00000 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rank } Ob = 4$$

Matriks Ob memiliki rank 4, dimana sesuai dengan orde sistem *loop* terbuka.

Dari pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa sistem *observable*.

5.2 Uji Kestabilan Sistem

Untuk mengetahui apakah suatu sistem stabil atau tidak, dapat dilakukan dengan cara melihat letak *pole-pole* sistem. Suatu sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika semua *pole-pole* sistem terletak di sebelah kiri sumbu imajiner dalam sistem koordinat kompleks. *Pole-pole* sistem dapat dicari dengan melihat *eigenvalue* matriks A, yaitu :

$$\text{Eigenvalue} = |sI - A| = 0 \quad (5.3)$$

dengan menyelesaikan persamaan 5.3, maka akan didapat nilai *pole-pole* sistem (*eigenvalue* Matrik A), atau bisa juga dengan menggunakan paket program MATLAB :

$$\text{eig}(A) \quad (5.4)$$

maka akan di dapat nilai *eigenvalue* seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{Eigenvalue} = & -0.5575 \\ & -0.1430 \\ & -0.0127 \\ & -0.0000 \end{aligned}$$

Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa *pole-pole* sistem terletak di sebelah kiri sumbu imajiner, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem stabil.

5.3 Formulasi Permasalahan Optimal

Bagaimana mengatur besar sinyal kontrol yang masuk pada kontroler P pada sistem kontrol valve, sehingga dapat meminimalkan *error steady state* atau kesalahan keadaan mantap yang terjadi pada *level steam drum* dengan melalui beberapa batasan antara lain :

- *Range* kerja *level* pada *steam drum* antara 0.8 – 1.05 m
- Laju aliran maksimum *feedwater* sebesar 33.33 Kg/s

5.4 Perancangan Kontroler

Pada Bab II telah dijelaskan bahwa perancangan kontroler dengan metode LQG, menggunakan 2 langkah perancangan yang tidak saling terkait, dan dapat dilaksanakan secara terpisah, yaitu :

1. Metode perancangan kontroler secara teoritis dapat dilakukan jika diasumsikan bahwa semua *state* dapat diukur.
2. Berdasar pada kenyataan praktis bahwa, seringkali tidak seluruh *state* dapat diukur. Maka digunakan metode perancangan yang memperkirakan seluruh *state* berdasarkan sebagian *state* yang terukur, dan bisa disebut perancangan *estimator*.

5.4.1 Kontroler LQR

5.4.1.1 Perancangan Kontroler Optimal LQR

Perancangan pengendali optimal, yang dalam hal ini model disajikan dalam bentuk ruang keadaan, bertujuan untuk mendapatkan sinyal pengendali optimal $u(t)$. dengan indeks performansi kuadratik dirumuskan sebagai berikut:

$$J = \int_0^{\infty} [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \quad (5.5)$$

Dari sistem yang dinyatakan dengan:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (5.6)$$

$$y = Cx + Du$$

Dengan hukum pengendalian optimal

$$U(t) = -Kx(t) \quad (5.7)$$

Dimana :

- Q dan R adalah matriks bobot yang pemilihannya dilakukan berdasarkan batasan yang diberikan. Syarat matriks Q adalah matriks semidefinit positif dan real , sedangkan matriks R adalah matriks , definit positif dan real .

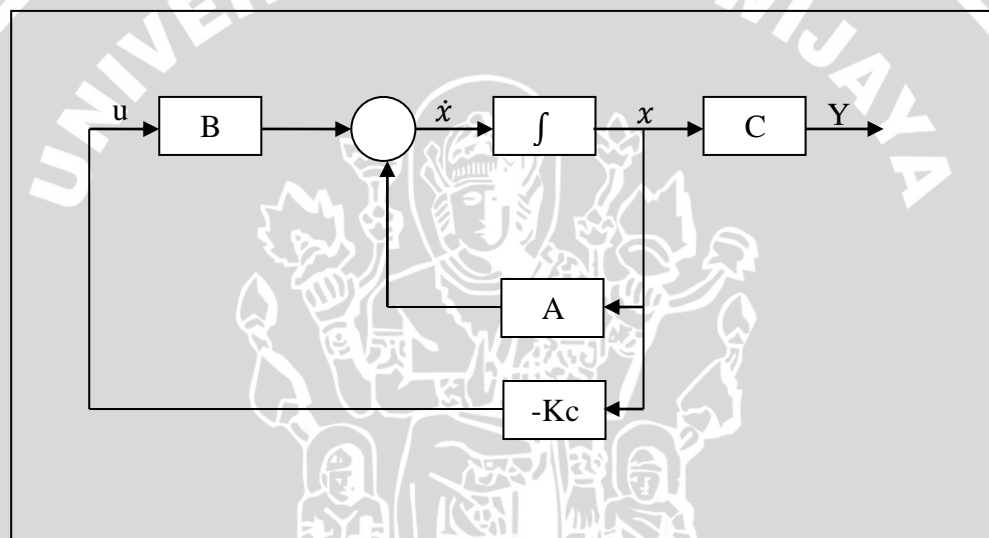
- K adalah matrik umpan balik optimal dimana $K = R^{-1}B^T P$, dengan P diperoleh dengan menyelesaikan persamaan riccati :

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (5.8)$$

Matrik P adalah matrik solusi dari persamaan Riccati. Jika nilai-nilai matrik P telah diketahui, kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan $K = R^{-1}B^T P$. Nilai penguatan umpan balik optimal K dari persamaan tersebut adalah yang meminimumkan *cost function* J , yang persamaannya ada dalam persamaan 5.5 (Ogata,K.1984).

5.4.1.2 Penyusunan Sistem kontrol LQR

Sistem kontrol LQR dalam digram blok dapat dilihat dalam gambar 5.1



Gambar 5.1 Diagram blok sistem kontrol LQR

Sumber : Gopal,M. , 1987 : 373

Dalam pengendalian *water level steam drum* ini terdapat dua *mode*. *Mode* pertama adalah ketika pengisian awal, dan *mode* yang kedua adalah ketika *level* telah mencapai keadaan setimbang. Pada *mode* kedua ini, *level steam drum* baru akan mendapat gangguan berupa *steam flow*.

5.4.1.3 Penentuan Matriks Bobot Q dan R

Matriks Q dan R adalah matriks pembobotan untuk mencari penguatan K optimal. Matriks Q dalam skripsi ini merupakan matriks berorde 4x4 yang dapat dicari dengan persamaan :

$$Q = C^T * Q_w * C \quad (5.9)$$

Sedangkan matriks R merupakan matriks berorde 1x1 yang ditulis sebagai :

$$R = R_v \quad (5.10)$$

Nilai dari Q_w dan R_v dalam Matriks Q dan R dapat dicari dengan menggunakan aturan Bryson. . Adapun aturannya dapat dilihat dalam persamaan 5.11 dan 5.12 . (Hespanha, 2007:11)

$$Q_w = \frac{1}{\text{nilai maksimal dari } l^2} \quad (5.11)$$

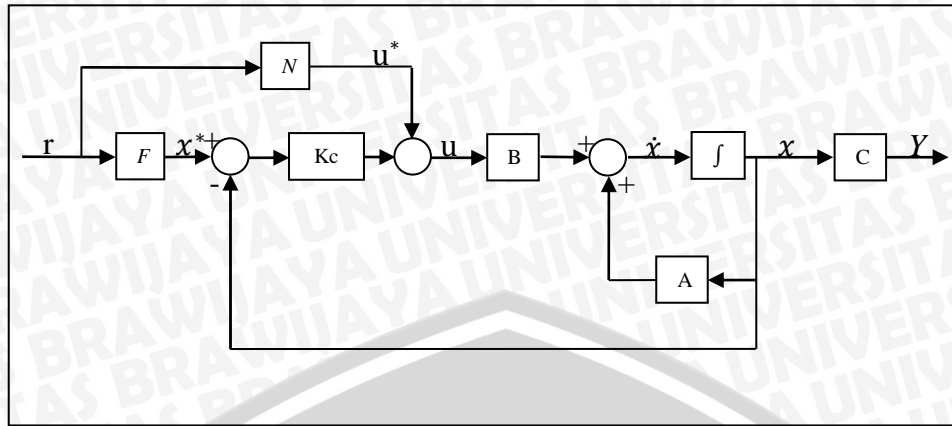
$$R_v = \frac{1}{\text{nilai maksimal dari } u^2} \quad (5.12)$$

Perlu dicatat bahwa aturan ini tidak menjamin matriks Q dan R yang didapat langsung sesuai dengan syarat yang diinginkan, namun bisa menjadi awal untuk mencari nilai matriks Q dan R yang tepat. Pemilihan Matriks Q dan R mempengaruhi kecepatan dari *steady state* sistem dan juga energi yang dibutuhkan, hubungan nilai matriks Q dan R dengan performansi sistem dijelaskan sebagai berikut:

- Makin besar Q, maka makin besar pula harga elemen matriks umpan balik K, dan mempercepat *steady state*.
- Makin besar R, maka harga matriks umpan balik K makin kecil sehingga sistem mengalami keterlambatan mencapai *steady state*. Tetapi, matriks R berkaitan dengan pemakaian energi, jika nilai R diperbesar, maka akan semakin menghemat energi.

5.4.1.4 Perancangan LQR Mode Pertama

Mode pertama adalah keadaan dimana dilakukan pengisian awal pada *steam drum* ,sehingga gangguan berupa aliran *steam* tidak diberikan. Dalam *mode* ini diagram blok dalam gambar 5.1 akan dirubah menjadi diagram blok dalam gambar 5.2.



Gambar 5.2 Diagram blok sistem kontrol LQT
Sumber : Hespanha, J.P., 2007:30

Gambar 5.2 adalah sebuah kontroler LQR dengan sebuah *set point*, yang biasa disebut LQT (*Linier Quadratic Tracking*).

Kontroler LQR sesungguhnya adalah sebuah regulator tanpa suatu masukan atau *set point*. Oleh karena dibutuhkannya sebuah *set point* dalam *mode* pertama ini, diperlukan penambahan matrik F dan N yang disusun seperti dalam gambar 5.2, dimana F adalah sebuah matrik $n \times j$ yang didapat dari n baris paling atas dan j kolom paling kanan dari matrik $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1}$, dan N adalah sebuah matrik $m \times j$ yang didapat dari m baris paling bawah dan j kolom paling kanan dari matrik $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1}$. Nilai dari j adalah sama dengan m . (Hespanha, 2007:29).

Penentuan nilai penguatan K optimal dalam *mode* pertama ini diberikan suatu syarat, bahwa *level air* tidak akan melebihi batas *NWL (normal water level)* yaitu sebesar ($l=0.9\text{m}$) dengan laju maksimal aliran air adalah ($u=33.33 \text{ Kg/s}$). Untuk mendapatkan suatu respon dengan syarat tersebut, maka diperlukan pemilihan matriks Q dan R yang tepat. Langkah yang dilakukan untuk dapat menentukan nilai Q dan R, dapat dilakukan dengan cara yang telah dijelaskan dalam sub bab 5.4.1.3

Penentuan nilai Q_w dan R_v , dilakukan dengan memasukkan nilai l dan u kedalam persamaan 5.11 dan 5.12, sehingga didapatkan nilai sebagai berikut :

$$Q_w = \frac{1}{0.9^2} = 1.23$$

$$R_v = \frac{1}{33.33^2} = 0.0009$$

Setelah didapatkan nilai Q_w dan R_v , nilai tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan 5.9 dan 5.10. Setelah didapat matriks Q dan R, maka kedua matriks

tersebut digunakan untuk menyelesaikan persamaan aljabar ricatti dalam persamaan 5.8. Dengan menggunakan paket program MATLAB :

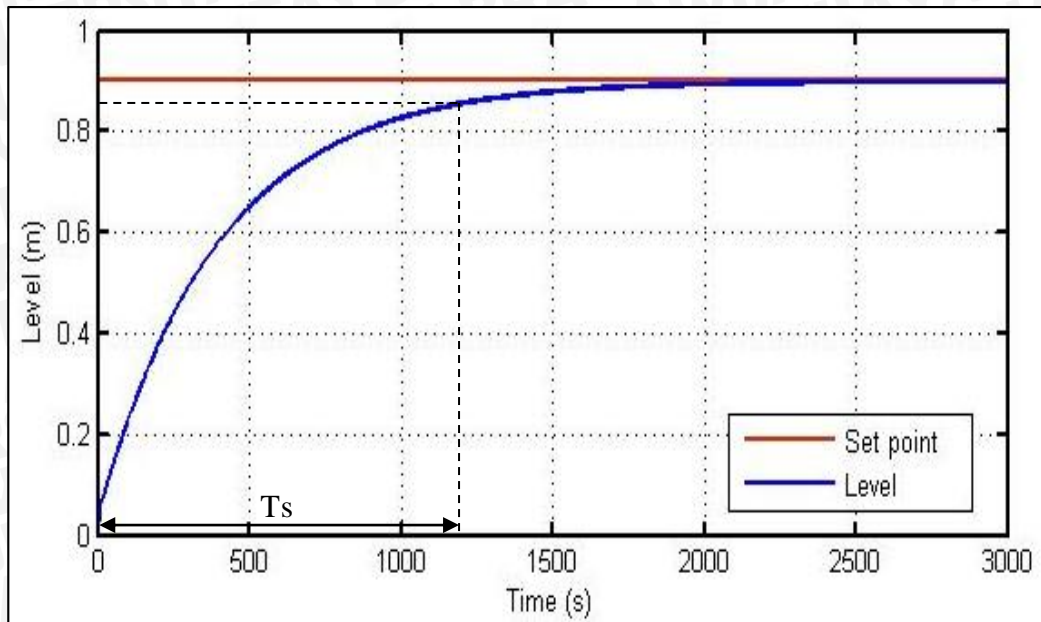
$$[P,E,Kc,R]=care(A,B,Q,R) \quad (5.13)$$

akan didapat nilai Kc LQR. Adapun hasil simulasi untuk *mode* pertama dengan nilai $Q_w = 1.23$ dan $R_v = 0.0009$ dapat dilihat dalam gambar 5.3.

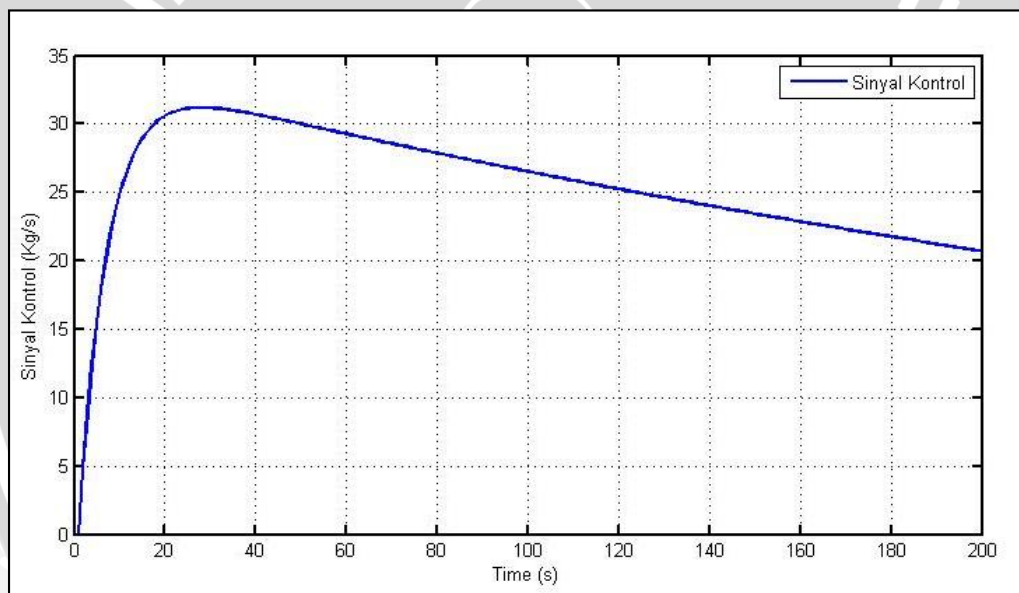
Dalam gambar 5.3 (a) terlihat bahwa respon *water level* memiliki keadaan awal sebesar 0.006m, apabila gambar diperbesar bisa dilihat dalam gambar 5.4. Dalam gambar 5.4 terlihat level naik dengan sangat cepat dalam waktu singkat, hal ini dikarenakan bentuk dari *steam drum* seperti tabung yang diletakkan horizontal, jadi kenaikan level dibawah lebih cepat daripada kenaikan di tengan *steam drum*. Respon *level* dari *steam drum* memiliki *settling time* sebesar 1100 detik (waktu sistem ketika mencapai 95% dari harga akhir), 0% *overshoot*, dan memiliki *error steady state* sebesar 0.067%. Sinyal kontrol yang diberikan dalam gambar 5.3 (b) sesuai dengan syarat yang ditentukan, namun terdapat *delay time*, yang diakibatkan oleh jarak antara pompa dan *steam drum*.

Berdasarkan informasi yang didapat dari pabrik, sistem yang dirancang memiliki *settling time* sedikit lebih cepat dari yang dilakukan di pabrik ketika pengisian awal dengan *mode* kontrol. Nilai K optimal (Kc) untuk *mode* pertama adalah

$$Kc = 10^{-3} [3.7110 \quad 1.8647 \quad 0.2209 \quad 0.0025]$$

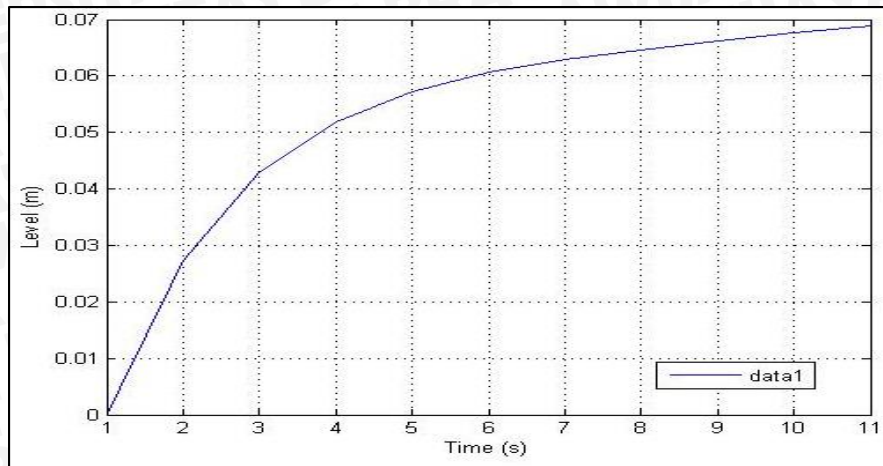


(a)



(b)

Gambar 5.3 (a) respon water level steam drum set point 0.9 m (b) Sinyal kontrol set point 0.9 m dengan nilai $Q_w=1.23$ dan $R_v=0.0009$



Gambar 5.4 Pembesaran respon *water level steam drum set point 0.9 m*

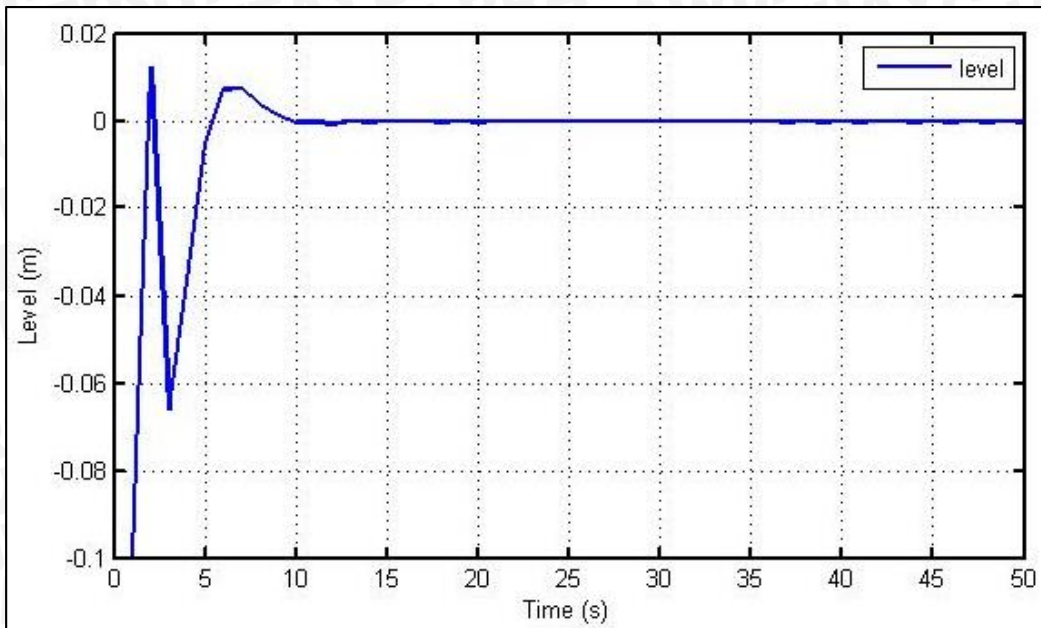
5.4.1.5 Perancangan LQR Mode Kedua

Perancangan LQR *mode* dua ini dirancang dengan anggapan bahwa sistem telah berada dalam keadaan setimbang, yaitu ketika *water level* telah mencapai 0.9 m. Dalam hal ini sistem akan mendapat gangguan berupa aliran *steam*. Ketika sistem mendapat gangguan, *water level* harus tetap berada di daerah *range* yang diperbolehkan, yaitu antara 0.8-1.5 m. Tentu saja dengan batas maksimal kemampuan laju aliran air yang diperbolehkan sebesar 33.33 Kg/s.

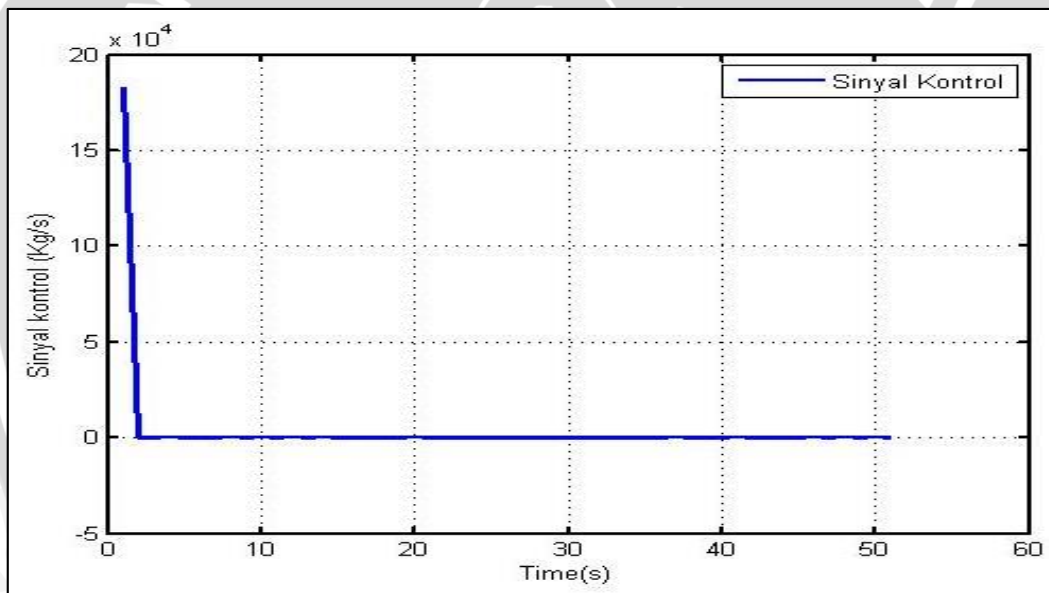
Semakin besar aliran *steam*, maka semakin cepat pula *water level* berkurang, karena itu batas maksimal yang digunakan dalam mencari penguatan optimal dalam *mode* kedua ini adalah -0.1m dari keadaan setimbang. Dalam mencari penguatan Kc optimal dalam *mode* kedua ini, dilakukan dengan cara yang sedikit berbeda dengan cara yang dilakukan pada *mode* pertama. Matriks pembobotan Q dalam *mode* kedua ini digunakan sebuah matriks simetris berorde 4x4 yaitu :

$$Q = \begin{bmatrix} Q_w & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_w & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Q_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_w \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

. Sedangkan nilai R tetap seperti dalam mode pertama. Dalam pencarian nilai matriks Q dan R yang tepat dapat dimulai dengan cara yang sama dalam *mode* pertama, yaitu memakai aturan pada persamaan 5.11 dan 5.12. Sehingga didapatkan nilai $Q_w=100$ dan $R_v=0.0009$. dimana respon sistem dapat dilihat dalam gambar 5.5.



(a)



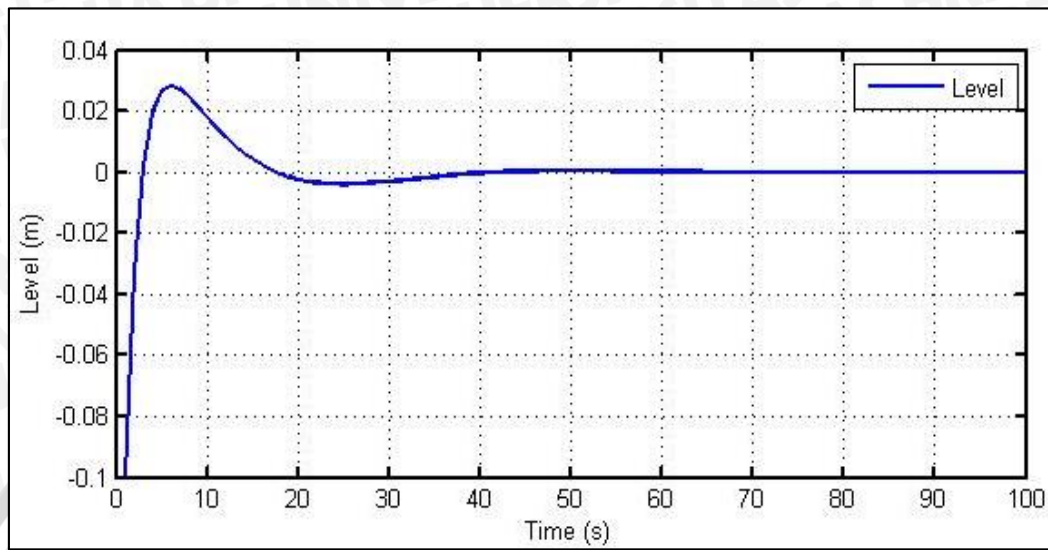
(b)

Gambar 5.5 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol dengan nilai $Q_v=100$ dan $R_v=0.0009$

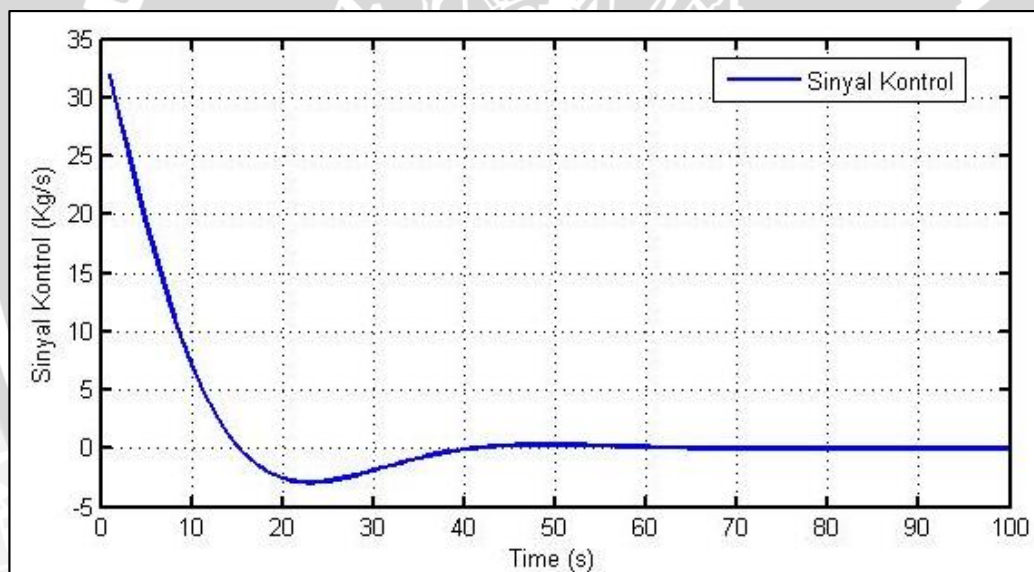
Dalam gambar 5.5 (b) terlihat sinyal kontrol yang diberikan jauh melebihi kemampuan yang dimiliki *valve*. Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan matriks pembobotan yang tepat, yang bisa memaksimalkan kemampuan *valve*.

Dalam sub bab 5.4.1.3 dijelaskan bahwa yang berhubungan dengan energi adalah matriks R, dan untuk memperkecil energi maka perlu untuk memperbesar nilai dari matriks R. Dalam beberapa kali percobaan, didapatkan respon sistem dan sinyal

kontrol yang sesuai batas maskimal *valve*. Nilai Q_w dan R_v yang didapat adalah 100 dan 20000000. Hasil simulasi dengan nilai tersebut dapat dilihat dalam gambar 5.6



(a)



(b)

Gambar 5.6 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol dengan nilai $Q_w=100$ dan $R_v=20000000$

Dalam gambar 5.6 (a) terlihat kontroler bisa mengatur *level* dengan *settling time* 20 detik dan *overshoot* 3.3%. Respon *level* yang dihasilkan masih memenuhi *range* kerja yaitu 0.8-1.05 m atau -0.1 – 1.05 m dari keadaan setimbang. Dalam gambar 5.6 (b) terlihat sinyal kontrol diberikan sesuai dengan syarat yang ditentukan.

Dengan cara perhitungan yang sama seperti dalam *mode* pertama, nilai (penguatan K optimal/Kc) untuk $Q_w=100$ dan $R_v=20000000$ adalah:

$$K_c = [0.2007 \quad 0.1633 \quad 0.0326 \quad 0.0022].$$

5.4.2 Perancangan *Estimator*

Umpan balik LQR dan *Estimator* mempunyai cara penyelesaian yang serupa, yaitu dengan menyelesaikan persamaan Riccati dan mendapatkan nilai penguatan estimator K_f yang optimal. Adapun persamaan Riccati adalah sebagai berikut :

$$AP + PA^T + BQ_n B^T - PG^T R_n^{-1} GP = 0 \quad (5.15)$$

$$K_f = PC^T R^{-1} \quad (5.16)$$

Nilai pembobotan matriks Q_n dan R_n mewakili gangguan proses dalam sistem dan juga gangguan yang diakibatkan *noise sensor*. Dalam menyelesaikan persamaan 5.15 dan 5.16, matriks C akan digantikan dengan matriks G yang merupakan matriks pengukuran. Adapun matriks G adalah :

$$G = \text{gain sensor} * C \quad (5.17)$$

Sehingga model yang akan diestimasi adalah:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (5.18)$$

$$z = Gx$$

Nilai Q_n dan R_n yang didapat telah ditentukan yaitu $Q_n = 100$ dan $R_n = 0.0000005$. Nilai tersebut akan disubstitusikan ke dalam persamaan 5.15. Selanjutnya dengan paket program MATLAB :

$$[P_e, E_e, K_f, R_n] = \text{care}(A', G', Q_n, R_n) \quad (5.19)$$

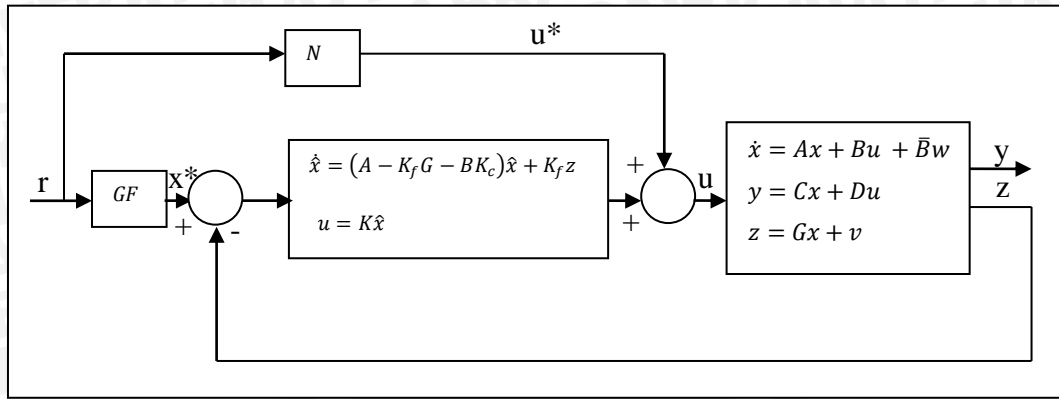
Nilai penguatan K_f yang didapat adalah :

$$K_f = 10^4 \begin{bmatrix} 1.4121 \\ 0.0029 \\ 0.0001 \\ 0.0003 \end{bmatrix}$$

5.4.3 Perancangan LQG

5.4.3.1 Perancangan LQG *Mode* Pertama

Seperti perancangan LQR pada *mode* pertama, perancangan LQG pada *mode* pertama diperlukan suatu *set point* atau masukan yang dikenakan pada system, sehingga blok diagramnya menjadi seperti dalam gambar 5.7 :



Gambar 5.7 Diagram blok sistem kontrol LQG/LQT
 Sumber : Hespnanha. J.P., 2007:31

nilai matrik F dan N dalam gambar 5.7 mempunyai nilai yang sama seperti ketika LQR dalam *mode* pertama. Selanjutnya akan dicari nilai matrik yang membentuk kontroler LQG dengan cara memasukkan nilai K_c dan K_f yang telah didapat dalam persamaan 2.26, sehingga akan membentuk sebuah persamaan *state space* kontroler :

$$\left. \begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= (A - K_f G - B K_c) \hat{x} + K_f z \\ u &= K_c \hat{x} \end{aligned} \right\} \quad (5.20)$$

Persamaan 5.20 dapat dirubah menjadi persamaan *state space* 5.21 :

$$\left. \begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= A_{LQG} \hat{x} + B_{LQG} z \\ u &= C \hat{x} \end{aligned} \right\} \quad (5.21)$$

dari persamaan 5.21 terlihat bahwa masukan kontroler adalah keluaran dari *plant* sedangkan keluaran kontroler adalah sinyal kontrol. Berdasarkan persamaan 5.21 dapat ditentukan nilai matrik penyusun *state space* sebagai berikut :

$$A_{LQG} = \begin{bmatrix} -486.3223 & -73.6588 & -3.3031 & -0.0307 \\ 0.0015 & -0.1513 & -0.0068 & -0.0001 \\ -0.0051 & 0.9992 & -0.0000 & -0.0000 \\ -0.0870 & -0.0132 & 0.9994 & -0.0000 \end{bmatrix}$$

$$B_{LQG} = 10^4 \begin{bmatrix} 1.421 \\ 0.0029 \\ 0.0001 \\ 0.0003 \end{bmatrix}$$



$$C_{LQG} = 10^{-3}[3.7110 \quad 1.8647 \quad 0.2209 \quad 0.0025]$$

$$D_{LQG} = [0]$$

5.4.3. Perancangan LQG Mode Kedua

Perancangan LQR *mode* dua ini dirancang dengan anggapan bahwa sistem telah berada dalam keadaan setimbang, yaitu ketika *water level* telah mencapai 0.9 m. Diagram blok yang akan digunakan dalam *mode* kedua ini adalah diagram blok yang ada dalam gambar 2.6. Persamaan *state space* kontroler LQG dilakukan dengan cara yang sama seperti LQG *mode* pertama, sehingga didapatkan persamaan *state space* seperti berikut :

$$A_{LQG} = \begin{bmatrix} -486.5192 & -73.8202 & -3.3355 & -0.0329 \\ 0.0015 & -0.1513 & -0.0068 & -0.0001 \\ -0.0051 & 0.9992 & -0.0000 & -0.0000 \\ -0.0870 & -0.0132 & 0.9994 & -0.0000 \end{bmatrix}$$

$$B_{LQG} = 10^4 \begin{bmatrix} 1.421 \\ 0.0029 \\ 0.0001 \\ 0.0003 \end{bmatrix}$$

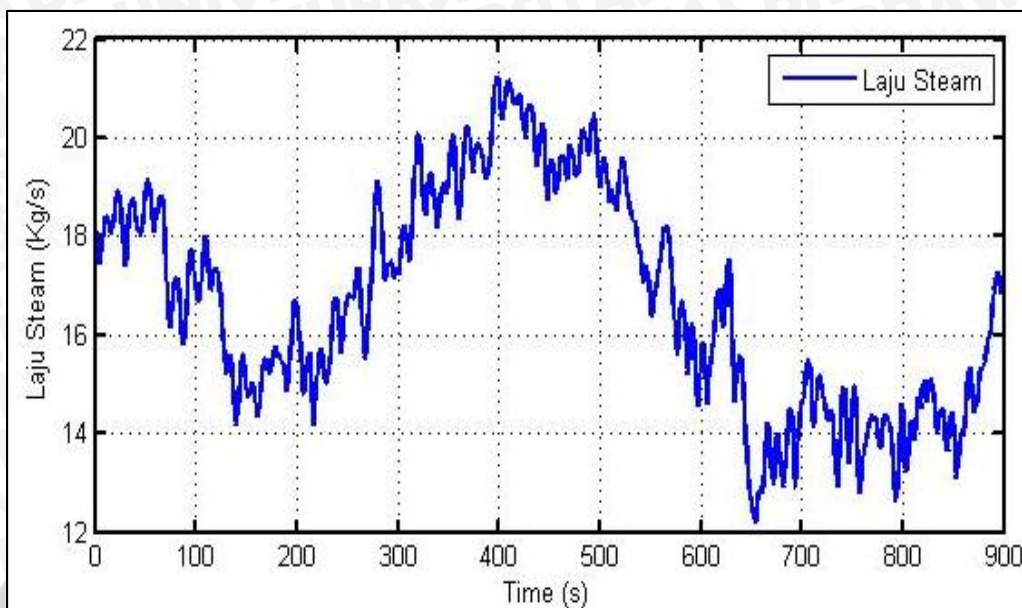
$$C_{LQG} = [0.2007 \quad 0.1633 \quad 0.0326 \quad 0.0022]$$

$$D_{LQG} = [0]$$

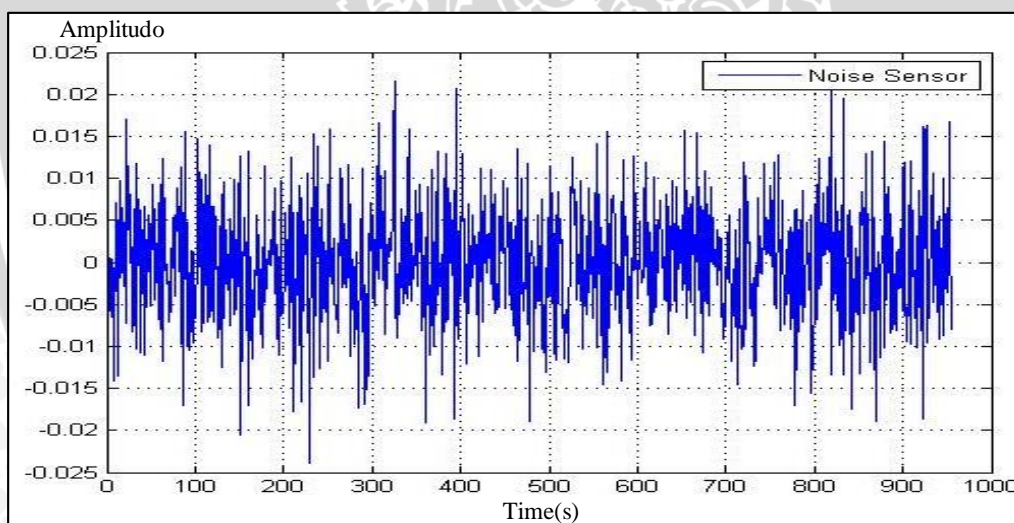
5.5 Simulasi Sistem Terhadap Gangguan

Dalam tahap ini akan dilakukan simulasi dalam *mode* pertama dan kedua dengan menggunakan kontroler LQG. Dalam *mode* pertama atau *mode* ketika pengisian awal *steam drum*, gangguan yang diberikan berasal hanya dari *noise sensor*. Sedangkan dalam *mode* kedua sistem dianggap sudah berada dalam keadaan setimbang dan akan mendapatkan gangguan berupa laju aliran *steam* dan *noise sensor*.

Gangguan berupa laju aliran *steam* yang disesuaikan dengan data *real plan* dan gangguan berupa *noise sensor*, dapat dilihat dalam gambar 5.8 dan 5.9



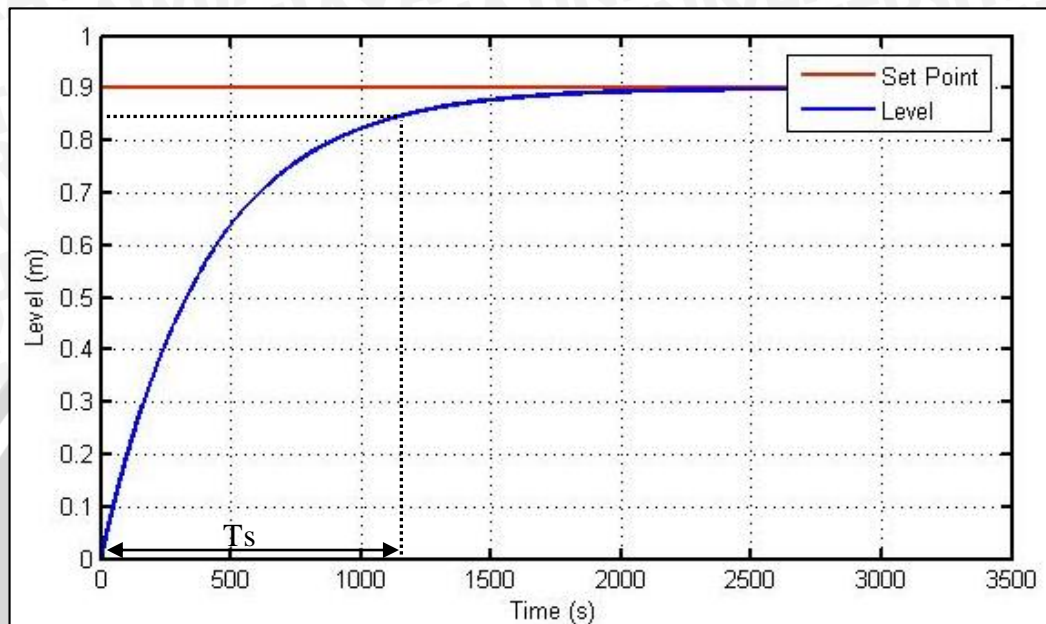
Gambar 5.8 Data gangguan Steam Flow



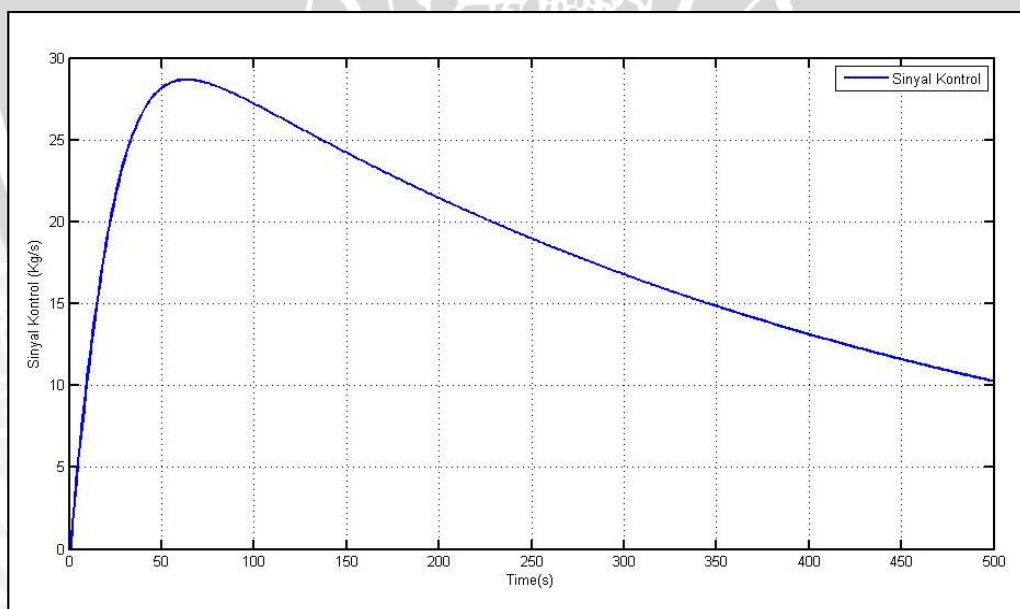
Gambar 5.9 Noise Sensor

5.5.1 Simulasi *Mode Pertama*

Telah dijelaskan di atas bahwa dalam pengisian awal ini gangguan berupa laju *steam* belum diberikan, sehingga sistem hanya mendapat gangguan dari *noise* sensor. Hasil simulasi dapat dilihat dalam gambar 5.10



(a)



(b)

Gambar 5.10 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol *mode pertama* yang dikontrol dengan LQG

Dalam gambar 5.10 terlihat bahwa respon sistem tidak terpengaruh karena adanya gangguan dari *noise* sensor. *Water level* yang ditunjukkan dalam gambar 5.10 (a) mempunyai *settling time* sebesar 1100 detik dan *error steady state* sebesar 0.067%. Sedangkan dalam gambar 5.10 (b) ditunjukkan bahwa sinyal kontrol yang diberikan memenuhi syarat batas yang ditentukan.

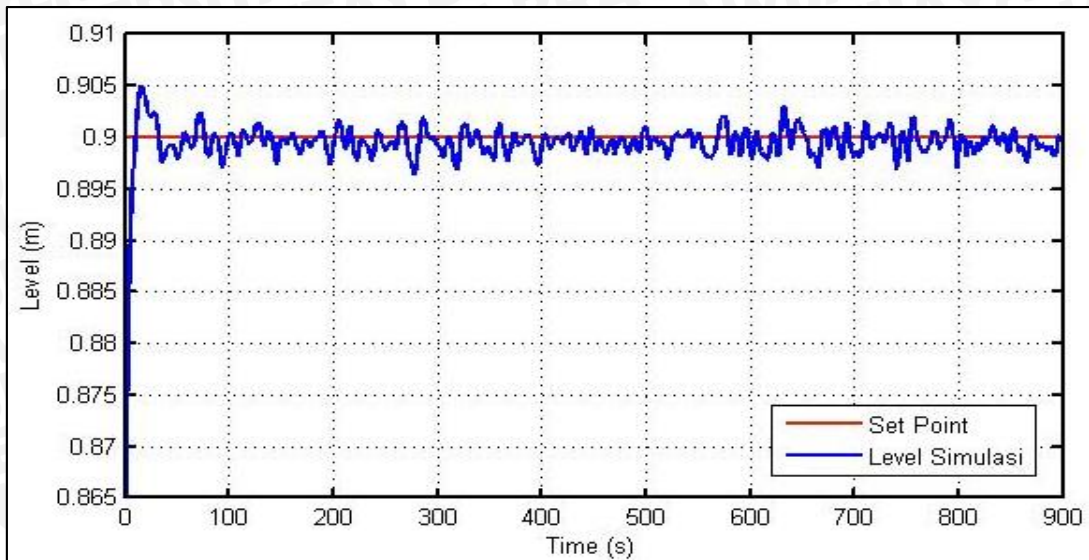
5.5.2 Simulasi Mode Kedua

Dalam *mode* kedua ini *level water* telah berada dalam keadaan setimbang, yaitu berada dalam *NWL (Normal Water Level)* yang memiliki tinggi 0.9 m. Gangguan berupa laju aliran *steam* dan *noise* sensor akan diberikan dalam *mode* kedua. Hal ini berarti, dalam *mode* kedua ini proses produksi dalam pabrik berjalan, dan kebutuhan akan laju *steam* berubah. Hasil simulasi sistem dengan gangguan ditunjukkan dalam gambar 5.11

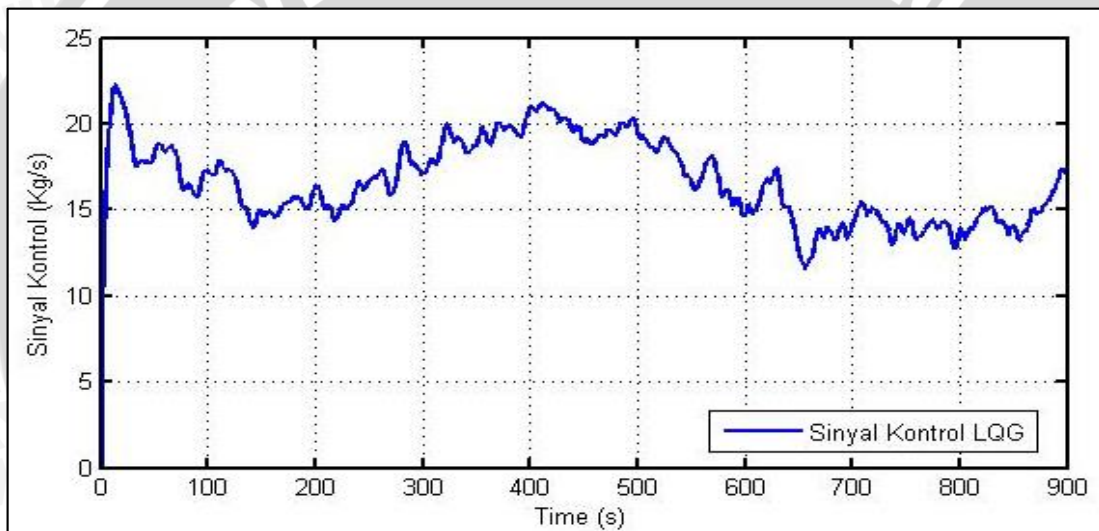
Dalam gambar 5.11 (a) terlihat bahwa *level* tetap berada dalam kawasan *NWL*, ketika diberikan gangguan berupa laju *steam*. Hal ini menunjukkan bahwa kontroler mampu meregulasi gangguan yang diberikan pada *water level* dan mempertahankan *water level* tetap berada di daerah *NWL*.

Perhitungan yang didapat menunjukkan sistem mempunyai *error* rata-rata sebesar 0.13%,. Dapat dilihat juga dalam gambar 5.11 (b), sinyal kontrol yang diberikan tidak melebihi batas maksimal yaitu sebesar 33.33 Kg/s.

Dari hasil simulasi ini terbukti bahwa kelebihan dari penerapan metode LQG adalah dapat meminimumkan pengaruh gangguan yang terjadi pada sistem.



(a)



(b)

Gambar 5.11 (a) respon *water level steam drum* (b) Sinyal kontrol *mode kedua* yang dikontrol dengan LQG

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam pembuatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Terdapat dua *mode* dalam sistem pengendalian *water level steam drum*, sehingga didapatkan dua buah *gain* umpan balik LQR yang sesuai dengan syarat yang diberikan. Pencarian *gain* dilakukan dengan pemilihan matriks Q dan R yang tepat, sehingga didapatkan nilai *gain* umpan balik LQR sebagai berikut :

- *Mode* Pertama

$$K_c = 10^{-3} [3.7110 \quad 1.8647 \quad 0.2209 \quad 0.0025]$$

- *Mode* Kedua

$$K_c = [0.2007 \quad 0.1633 \quad 0.0326 \quad 0.0022]$$

- Penguatan K_f yang didapat adalah

$$K_f = 10^4 \begin{bmatrix} 1.4121 \\ 0.0029 \\ 0.0001 \\ 0.0003 \end{bmatrix}$$

- *Gain* kontroler LQR K_c dan *Estimator* K_f disusun sehingga didapatkan kontroler LQG, dan didapatkan hasil performansi sistem sebagai berikut :

- *Mode* Pertama

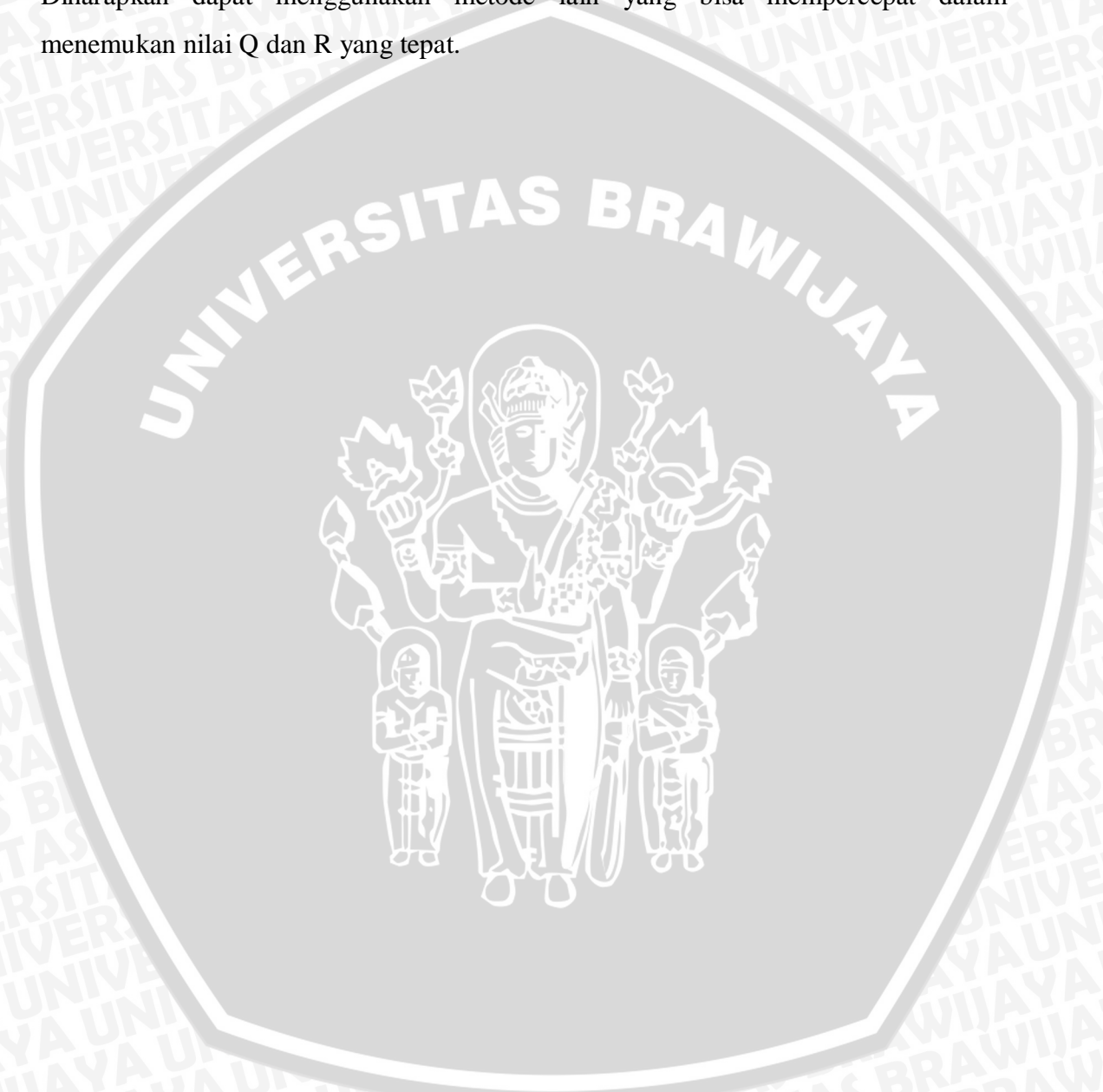
Mode pertama adalah ketika dilakukan pengisian awal dalam *steam drum* dengan *set point* 0.9 m dan mendapat gangguan dari *noise* sensor. Respon sistem memiliki $T_s = 1100s$, *error steady state* 0.067%, dan *overshoot* 0%.

- *Mode* Kedua

Mode kedua adalah ketika sistem telah mencapai keadaan setimbang serta mendapat gangguan berupa laju *steam* dan *noise* sensor. Respon sistem menunjukkan bahwa *water level* tetap berada disekitar *NWL* dengan *error* rata-rata 0.13%.

6.2 Saran

- Penelitian yang dilakukan dapat dikembangkan dan diaplikasikan ke dalam sistem yang nyata.
- Dalam mencari nilai Q dan R yang tepat, dilakukan dengan merubah-ubah dua nilai tersebut, dan melihat respon yang dihasilkan. Hal ini membutuhkan waktu yang lama. Diharapkan dapat menggunakan metode lain yang bisa mempercepat dalam menemukan nilai Q dan R yang tepat.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1992. *Yosimine Boiler Instrument*.
- Ardiansyah, M. Nova. 2007. *Perancangan Dan Simulasi Kontrol Optimal Dengan Metode Linier Quadratic Gaussian Dalam Pengendalian Level Dan Feedwater Flow Pada Steam Drum Boiler Di PLTU Paiton Unit 7 dan 8*. Skripsi: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang.
- Caysar, Dina dkk. 2013. *Drum Level Kontrol Menggunakan Differential Pressure Transmitter Pada Yoshimine Water Tube Boiler Type H-3500 Di Pabrik Gula Kebon Agung Malang*. Laporan PKL: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.Malang.
- Coughanowr, D. R., & Steven E. LeBlanc. 2009. *Process Systems Analysis And Control Third Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Gopal, M. 1987. *Modern Control System Theory*. John Wiley and Sons, Inc.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Hespanha, J. P. 2007. *LQGLQR Controller Design*. Joao Hespanha.
- Kwakernak, H., & R. Sivan. 1972. *Linier Optimal Control System*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Lewis, F.L., & V. L. Syrmos. 1995. *Optimal Control Second Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Nugraha, Searsolino Terry. 2006. *Penerapan Metode Kontrol Robust H_{∞} Untuk Pengendalian Level Air Dan Feed Water Flow Pada Steam Drum Di PT. International Power Mitsui Operation And Maintenance Indonesi-Paiton*. Skripsi: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang.
- Ogata, Katsuhiko. 1984. *Teknik Control Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jilid 1. Diterjemahkan oleh: Leksono, Edi. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1984. *Teknik Control Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jilid 2. Diterjemahkan oleh: Leksono, Edi. Jakarta: Erlangga.
- Seborg, D. E., Thomas F. Edgar., & Duncan A. Mellichamp. *Process Dynamics and Control Second Edition*. USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Shahian, B., & M. Hassul. 1993. *Control System Using MATLAB*. New Jersey: Prentice Hall. Inc.

Wahid, Abdurrahman. 2011. *Perancangan Sistem Pengendalian Level Dan Interlock Steam Drum Dengan Dua Elemen Kontrol Di PT. Indonesia PowerUBP SUB Unit Perak*. Skripsi: Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya

Yamin, Rizki Primanditya. 2004. *Desain Regulator LQG/LTR Pada Sistem Gerak Longitudinal Pesawat Terbang Boeing 747*. Skripsi: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang.



LAMPIRAN I DATA PABRIK



Tabel 5.1 Data Plant

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
0	65.2	65.7	909	0	18.11	18.25	0.909
1	64.6	67.5	919	1	17.94	18.75	0.919
2	63.6	68.7	922	2	17.67	19.08	0.922
3	63.1	69.8	925	3	17.53	19.39	0.925
4	62.8	70.8	928	4	17.44	19.67	0.928
5	63.1	71.2	930	5	17.53	19.78	0.93
6	64.3	71.4	930	6	17.86	19.83	0.93
7	64.6	71.5	930	7	17.94	19.86	0.93
8	65.7	71.5	928	8	18.25	19.86	0.928
9	66.3	70.9	926	9	18.42	19.69	0.926
10	66.3	70.8	923	10	18.42	19.67	0.923
11	66.1	69.7	918	11	18.36	19.36	0.918
12	65.9	69.1	914	12	18.31	19.19	0.914
13	65.5	68.8	909	13	18.19	19.11	0.909
14	65.1	69.3	905	14	18.08	19.25	0.905
15	65	70.4	902	15	18.06	19.56	0.902
16	65.2	72.2	899	16	18.11	20.06	0.899
17	65.6	73.4	899	17	18.22	20.39	0.899
18	66.1	74.4	899	18	18.36	20.67	0.899
19	66.8	74.7	899	19	18.56	20.75	0.899
20	67.7	74.2	900	20	18.81	20.61	0.9
21	68	73.6	900	21	18.89	20.44	0.9
22	68.1	73.3	899	22	18.92	20.36	0.899
23	67.7	73.6	898	23	18.81	20.44	0.898
24	67.3	74.4	897	24	18.69	20.67	0.897
25	66.5	76.2	896	25	18.47	21.17	0.896
26	65	77.6	896	26	18.06	21.56	0.896
27	63.8	78.8	895	27	17.72	21.89	0.895
28	63	80.2	896	28	17.50	22.28	0.896
29	62.6	80.8	897	29	17.39	22.44	0.897
30	62.9	81	900	30	17.47	22.50	0.9
31	63.5	80.5	902	31	17.64	22.36	0.902
32	64.9	79.6	905	32	18.03	22.11	0.905
33	65.9	78.5	908	33	18.31	21.81	0.908
34	67.1	77	910	34	18.64	21.39	0.91
35	67.4	76.2	911	35	18.72	21.17	0.911
36	67.6	76.2	912	36	18.78	21.17	0.912
37	67.2	76.9	913	37	18.67	21.36	0.913
38	66.7	77.7	913	38	18.53	21.58	0.913
39	66	78.5	915	39	18.33	21.81	0.915
40	65.8	79.3	916	40	18.28	22.03	0.916
41	65.4	79.7	918	41	18.17	22.14	0.918

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
42	65.2	79.9	920	42	18.11	22.19	0.92
43	65	80.5	923	43	18.06	22.36	0.923
44	64.9	81.5	924	44	18.03	22.64	0.924
45	64.9	82.7	924	45	18.03	22.97	0.924
46	65.3	84.7	928	46	18.14	23.53	0.928
47	66.1	86.3	930	47	18.36	23.97	0.93
48	67	87.6	931	48	18.61	24.33	0.931
49	67.8	88.8	933	49	18.83	24.67	0.933
50	68.7	89	935	50	19.08	24.72	0.935
51	68.9	88.9	937	51	19.14	24.69	0.937
52	68.7	88.5	937	52	19.08	24.58	0.937
53	68.1	88.3	937	53	18.92	24.53	0.937
54	67.5	88.3	937	54	18.75	24.53	0.937
55	66.6	88.6	936	55	18.50	24.61	0.936
56	65.6	89	935	56	18.22	24.72	0.935
57	65.2	89.5	934	57	18.11	24.86	0.934
58	65.4	90.3	930	58	18.17	25.08	0.93
59	65.9	91.1	927	59	18.31	25.31	0.927
60	66.3	91.8	924	60	18.42	25.50	0.924
61	66.7	92.9	921	61	18.53	25.81	0.921
62	67.4	93.6	919	62	18.72	26.00	0.919
63	67.6	94.3	917	63	18.78	26.19	0.917
64	67.7	95.2	916	64	18.81	26.44	0.916
65	67.8	95.9	915	65	18.83	26.64	0.915
66	67.4	96.4	914	66	18.72	26.78	0.914
67	66.5	96.6	915	67	18.47	26.83	0.915
68	64.5	96.7	916	68	17.92	26.86	0.916
69	62.5	96.5	918	69	17.36	26.81	0.918
70	60.7	96.1	920	70	16.86	26.69	0.92
71	59.1	95.8	922	71	16.42	26.61	0.922
72	58.5	95.5	924	72	16.25	26.53	0.924
73	58.2	95.1	925	73	16.17	26.42	0.925
74	58.4	95	926	74	16.22	26.39	0.926
75	59	95.1	927	75	16.39	26.42	0.927
76	59.7	95.5	928	76	16.58	26.53	0.928
77	60.7	96.2	929	77	16.86	26.72	0.929
78	61.3	96.9	932	78	17.03	26.92	0.932
79	61.7	97.9	935	79	17.14	27.19	0.935
80	61.8	98.5	937	80	17.17	27.36	0.937
81	61.5	99.3	940	81	17.08	27.58	0.94
82	60.7	99.9	942	82	16.86	27.75	0.942
83	59.2	100.3	944	83	16.44	27.86	0.944
84	58.1	100.4	945	84	16.14	27.89	0.945
85	57.3	100.5	946	85	15.92	27.92	0.946

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
86	57	100.5	946	86	15.83	27.92	0.946
87	57	100.7	945	87	15.83	27.97	0.945
88	57.4	101.1	944	88	15.94	28.08	0.944
89	58.5	101.5	942	89	16.25	28.19	0.942
90	59.6	101.9	939	90	16.56	28.31	0.939
91	61.1	102.3	937	91	16.97	28.42	0.937
92	62.8	102.7	934	92	17.44	28.53	0.934
93	63.2	102.8	931	93	17.56	28.56	0.931
94	63.8	102.9	929	94	17.72	28.58	0.929
95	63.8	103.1	928	95	17.72	28.64	0.928
96	62.6	103.2	927	96	17.39	28.67	0.927
97	62	103.4	928	97	17.22	28.72	0.928
98	61.2	103.6	930	98	17.00	28.78	0.93
99	60.7	103.7	931	99	16.86	28.81	0.931
100	60.3	103.9	932	100	16.75	28.86	0.932
101	60.1	103.9	936	101	16.69	28.86	0.936
102	60.1	103.8	940	102	16.69	28.83	0.94
103	60.4	103.4	945	103	16.78	28.72	0.945
104	61.2	103.1	949	104	17.00	28.64	0.949
105	62	102.8	953	105	17.22	28.56	0.953
106	63.1	102.6	956	106	17.53	28.50	0.956
107	64.3	102.6	958	107	17.86	28.50	0.958
108	64.8	102.6	959	108	18.00	28.50	0.959
109	64.5	102.8	959	109	17.92	28.56	0.959
110	63.7	103.1	960	110	17.69	28.64	0.96
111	62.6	103.7	960	111	17.39	28.81	0.96
112	61.7	104.6	961	112	17.14	29.06	0.961
113	61	105.2	962	113	16.94	29.22	0.962
114	60.9	105.7	963	114	16.92	29.36	0.963
115	61.4	105.7	964	115	17.06	29.36	0.964
116	62	105.4	963	116	17.22	29.28	0.963
117	62.3	104.9	963	117	17.31	29.14	0.963
118	62.3	104.4	961	118	17.31	29.00	0.961
119	62.4	104.1	959	119	17.33	28.92	0.959
120	62.3	104	957	120	17.31	28.89	0.957
121	62.1	104.1	955	121	17.25	28.92	0.955
122	61.2	104.3	954	122	17.00	28.97	0.954
123	60.5	104.5	955	123	16.81	29.03	0.955
124	58.8	104.6	956	124	16.33	29.06	0.956
125	57.5	104.6	959	125	15.97	29.06	0.959
126	57	104.6	963	126	15.83	29.06	0.963
127	56.1	104.8	971	127	15.58	29.11	0.971
128	55	105.2	975	128	15.28	29.22	0.975
129	54.8	105.3	978	129	15.22	29.25	0.978

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
130	55	105.6	981	130	15.28	29.33	0.981
131	55.7	105.6	984	131	15.47	29.33	0.984
132	56.1	105.5	984	132	15.58	29.31	0.984
133	56.1	105.3	983	133	15.58	29.25	0.983
134	55	105.1	982	134	15.28	29.19	0.982
135	54.2	104.9	980	135	15.06	29.14	0.98
136	53.2	104.7	978	136	14.78	29.08	0.978
137	52	103.8	977	137	14.44	28.83	0.977
138	51.7	104.1	978	138	14.36	28.92	0.978
139	51	104.5	980	139	14.17	29.03	0.98
140	51.3	104.6	985	140	14.25	29.06	0.985
141	52.1	104.8	990	141	14.47	29.11	0.99
142	53.2	104.9	998	142	14.78	29.14	0.998
143	54.7	104.9	1003	143	15.19	29.14	1.003
144	55.5	104.8	1005	144	15.42	29.11	1.005
145	56.2	104.6	1006	145	15.61	29.06	1.006
146	56	104.5	1006	146	15.56	29.03	1.006
147	55.1	104.6	1007	147	15.31	29.06	1.007
148	54.1	104.6	1009	148	15.03	29.06	1.009
149	53.2	104.6	1011	149	14.78	29.06	1.011
150	53.1	104.6	1011	150	14.75	29.06	1.011
151	53.3	104.7	1010	151	14.81	29.08	1.01
152	53.5	104.8	1010	152	14.86	29.11	1.01
153	53.7	104.9	1011	153	14.92	29.14	1.011
154	54	105	1012	154	15.00	29.17	1.012
155	54.1	105.1	1012	155	15.03	29.19	1.012
156	53.6	104.8	1013	156	14.89	29.11	1.013
157	53	104.8	1013	157	14.72	29.11	1.013
158	52.5	104.7	1015	158	14.58	29.08	1.015
159	51.8	104.6	1016	159	14.39	29.06	1.016
160	51.7	104.6	1015	160	14.36	29.06	1.015
161	52.1	104.7	1014	161	14.47	29.08	1.014
162	52.5	104.8	1013	162	14.58	29.11	1.013
163	53.1	104.9	1011	163	14.75	29.14	1.011
164	53.9	105.1	1006	164	14.97	29.19	1.006
165	54.7	105.2	1002	165	15.19	29.22	1.002
166	55.3	105.2	1001	166	15.36	29.22	1.001
167	55.8	105.1	1001	167	15.50	29.19	1.001
168	55.9	105	1000	168	15.53	29.17	1
169	55.9	104.9	999	169	15.53	29.14	0.999
170	55.3	104.6	1000	170	15.36	29.06	1
171	54.9	104.5	1001	171	15.25	29.03	1.001
172	54.7	104.4	1005	172	15.19	29.00	1.005
173	54.8	104.4	1008	173	15.22	29.00	1.008

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
174	55.1	104.5	1010	174	15.31	29.03	1.01
175	55.6	104.6	1011	175	15.44	29.06	1.011
176	56.4	104.6	1010	176	15.67	29.06	1.01
177	56.8	104.8	1008	177	15.78	29.11	1.008
178	56.8	104.9	1006	178	15.78	29.14	1.006
179	56.2	105	1005	179	15.61	29.17	1.005
180	56.2	104.9	1005	180	15.61	29.14	1.005
181	56	104.8	1004	181	15.56	29.11	1.004
182	56.1	104.5	1005	182	15.58	29.03	1.005
183	55.9	104.3	1008	183	15.53	28.97	1.008
184	55.9	103.8	1011	184	15.53	28.83	1.011
185	55.4	103.8	1021	185	15.39	28.83	1.021
186	55.4	103.7	1024	186	15.39	28.81	1.024
187	54.1	104	1029	187	15.03	28.89	1.029
188	53.8	104.3	1032	188	14.94	28.97	1.032
189	53.5	104.5	1036	189	14.86	29.03	1.036
190	53.9	104.5	1038	190	14.97	29.03	1.038
191	54.4	104.4	1039	191	15.11	29.00	1.039
192	55.3	104.4	1038	192	15.36	29.00	1.038
193	56.3	104.4	1037	193	15.64	29.00	1.037
194	57.6	104.5	1036	194	16.00	29.03	1.036
195	58.7	104.3	1035	195	16.31	28.97	1.035
196	60	104.2	1035	196	16.67	28.94	1.035
197	60.2	104	1040	197	16.72	28.89	1.04
198	60	103.8	1042	198	16.67	28.83	1.042
199	59.8	103.4	1047	199	16.61	28.72	1.047
200	58.2	103.1	1053	200	16.17	28.64	1.053
201	57.8	103	1059	201	16.06	28.61	1.059
202	56.4	103	1064	202	15.67	28.61	1.064
203	54.8	103.2	1068	203	15.22	28.67	1.068
204	53.7	103.4	1072	204	14.92	28.72	1.072
205	53.3	103.8	1075	205	14.81	28.83	1.075
206	53.4	103.9	1078	206	14.83	28.86	1.078
207	53.7	103.9	1080	207	14.92	28.86	1.08
208	54.5	103.7	1081	208	15.14	28.81	1.081
209	55.3	103.5	1082	209	15.36	28.75	1.082
210	55.9	103.2	1083	210	15.53	28.67	1.083
211	56.3	102.8	1085	211	15.64	28.56	1.085
212	55.2	102.3	1088	212	15.33	28.42	1.088
213	53.2	102	1089	213	14.78	28.33	1.089
214	52.1	101.7	1090	214	14.47	28.25	1.09
215	51	101.6	1092	215	14.17	28.22	1.092
216	51.6	101.6	1092	216	14.33	28.22	1.092
217	52.1	101.7	1090	217	14.47	28.25	1.09

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
218	53.5	101.9	1089	218	14.86	28.31	1.089
219	54.2	102.2	1085	219	15.06	28.39	1.085
220	55.2	102.6	1082	220	15.33	28.50	1.082
221	56.1	102.8	1080	221	15.58	28.56	1.08
222	56.6	102.7	1080	222	15.72	28.53	1.08
223	56.5	102.3	1081	223	15.69	28.42	1.081
224	56	101.8	1083	224	15.56	28.28	1.083
225	54.5	101.3	1085	225	15.14	28.14	1.085
226	54.3	100.6	1087	226	15.08	27.94	1.087
227	54.1	100.4	1087	227	15.03	27.89	1.087
228	54.2	100.3	1087	228	15.06	27.86	1.087
229	54.5	100.4	1085	229	15.14	27.89	1.085
230	55	100.7	1084	230	15.28	27.97	1.084
231	55.3	101.1	1083	231	15.36	28.08	1.083
232	55.7	101.7	1081	232	15.47	28.25	1.081
233	56.4	102.2	1079	233	15.67	28.39	1.079
234	57.9	102.7	1078	234	16.08	28.53	1.078
235	59	103.1	1076	235	16.39	28.64	1.076
236	59.9	103.3	1077	236	16.64	28.69	1.077
237	60.3	103.3	1078	237	16.75	28.69	1.078
238	60.2	103.1	1082	238	16.72	28.64	1.082
239	59.7	102.8	1084	239	16.58	28.56	1.084
240	58.5	102.5	1086	240	16.25	28.47	1.086
241	57.5	102.2	1088	241	15.97	28.39	1.088
242	56.7	101.9	1088	242	15.75	28.31	1.088
243	56.3	101.7	1090	243	15.64	28.25	1.09
244	56.8	101.5	1090	244	15.78	28.19	1.09
245	57.7	101.6	1090	245	16.03	28.22	1.09
246	58.8	102	1088	246	16.33	28.33	1.088
247	59.4	102	1086	247	16.50	28.33	1.086
248	59.9	102.3	1085	248	16.64	28.42	1.085
249	60.5	102.4	1085	249	16.81	28.44	1.085
250	60.5	102.5	1085	250	16.81	28.47	1.085
251	60.5	102.4	1087	251	16.81	28.44	1.087
252	60.4	102.2	1089	252	16.78	28.39	1.089
253	60.4	101.9	1092	253	16.78	28.31	1.092
254	60.3	101.3	1095	254	16.75	28.14	1.095
255	60.3	100.7	1099	255	16.75	27.97	1.099
256	60.5	99.7	1102	256	16.81	27.69	1.102
257	61.4	99.1	1105	257	17.06	27.53	1.105
258	62	98.6	1100	258	17.22	27.39	1.1
259	62.4	98.5	1102	259	17.33	27.36	1.102
260	62.5	98.6	1104	260	17.36	27.39	1.104
261	61.8	98.7	1106	261	17.17	27.42	1.106

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
262	60.3	99	1108	262	16.75	27.50	1.108
263	58.8	99	1109	263	16.33	27.50	1.109
264	57.9	98.6	1110	264	16.08	27.39	1.11
265	56.7	97.4	1111	265	15.75	27.06	1.111
266	55.9	97	1111	266	15.53	26.94	1.111
267	56	96.1	1112	267	15.56	26.69	1.112
268	56.6	94.9	1112	268	15.72	26.36	1.112
269	57.4	93.5	1110	269	15.94	25.97	1.11
270	58.7	93.3	1107	270	16.31	25.92	1.107
271	59.7	92.3	1105	271	16.58	25.64	1.105
272	60.7	91.6	1101	272	16.86	25.44	1.101
273	62	91	1100	273	17.22	25.28	1.1
274	63.2	89.8	1097	274	17.56	24.94	1.097
275	64.6	89.1	1100	275	17.94	24.75	1.1
276	66.5	88	1103	276	18.47	24.44	1.103
277	67.6	87.2	1103	277	18.78	24.22	1.103
278	68.4	84.8	1104	278	19.00	23.56	1.104
279	68.9	83.1	1105	279	19.14	23.08	1.105
280	68.3	81.1	1105	280	18.97	22.53	1.105
281	67.2	80	1104	281	18.67	22.22	1.104
282	66.1	79.4	1104	282	18.36	22.06	1.104
283	64.4	79.3	1104	283	17.89	22.03	1.104
284	62.9	80.3	1105	284	17.47	22.31	1.105
285	61.8	80.9	1110	285	17.17	22.47	1.11
286	61.6	81.7	1112	286	17.11	22.69	1.112
287	61.8	82.1	1118	287	17.17	22.81	1.118
288	62	82	1121	288	17.22	22.78	1.121
289	62.7	80.7	1127	289	17.42	22.42	1.127
290	62.8	79.4	1129	290	17.44	22.06	1.129
291	63	78	1132	291	17.50	21.67	1.132
292	62.9	76.5	1133	292	17.47	21.25	1.133
293	62.5	75.8	1131	293	17.36	21.06	1.131
294	62	75.9	1129	294	17.22	21.08	1.129
295	61.8	77.3	1125	295	17.17	21.47	1.125
296	62	78.1	1122	296	17.22	21.69	1.122
297	62.4	79.4	1117	297	17.33	22.06	1.117
298	62.4	81	1113	298	17.33	22.50	1.113
299	62.2	81.5	1112	299	17.28	22.64	1.112
300	62.1	81.4	1108	300	17.25	22.61	1.108
301	62.9	80.3	1106	301	17.47	22.31	1.106
302	63.8	79.1	1105	302	17.72	21.97	1.105
303	64.4	77.9	1103	303	17.89	21.64	1.103
304	65.2	76.5	1101	304	18.11	21.25	1.101
305	65.6	75.6	1099	305	18.22	21.00	1.099

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
306	65.5	74.8	1097	306	18.19	20.78	1.097
307	64.8	73.9	1093	307	18.00	20.53	1.093
308	64.1	73.5	1092	308	17.81	20.42	1.092
309	63.2	73.1	1090	309	17.56	20.31	1.09
310	63	72.4	1090	310	17.50	20.11	1.09
311	63.1	71.7	1091	311	17.53	19.92	1.091
312	64	71.1	1091	312	17.78	19.75	1.091
313	65.2	70.6	1093	313	18.11	19.61	1.093
314	66.4	70.5	1097	314	18.44	19.58	1.097
315	68.7	70.6	1098	315	19.08	19.61	1.098
316	69.5	71	1098	316	19.31	19.72	1.098
317	70.8	71.3	1099	317	19.67	19.81	1.099
318	72.2	71.5	1098	318	20.06	19.86	1.098
319	72.3	71.2	1096	319	20.08	19.78	1.096
320	72.1	70.6	1096	320	20.03	19.61	1.096
321	71	69.5	1095	321	19.72	19.31	1.095
322	69.1	67.4	1094	322	19.19	18.72	1.094
323	68.2	65.6	1094	323	18.94	18.22	1.094
324	67.4	63.8	1096	324	18.72	17.72	1.096
325	67	61.6	1098	325	18.61	17.11	1.098
326	66.4	60.2	1100	326	18.44	16.72	1.1
327	66.6	59.3	1105	327	18.50	16.47	1.105
328	67.5	58.9	1109	328	18.75	16.36	1.109
329	68.4	58.8	1113	329	19.00	16.33	1.113
330	69.3	57.8	1115	330	19.25	16.06	1.115
331	69.4	56	1116	331	19.28	15.56	1.116
332	69.3	55.5	1116	332	19.25	15.42	1.116
333	68.8	53.3	1114	333	19.11	14.81	1.114
334	68.1	51.8	1111	334	18.92	14.39	1.111
335	67.3	51.8	1108	335	18.69	14.39	1.108
336	66.2	52.2	1106	336	18.39	14.50	1.106
337	65.7	53.4	1106	337	18.25	14.83	1.106
338	65.5	53.7	1107	338	18.19	14.92	1.107
339	65.9	53.8	1109	339	18.31	14.94	1.109
340	66.6	52.4	1111	340	18.50	14.56	1.111
341	66.9	51.5	1114	341	18.58	14.31	1.114
342	67.8	50	1117	342	18.83	13.89	1.117
343	68.4	48.1	1120	343	19.00	13.36	1.12
344	68.6	47.3	1122	344	19.06	13.14	1.122
345	68.5	47.1	1123	345	19.03	13.08	1.123
346	68.2	48.1	1124	346	18.94	13.36	1.124
347	67.9	48.6	1124	347	18.86	13.50	1.124
348	68.2	50.2	1123	348	18.94	13.94	1.123
349	68.5	50.4	1123	349	19.03	14.00	1.123

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
350	69.3	50.1	1122	350	19.25	13.92	1.122
351	70.6	49.7	1122	351	19.61	13.81	1.122
352	71.5	47.5	1121	352	19.86	13.19	1.121
353	72.3	45.1	1119	353	20.08	12.53	1.119
354	72.1	42	1119	354	20.03	11.67	1.119
355	70.9	39.7	1116	355	19.69	11.03	1.116
356	68.4	36.5	1115	356	19.00	10.14	1.115
357	67.6	34.6	1113	357	18.78	9.61	1.113
358	66.7	32.2	1110	358	18.53	8.94	1.11
359	66.1	30.8	1107	359	18.36	8.56	1.107
360	66.2	30.4	1105	360	18.39	8.44	1.105
361	67.6	31.4	1103	361	18.78	8.72	1.103
362	68.7	33.4	1102	362	19.08	9.28	1.102
363	69.4	35.1	1103	363	19.28	9.75	1.103
364	70.5	36.5	1103	364	19.58	10.14	1.103
365	71.3	37.3	1101	365	19.81	10.36	1.101
366	72.3	37	1100	366	20.08	10.28	1.1
367	72.8	36.1	1099	367	20.22	10.03	1.099
368	72.8	34.5	1100	368	20.22	9.58	1.1
369	72.4	34.1	1099	369	20.11	9.47	1.099
370	71.7	34	1097	370	19.92	9.44	1.097
371	70.9	34.9	1093	371	19.69	9.69	1.093
372	69.9	36.2	1089	372	19.42	10.06	1.089
373	69.5	37.3	1085	373	19.31	10.36	1.085
374	70.2	38.9	1081	374	19.50	10.81	1.081
375	70.6	41.2	1077	375	19.61	11.44	1.077
376	71.1	41.2	1075	376	19.75	11.44	1.075
377	71.5	40.4	1075	377	19.86	11.22	1.075
378	71.6	39.1	1077	378	19.89	10.86	1.077
379	71.4	37.5	1078	379	19.83	10.42	1.078
380	71.3	34.9	1082	380	19.81	9.69	1.082
381	71.1	34.2	1085	381	19.75	9.50	1.085
382	70.7	33.5	1083	382	19.64	9.31	1.083
383	70.3	33.3	1081	383	19.53	9.25	1.081
384	69.7	33.5	1079	384	19.36	9.31	1.079
385	69.4	34	1077	385	19.28	9.44	1.077
386	69	34.9	1076	386	19.17	9.69	1.076
387	69	35.6	1075	387	19.17	9.89	1.075
388	69.4	36.4	1072	388	19.28	10.11	1.072
389	69.6	37.3	1069	389	19.33	10.36	1.069
390	70.3	37.5	1067	390	19.53	10.42	1.067
391	71	37.1	1065	391	19.72	10.31	1.065
392	71.8	35.6	1063	392	19.94	9.89	1.063
393	73.2	33.9	1060	393	20.33	9.42	1.06

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
394	74.5	31.8	1057	394	20.69	8.83	1.057
395	75.5	28.9	1054	395	20.97	8.03	1.054
396	76.3	26.9	1053	396	21.19	7.47	1.053
397	76.4	25.6	1051	397	21.22	7.11	1.051
398	76.3	25.3	1047	398	21.19	7.03	1.047
399	75.2	26.5	1043	399	20.89	7.36	1.043
400	74.2	27.6	1040	400	20.61	7.67	1.04
401	74	28.2	1038	401	20.56	7.83	1.038
402	73.4	29.1	1031	402	20.39	8.08	1.031
403	73.4	29.6	1025	403	20.39	8.22	1.025
404	73.7	29.7	1023	404	20.47	8.25	1.023
405	74.5	29.2	1021	405	20.69	8.11	1.021
406	75.7	28.5	1018	406	21.03	7.92	1.018
407	76	26.8	1015	407	21.11	7.44	1.015
408	76.2	25.5	1014	408	21.17	7.08	1.014
409	76.1	25.2	1013	409	21.14	7.00	1.013
410	75.8	24.3	1016	410	21.06	6.75	1.016
411	75.4	23.6	1017	411	20.94	6.56	1.017
412	75.2	23.3	1018	412	20.89	6.47	1.018
413	74.8	22.9	1019	413	20.78	6.36	1.019
414	74.5	22.6	1017	414	20.69	6.28	1.017
415	74.5	22.3	1015	415	20.69	6.19	1.015
416	74.6	20.5	1011	416	20.72	5.69	1.011
417	74.8	19.7	1008	417	20.78	5.47	1.008
418	75	18.3	1005	418	20.83	5.08	1.005
419	75.1	16.8	1003	419	20.86	4.67	1.003
420	75	16.3	1002	420	20.83	4.53	1.002
421	74	16.5	1003	421	20.56	4.58	1.003
422	73.8	17.5	1004	422	20.50	4.86	1.004
423	72.8	18.7	1014	423	20.22	5.19	1.014
424	72.4	20	1015	424	20.11	5.56	1.015
425	72	21.7	1020	425	20.00	6.03	1.02
426	72.9	22.9	1021	426	20.25	6.36	1.021
427	73.7	24	1023	427	20.47	6.67	1.023
428	74.1	25.2	1024	428	20.58	7.00	1.024
429	74.4	25.9	1023	429	20.67	7.19	1.023
430	74.5	26.2	1021	430	20.69	7.28	1.021
431	74.2	25.9	1018	431	20.61	7.19	1.018
432	73.7	25.4	1015	432	20.47	7.06	1.015
433	72.8	24.2	1012	433	20.22	6.72	1.012
434	71.7	21.9	1010	434	19.92	6.08	1.01
435	71.7	19.7	1012	435	19.92	5.47	1.012
436	70.3	15.2	1012	436	19.53	4.22	1.012
437	70	12.1	1013	437	19.44	3.36	1.013

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
438	70.5	10.1	1016	438	19.58	2.81	1.016
439	71	6.2	1018	439	19.72	1.72	1.018
440	72	5.7	1020	440	20.00	1.58	1.02
441	72.8	6.5	1020	441	20.22	1.81	1.02
442	73.1	7.8	1021	442	20.31	2.17	1.021
443	72.3	9.9	1021	443	20.08	2.75	1.021
444	71	11.3	1021	444	19.72	3.14	1.021
445	69.1	12.3	1020	445	19.19	3.42	1.02
446	67.9	12.8	1019	446	18.86	3.56	1.019
447	67.5	12.7	1017	447	18.75	3.53	1.017
448	68.1	12.4	1015	448	18.92	3.44	1.015
449	69	11.9	1015	449	19.17	3.31	1.015
450	70	11.8	1013	450	19.44	3.28	1.013
451	70.4	11.7	1011	451	19.56	3.25	1.011
452	69.9	11.7	1009	452	19.42	3.25	1.009
453	69.2	11.8	1007	453	19.22	3.28	1.007
454	68.2	11.8	1005	454	18.94	3.28	1.005
455	68	12.3	1001	455	18.89	3.42	1.001
456	68	12.7	998	456	18.89	3.53	0.998
457	68.4	13.3	992	457	19.00	3.69	0.992
458	69.4	13.9	987	458	19.28	3.86	0.987
459	70	14.3	983	459	19.44	3.97	0.983
460	70.5	14.3	980	460	19.58	3.97	0.98
461	70.6	13.6	979	461	19.61	3.78	0.979
462	70.6	12.9	976	462	19.61	3.58	0.976
463	70.6	12.1	975	463	19.61	3.36	0.975
464	70	11	974	464	19.44	3.06	0.974
465	69.5	10.8	972	465	19.31	3.00	0.972
466	69	11	970	466	19.17	3.06	0.97
467	69.1	11.8	966	467	19.19	3.28	0.966
468	69.6	13.3	965	468	19.33	3.69	0.965
469	71.5	13.6	962	469	19.86	3.78	0.962
470	71.1	14.6	959	470	19.75	4.06	0.959
471	70.9	15.1	956	471	19.69	4.19	0.956
472	70.8	14.9	954	472	19.67	4.14	0.954
473	70.4	13.9	952	473	19.56	3.86	0.952
474	69.5	11.9	952	474	19.31	3.31	0.952
475	69.2	11.3	951	475	19.22	3.14	0.951
476	69.2	7.7	953	476	19.22	2.14	0.953
477	69.3	5.7	953	477	19.25	1.58	0.953
478	69.7	0	952	478	19.36	0.00	0.952
479	70.5	0	952	479	19.58	0.00	0.952
480	71.3	0	950	480	19.81	0.00	0.95
481	72	0	950	481	20.00	0.00	0.95

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
482	72.6	0	948	482	20.17	0.00	0.948
483	72.6	0	946	483	20.17	0.00	0.946
484	72.4	0	944	484	20.11	0.00	0.944
485	71.5	7	941	485	19.86	1.94	0.941
486	71.2	7.6	941	486	19.78	2.11	0.941
487	70.7	7.5	940	487	19.64	2.08	0.94
488	70.7	5.6	939	488	19.64	1.56	0.939
489	71.3	0	939	489	19.81	0.00	0.939
490	72.1	0	938	490	20.03	0.00	0.938
491	73	0	939	491	20.28	0.00	0.939
492	73.2	0	940	492	20.33	0.00	0.94
493	73.8	0	941	493	20.50	0.00	0.941
494	73.2	0	942	494	20.33	0.00	0.942
495	71.1	0	944	495	19.75	0.00	0.944
496	70.8	0	945	496	19.67	0.00	0.945
497	69.5	0	946	497	19.31	0.00	0.946
498	68.9	6.5	947	498	19.14	1.81	0.947
499	68.4	6.5	949	499	19.00	1.81	0.949
500	68.9	6.2	949	500	19.14	1.72	0.949
501	68.9	5.7	948	501	19.14	1.58	0.948
502	69.9	0	946	502	19.42	0.00	0.946
503	70.6	5.5	943	503	19.61	1.53	0.943
504	69.9	6	941	504	19.42	1.67	0.941
505	68.9	6.3	939	505	19.14	1.75	0.939
506	68.9	6.7	938	506	19.14	1.86	0.938
507	68.5	6.6	931	507	19.03	1.83	0.931
508	67.6	5.7	929	508	18.78	1.58	0.929
509	67.3	0	929	509	18.69	0.00	0.929
510	68	0	927	510	18.89	0.00	0.927
511	68.2	0	926	511	18.94	0.00	0.926
512	67.7	0	924	512	18.81	0.00	0.924
513	67.2	0	922	513	18.67	0.00	0.922
514	67	0	919	514	18.61	0.00	0.919
515	66.8	0	917	515	18.56	0.00	0.917
516	66.7	0	915	516	18.53	0.00	0.915
517	67.5	0	914	517	18.75	0.00	0.914
518	68.4	0	912	518	19.00	0.00	0.912
519	69.3	0	911	519	19.25	0.00	0.911
520	70.3	6.4	910	520	19.53	1.78	0.91
521	70.6	7.4	912	521	19.61	2.06	0.912
522	70.2	7.2	914	522	19.50	2.00	0.914
523	69.6	5.8	913	523	19.33	1.61	0.913
524	69.1	0	914	524	19.19	0.00	0.914
525	68.2	0	911	525	18.94	0.00	0.911

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
526	67.9	0	909	526	18.86	0.00	0.909
527	67.6	0	907	527	18.78	0.00	0.907
528	67.1	0	907	528	18.64	0.00	0.907
529	66.4	0	904	529	18.44	0.00	0.904
530	66.2	0	903	530	18.39	0.00	0.903
531	66.1	0	901	531	18.36	0.00	0.901
532	66.1	0	900	532	18.36	0.00	0.9
533	65.9	0	898	533	18.31	0.00	0.898
534	65.8	0	897	534	18.28	0.00	0.897
535	65.3	0	894	535	18.14	0.00	0.894
536	64.5	0	891	536	17.92	0.00	0.891
537	64	0	888	537	17.78	0.00	0.888
538	63.7	0	885	538	17.69	0.00	0.885
539	63.3	0	881	539	17.58	0.00	0.881
540	62.7	0	880	540	17.42	0.00	0.88
541	61.5	0	879	541	17.08	0.00	0.879
542	61.5	0	879	542	17.08	0.00	0.879
543	61.7	0	879	543	17.14	0.00	0.879
544	62.3	0	880	544	17.31	0.00	0.88
545	62.7	0	879	545	17.42	0.00	0.879
546	62	0	879	546	17.22	0.00	0.879
547	61.3	0	877	547	17.03	0.00	0.877
548	60.3	0	876	548	16.75	0.00	0.876
549	59.3	6.3	876	549	16.47	1.75	0.876
550	58.9	6.3	879	550	16.36	1.75	0.879
551	59.1	6.2	880	551	16.42	1.72	0.88
552	59.4	0	880	552	16.50	0.00	0.88
553	60.2	0	879	553	16.72	0.00	0.879
554	60.7	0	880	554	16.86	0.00	0.88
555	61.2	0	880	555	17.00	0.00	0.88
556	62	0	880	556	17.22	0.00	0.88
557	62.3	0	880	557	17.31	0.00	0.88
558	62.7	0	880	558	17.42	0.00	0.88
559	63.1	0	880	559	17.53	0.00	0.88
560	63.5	0	879	560	17.64	0.00	0.879
561	64.2	0	878	561	17.83	0.00	0.878
562	64.9	0	877	562	18.03	0.00	0.877
563	65.4	0	876	563	18.17	0.00	0.876
564	65.5	0	875	564	18.19	0.00	0.875
565	65.5	0	874	565	18.19	0.00	0.874
566	65.2	0	874	566	18.11	0.00	0.874
567	64.8	0	873	567	18.00	0.00	0.873
568	63.8	0	872	568	17.72	0.00	0.872
569	63	0	871	569	17.50	0.00	0.871

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
570	62	0	871	570	17.22	0.00	0.871
571	60.3	0	870	571	16.75	0.00	0.87
572	59.2	0	869	572	16.44	0.00	0.869
573	58.1	0	868	573	16.14	0.00	0.868
574	56.9	0	868	574	15.81	0.00	0.868
575	56.3	0	868	575	15.64	0.00	0.868
576	56.2	0	867	576	15.61	0.00	0.867
577	57.1	0	867	577	15.86	0.00	0.867
578	58.3	0	866	578	16.19	0.00	0.866
579	59.4	0	865	579	16.50	0.00	0.865
580	60.1	0	864	580	16.69	0.00	0.864
581	59.9	0	862	581	16.64	0.00	0.862
582	59.3	0	861	582	16.47	0.00	0.861
583	57.9	0	862	583	16.08	0.00	0.862
584	56.7	0	861	584	15.75	0.00	0.861
585	55.5	0	861	585	15.42	0.00	0.861
586	54.8	0	860	586	15.22	0.00	0.86
587	55.3	0	858	587	15.36	0.00	0.858
588	56.3	0	855	588	15.64	0.00	0.855
589	58.1	0	857	589	16.14	0.00	0.857
590	58.5	0	850	590	16.25	0.00	0.85
591	58.2	0	846	591	16.17	0.00	0.846
592	56.5	0	837	592	15.69	0.00	0.837
593	55	0	836	593	15.28	0.00	0.836
594	53.5	0	834	594	14.86	0.00	0.834
595	52.7	0	834	595	14.64	0.00	0.834
596	52.4	0	831	596	14.56	0.00	0.831
597	52.8	0	830	597	14.67	0.00	0.83
598	54.2	0	829	598	15.06	0.00	0.829
599	55.6	0	832	599	15.44	0.00	0.832
600	57	0	833	600	15.83	0.00	0.833
601	57	0	831	601	15.83	0.00	0.831
602	56.2	0	831	602	15.61	0.00	0.831
603	54.9	5.8	833	603	15.25	1.61	0.833
604	53.9	8.3	834	604	14.97	2.31	0.834
605	52.6	8.7	834	605	14.61	2.42	0.834
606	52.9	9.5	834	606	14.69	2.64	0.834
607	54	9.5	836	607	15.00	2.64	0.836
608	55.1	8.9	835	608	15.31	2.47	0.835
609	55.9	8.7	832	609	15.53	2.42	0.832
610	56.5	8.9	830	610	15.69	2.47	0.83
611	56.9	9.5	828	611	15.81	2.64	0.828
612	57.3	9.8	827	612	15.92	2.72	0.827
613	58.3	10.3	825	613	16.19	2.86	0.825

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
614	59.1	11.5	822	614	16.42	3.19	0.822
615	60	12.4	821	615	16.67	3.44	0.821
616	60.8	12.7	819	616	16.89	3.53	0.819
617	60.9	12.7	818	617	16.92	3.53	0.818
618	60.3	12.5	816	618	16.75	3.47	0.816
619	59.1	11.9	814	619	16.42	3.31	0.814
620	58.2	13.6	812	620	16.17	3.78	0.812
621	58.1	13.9	811	621	16.14	3.86	0.811
622	58.3	14.8	807	622	16.19	4.11	0.807
623	59.1	15.1	807	623	16.42	4.19	0.807
624	60.3	15.8	805	624	16.75	4.39	0.805
625	62.5	15.4	803	625	17.36	4.28	0.803
626	63	15	802	626	17.50	4.17	0.802
627	63.1	14.2	802	627	17.53	3.94	0.802
628	61.2	13.3	801	628	17.00	3.69	0.801
629	58.2	12	801	629	16.17	3.33	0.801
630	56.7	12.6	800	630	15.75	3.50	0.8
631	54.1	12.9	799	631	15.03	3.58	0.799
632	53	14	799	632	14.72	3.89	0.799
633	52.7	14.9	797	633	14.64	4.14	0.797
634	53.7	15.4	796	634	14.92	4.28	0.796
635	54.4	16.8	793	635	15.11	4.67	0.793
636	55.2	17	792	636	15.33	4.72	0.792
637	56.1	17.5	791	637	15.58	4.86	0.791
638	56.2	17.2	790	638	15.61	4.78	0.79
639	55.9	16.8	788	639	15.53	4.67	0.788
640	54.8	16.3	786	640	15.22	4.53	0.786
641	53.6	15.6	784	641	14.89	4.33	0.784
642	52.2	15.6	782	642	14.50	4.33	0.782
643	50.3	15.6	780	643	13.97	4.33	0.78
644	49	15.9	779	644	13.61	4.42	0.779
645	47.4	16.6	779	645	13.17	4.61	0.779
646	46.7	16.9	780	646	12.97	4.69	0.78
647	46	17.1	784	647	12.78	4.75	0.784
648	45.7	16.9	788	648	12.69	4.69	0.788
649	45.4	16.4	791	649	12.61	4.56	0.791
650	44.8	15.5	794	650	12.44	4.31	0.794
651	44.4	14.8	797	651	12.33	4.11	0.797
652	44.1	14.4	799	652	12.25	4.00	0.799
653	43.9	14.4	800	653	12.19	4.00	0.8
654	44.2	14.6	801	654	12.28	4.06	0.801
655	45.1	15	800	655	12.53	4.17	0.8
656	46	15.3	799	656	12.78	4.25	0.799
657	46.2	17	798	657	12.83	4.72	0.798

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
658	46.4	17.3	798	658	12.89	4.81	0.798
659	46.2	18.5	797	659	12.83	5.14	0.797
660	46.1	19	796	660	12.81	5.28	0.796
661	46.8	19.8	795	661	13.00	5.50	0.795
662	48	20	790	662	13.33	5.56	0.79
663	49.3	20.4	788	663	13.69	5.67	0.788
664	50.6	20.8	784	664	14.06	5.78	0.784
665	51.2	21.3	781	665	14.22	5.92	0.781
666	50.8	21.9	780	666	14.11	6.08	0.78
667	50.3	20.5	776	667	13.97	5.69	0.776
668	48.5	19.7	774	668	13.47	5.47	0.774
669	47.3	19.1	773	669	13.14	5.31	0.773
670	46.9	19.5	770	670	13.03	5.42	0.77
671	46.7	20.2	768	671	12.97	5.61	0.768
672	47.4	21.2	766	672	13.17	5.89	0.766
673	49.2	22.7	765	673	13.67	6.31	0.765
674	49.9	23	766	674	13.86	6.39	0.766
675	50.4	24.4	767	675	14.00	6.78	0.767
676	49.5	24.6	769	676	13.75	6.83	0.769
677	48.8	24.6	770	677	13.56	6.83	0.77
678	47.7	24.2	772	678	13.25	6.72	0.772
679	46.9	23.9	774	679	13.03	6.64	0.774
680	46.6	23.8	775	680	12.94	6.61	0.775
681	47	24	777	681	13.06	6.67	0.777
682	47.6	24.6	779	682	13.22	6.83	0.779
683	48.1	25.9	780	683	13.36	7.19	0.78
684	48.9	26.5	779	684	13.58	7.36	0.779
685	50.2	27.3	778	685	13.94	7.58	0.778
686	51.3	28.4	777	686	14.25	7.89	0.777
687	52.1	29	776	687	14.47	8.06	0.776
688	52.1	29.3	774	688	14.47	8.14	0.774
689	51.3	29.7	772	689	14.25	8.25	0.772
690	49.7	30.1	772	690	13.81	8.36	0.772
691	47.6	30.7	773	691	13.22	8.53	0.773
692	46.5	30.8	776	692	12.92	8.56	0.776
693	46.6	30.9	778	693	12.94	8.58	0.778
694	47.6	31	781	694	13.22	8.61	0.781
695	49.7	31.1	781	695	13.81	8.64	0.781
696	50.1	31.8	780	696	13.92	8.83	0.78
697	51.7	32.3	778	697	14.36	8.97	0.778
698	52.4	33.1	776	698	14.56	9.19	0.776
699	52.7	34.1	774	699	14.64	9.47	0.774
700	52.7	34.7	772	700	14.64	9.64	0.772
701	52.7	35.1	772	701	14.64	9.75	0.772

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
702	53.3	35	773	702	14.81	9.72	0.773
703	54.6	35	774	703	15.17	9.72	0.774
704	55.4	35.3	777	704	15.39	9.81	0.777
705	55.9	36.2	779	705	15.53	10.06	0.779
706	55.6	38.8	782	706	15.44	10.78	0.782
707	55.3	39.3	784	707	15.36	10.92	0.784
708	53.5	41.8	786	708	14.86	11.61	0.786
709	51.6	43.5	787	709	14.33	12.08	0.787
710	50.9	43.9	788	710	14.14	12.19	0.788
711	50.9	45	787	711	14.14	12.50	0.787
712	51.5	45.6	787	712	14.31	12.67	0.787
713	52.4	45.9	784	713	14.56	12.75	0.784
714	53.3	46	781	714	14.81	12.78	0.781
715	54.4	45.9	779	715	15.11	12.75	0.779
716	54.6	45.7	776	716	15.17	12.69	0.776
717	54.5	45.1	774	717	15.14	12.53	0.774
718	53.8	44.4	771	718	14.94	12.33	0.771
719	53.3	43.5	769	719	14.81	12.08	0.769
720	53	42.2	768	720	14.72	11.72	0.768
721	52.9	41.1	765	721	14.69	11.42	0.765
722	52.4	39.8	762	722	14.56	11.06	0.762
723	51.6	37.9	760	723	14.33	10.53	0.76
724	51.3	36.7	759	724	14.25	10.19	0.759
725	51.3	35.5	760	725	14.25	9.86	0.76
726	51.7	34.4	761	726	14.36	9.56	0.761
727	52.1	34.1	763	727	14.47	9.47	0.763
728	52.1	34.4	764	728	14.47	9.56	0.764
729	51.8	35.3	763	729	14.39	9.81	0.763
730	50.7	37.6	762	730	14.08	10.44	0.762
731	49.5	40	761	731	13.75	11.11	0.761
732	48.1	43.4	763	732	13.36	12.06	0.763
733	46.8	45.9	765	733	13.00	12.75	0.765
734	46.5	48.1	768	734	12.92	13.36	0.768
735	46.7	49.7	771	735	12.97	13.81	0.771
736	47.5	49.7	774	736	13.19	13.81	0.774
737	49.8	49.5	776	737	13.83	13.75	0.776
738	50.4	48.1	777	738	14.00	13.36	0.777
739	52.7	46.6	777	739	14.64	12.94	0.777
740	53.8	46.5	779	740	14.94	12.92	0.779
741	53.6	47.1	780	741	14.89	13.08	0.78
742	52	48.4	782	742	14.44	13.44	0.782
743	50.5	49.9	783	743	14.03	13.86	0.783
744	49.3	51.7	784	744	13.69	14.36	0.784
745	48.3	52.4	783	745	13.42	14.56	0.783

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
746	48.6	52.5	782	746	13.50	14.58	0.782
747	48.9	51.9	781	747	13.58	14.42	0.781
748	50.8	51.1	780	748	14.11	14.19	0.78
749	52.5	50.7	774	749	14.58	14.08	0.774
750	53.7	51.6	767	750	14.92	14.33	0.767
751	53.9	52.6	765	751	14.97	14.61	0.765
752	52.6	54.6	762	752	14.61	15.17	0.762
753	50.6	57.3	761	753	14.06	15.92	0.761
754	48	57.9	762	754	13.33	16.08	0.762
755	46.7	59.7	764	755	12.97	16.58	0.764
756	46.1	59.5	768	756	12.81	16.53	0.768
757	46.6	58.7	772	757	12.94	16.31	0.772
758	47.4	57.5	774	758	13.17	15.97	0.774
759	48.4	56.6	775	759	13.44	15.72	0.775
760	48.4	56.6	781	760	13.44	15.72	0.781
761	49.4	57.3	783	761	13.72	15.92	0.783
762	49.7	58.8	784	762	13.81	16.33	0.784
763	49.8	60	784	763	13.83	16.67	0.784
764	50.4	61.1	783	764	14.00	16.97	0.783
765	50.6	62.5	782	765	14.06	17.36	0.782
766	51	63.4	780	766	14.17	17.61	0.78
767	51.5	64.5	779	767	14.31	17.92	0.779
768	51.7	65.7	778	768	14.36	18.25	0.778
769	51.7	66.5	778	769	14.36	18.47	0.778
770	51.6	66.5	779	770	14.33	18.47	0.779
771	51.6	66.2	779	771	14.33	18.39	0.779
772	51.5	64.6	780	772	14.31	17.94	0.78
773	51.1	62.8	780	773	14.19	17.44	0.78
774	50.5	60.5	780	774	14.03	16.81	0.78
775	49.5	58.5	779	775	13.75	16.25	0.779
776	49.4	58.4	778	776	13.72	16.22	0.778
777	49.3	58.8	777	777	13.69	16.33	0.777
778	49.7	60.1	777	778	13.81	16.69	0.777
779	50.6	61.6	778	779	14.06	17.11	0.778
780	51.3	63.6	779	780	14.25	17.67	0.779
781	51.8	64.2	781	781	14.39	17.83	0.781
782	51.7	63.8	782	782	14.36	17.72	0.782
783	51.5	61.9	781	783	14.31	17.19	0.781
784	51.4	58.6	778	784	14.28	16.28	0.778
785	51.2	58	776	785	14.22	16.11	0.776
786	50.8	56.7	773	786	14.11	15.75	0.773
787	50.3	56.9	770	787	13.97	15.81	0.77
788	49.3	58	769	788	13.69	16.11	0.769
789	48.3	60.4	770	789	13.42	16.78	0.77

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
790	47.1	62.1	771	790	13.08	17.25	0.771
791	45.6	63.6	774	791	12.67	17.67	0.774
792	45.4	64.9	780	792	12.61	18.03	0.78
793	46	65.1	785	793	12.78	18.08	0.785
794	46.5	64.8	792	794	12.92	18.00	0.792
795	47.7	63.8	797	795	13.25	17.72	0.797
796	49.2	63.3	800	796	13.67	17.58	0.8
797	52	62.7	808	797	14.44	17.42	0.808
798	52.6	62.1	810	798	14.61	17.25	0.81
799	52	62.1	810	799	14.44	17.25	0.81
800	49.9	62.8	809	800	13.86	17.44	0.809
801	48.1	63.6	806	801	13.36	17.67	0.806
802	47.7	64.3	802	802	13.25	17.86	0.802
803	47.9	65.5	798	803	13.31	18.19	0.798
804	48.4	67	793	804	13.44	18.61	0.793
805	49.4	68.2	792	805	13.72	18.94	0.792
806	51.1	70.3	791	806	14.19	19.53	0.791
807	51.3	71.2	791	807	14.25	19.78	0.791
808	51.1	72.9	792	808	14.19	20.25	0.792
809	50.2	74.7	795	809	13.94	20.75	0.795
810	49.9	77	798	810	13.86	21.39	0.798
811	50.2	78.5	802	811	13.94	21.81	0.802
812	51.2	79.6	808	812	14.22	22.11	0.808
813	52.1	80.3	809	813	14.47	22.31	0.809
814	53	80.4	812	814	14.72	22.33	0.812
815	52.6	80.6	813	815	14.61	22.39	0.813
816	53.1	81.1	815	816	14.75	22.53	0.815
817	52.3	81.3	815	817	14.53	22.58	0.815
818	53.6	81.4	816	818	14.89	22.61	0.816
819	54	81	816	819	15.00	22.50	0.816
820	54.3	80.5	815	820	15.08	22.36	0.815
821	53.8	79.4	814	821	14.94	22.06	0.814
822	53	77.4	812	822	14.72	21.50	0.812
823	52.7	75.6	806	823	14.64	21.00	0.806
824	53.2	75.5	803	824	14.78	20.97	0.803
825	53.8	76	798	825	14.94	21.11	0.798
826	54.2	78.8	793	826	15.06	21.89	0.793
827	54.4	79.6	791	827	15.11	22.11	0.791
828	53.6	82.3	790	828	14.89	22.86	0.79
829	53.3	84.1	792	829	14.81	23.36	0.792
830	51.9	85.5	793	830	14.42	23.75	0.793
831	51	86.4	797	831	14.17	24.00	0.797
832	50.5	86.5	802	832	14.03	24.03	0.802
833	50.4	86.5	805	833	14.00	24.03	0.805

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
834	50.9	86.9	808	834	14.14	24.14	0.808
835	51.5	87.4	810	835	14.31	24.28	0.81
836	52	88.3	809	836	14.44	24.53	0.809
837	52.1	89.5	808	837	14.47	24.86	0.808
838	52.1	90.4	807	838	14.47	25.11	0.807
839	51.1	91.4	807	839	14.19	25.39	0.807
840	50.3	92.8	809	840	13.97	25.78	0.809
841	49.5	93.9	813	841	13.75	26.08	0.813
842	49.2	94.6	817	842	13.67	26.28	0.817
843	49.5	94.9	822	843	13.75	26.36	0.822
844	49.2	94.7	826	844	13.67	26.31	0.826
845	51	93.6	828	845	14.17	26.00	0.828
846	51.7	93.2	827	846	14.36	25.89	0.827
847	52	93.1	825	847	14.44	25.86	0.825
848	51.7	93.5	821	848	14.36	25.97	0.821
849	50.8	94.6	821	849	14.11	26.28	0.821
850	49.8	96.3	818	850	13.83	26.75	0.818
851	48.1	96.7	816	851	13.36	26.86	0.816
852	47.2	97.7	814	852	13.11	27.14	0.814
853	47.6	98.3	813	853	13.22	27.31	0.813
854	48.1	98.8	813	854	13.36	27.44	0.813
855	49.6	99.3	814	855	13.78	27.58	0.814
856	50.3	99.8	816	856	13.97	27.72	0.816
857	50.5	100	819	857	14.03	27.78	0.819
858	50.5	100.6	823	858	14.03	27.94	0.823
859	50.2	100.5	831	859	13.94	27.92	0.831
860	50.3	99.8	834	860	13.97	27.72	0.834
861	51.5	99	841	861	14.31	27.50	0.841
862	51.9	97.7	843	862	14.42	27.14	0.843
863	53.7	96.2	845	863	14.92	26.72	0.845
864	54.8	94.4	846	864	15.22	26.22	0.846
865	55.3	93.5	845	865	15.36	25.97	0.845
866	54.7	93.5	843	866	15.19	25.97	0.843
867	53.4	94.2	840	867	14.83	26.17	0.84
868	52.8	95	837	868	14.67	26.39	0.837
869	52.2	96	835	869	14.50	26.67	0.835
870	52	97.1	834	870	14.44	26.97	0.834
871	52.3	97.8	834	871	14.53	27.17	0.834
872	52.5	98.2	836	872	14.58	27.28	0.836
873	53	98.5	838	873	14.72	27.36	0.838
874	53.6	98.5	842	874	14.89	27.36	0.842
875	54.9	98.3	846	875	15.25	27.31	0.846
876	55.2	98	849	876	15.33	27.22	0.849
877	55.2	97.5	853	877	15.33	27.08	0.853

Data Pabrik				Konversi Data Pabrik			
No	Fs(Ton/Jam)	Fw(Ton/jam)	Level(mm)	No	Fs(Kg/s)	Fw(Kg/s)	Level(m)
878	55.1	97	855	878	15.31	26.94	0.855
879	55.1	96.4	857	879	15.31	26.78	0.857
880	55.5	96.1	857	880	15.42	26.69	0.857
881	55.9	96	855	881	15.53	26.67	0.855
882	56.7	95.8	852	882	15.75	26.61	0.852
883	57.3	95.6	850	883	15.92	26.56	0.85
884	57.4	94.8	847	884	15.94	26.33	0.847
885	57.5	94.3	844	885	15.97	26.19	0.844
886	57.7	93.7	842	886	16.03	26.03	0.842
887	58.2	93.1	842	887	16.17	25.86	0.842
888	59.5	93.1	843	888	16.53	25.86	0.843
889	60.4	93.4	845	889	16.78	25.94	0.845
890	60.9	95	849	890	16.92	26.39	0.849
891	61.6	95.9	850	891	17.11	26.64	0.85
892	62.2	97.3	851	892	17.28	27.03	0.851
893	62.1	98.7	850	893	17.25	27.42	0.85
894	61.9	100.2	850	894	17.19	27.83	0.85
895	60.6	100.6	850	895	16.83	27.94	0.85
896	60.6	100.5	851	896	16.83	27.92	0.851
897	60.7	100.1	852	897	16.86	27.81	0.852
898	61.1	99.4	853	898	16.97	27.61	0.853
899	61.4	98.6	855	899	17.06	27.39	0.855

KeteranganFs = *Steam Flow*Fw = *Feedwater Flow*Level = *Water Level*

Tabel 5.2 Data Proses Identifikasi

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
0	0.14	0.909	45	4.94	0.924
1	0.81	0.919	46	5.39	0.928
2	1.42	0.922	47	5.61	0.93
3	1.86	0.925	48	5.72	0.931
4	2.22	0.928	49	5.83	0.933
5	2.25	0.93	50	5.64	0.935
6	1.97	0.93	51	5.56	0.937
7	1.92	0.93	52	5.50	0.937
8	1.61	0.928	53	5.61	0.937
9	1.28	0.926	54	5.78	0.937
10	1.25	0.923	55	6.11	0.936
11	1.00	0.918	56	6.50	0.935
12	0.89	0.914	57	6.75	0.934
13	0.92	0.909	58	6.92	0.93
14	1.17	0.905	59	7.00	0.927
15	1.50	0.902	60	7.08	0.924
16	1.94	0.899	61	7.28	0.921
17	2.17	0.899	62	7.28	0.919
18	2.31	0.899	63	7.42	0.917
19	2.19	0.899	64	7.64	0.916
20	1.81	0.9	65	7.81	0.915
21	1.56	0.9	66	8.06	0.914
22	1.44	0.899	67	8.36	0.915
23	1.64	0.898	68	8.94	0.916
24	1.97	0.897	69	9.44	0.918
25	2.69	0.896	70	9.83	0.92
26	3.50	0.896	71	10.19	0.922
27	4.17	0.895	72	10.28	0.924
28	4.78	0.896	73	10.25	0.925
29	5.06	0.897	74	10.17	0.926
30	5.03	0.9	75	10.03	0.927
31	4.72	0.902	76	9.94	0.928
32	4.08	0.905	77	9.86	0.929
33	3.50	0.908	78	9.89	0.932
34	2.75	0.91	79	10.06	0.935
35	2.44	0.911	80	10.19	0.937
36	2.39	0.912	81	10.50	0.94
37	2.69	0.913	82	10.89	0.942
38	3.06	0.913	83	11.42	0.944
39	3.47	0.915	84	11.75	0.945
40	3.75	0.916	85	12.00	0.946
41	3.97	0.918	86	12.08	0.946
42	4.08	0.92	87	12.14	0.945
43	4.31	0.923	88	12.14	0.944
44	4.61	0.924	89	11.94	0.942

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
90	11.75	0.939	137	14.39	0.977
91	11.44	0.937	138	14.56	0.978
92	11.08	0.934	139	14.86	0.98
93	11.00	0.931	140	14.81	0.985
94	10.86	0.929	141	14.64	0.99
95	10.92	0.928	142	14.36	0.998
96	11.28	0.927	143	13.94	1.003
97	11.50	0.928	144	13.69	1.005
98	11.78	0.93	145	13.44	1.006
99	11.94	0.931	146	13.47	1.006
100	12.11	0.932	147	13.75	1.007
101	12.17	0.936	148	14.03	1.009
102	12.14	0.94	149	14.28	1.011
103	11.94	0.945	150	14.31	1.011
104	11.64	0.949	151	14.28	1.01
105	11.33	0.953	152	14.25	1.01
106	10.97	0.956	153	14.22	1.011
107	10.64	0.958	154	14.17	1.012
108	10.50	0.959	155	14.17	1.012
109	10.64	0.959	156	14.22	1.013
110	10.94	0.96	157	14.39	1.013
111	11.42	0.96	158	14.50	1.015
112	11.92	0.961	159	14.67	1.016
113	12.28	0.962	160	14.69	1.015
114	12.44	0.963	161	14.61	1.014
115	12.31	0.964	162	14.53	1.013
116	12.06	0.963	163	14.39	1.011
117	11.83	0.963	164	14.22	1.006
118	11.69	0.961	165	14.03	1.002
119	11.58	0.959	166	13.86	1.001
120	11.58	0.957	167	13.69	1.001
121	11.67	0.955	168	13.64	1
122	11.97	0.954	169	13.61	0.999
123	12.22	0.955	170	13.69	1
124	12.72	0.956	171	13.78	1.001
125	13.08	0.959	172	13.81	1.005
126	13.22	0.963	173	13.78	1.008
127	13.53	0.971	174	13.72	1.01
128	13.94	0.975	175	13.61	1.011
129	14.03	0.978	176	13.39	1.01
130	14.06	0.981	177	13.33	1.008
131	13.86	0.984	178	13.36	1.006
132	13.72	0.984	179	13.56	1.005
133	13.67	0.983	180	13.53	1.005
134	13.92	0.982	181	13.56	1.004
135	14.08	0.98	182	13.44	1.005
136	14.31	0.978	183	13.44	1.008

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
185	13.44	1.021	232	12.78	1.081
186	13.42	1.024	233	12.72	1.079
187	13.86	1.029	234	12.44	1.078
188	14.03	1.032	235	12.25	1.076
189	14.17	1.036	236	12.06	1.077
190	14.06	1.038	237	11.94	1.078
191	13.89	1.039	238	11.92	1.082
192	13.64	1.038	239	11.97	1.084
193	13.36	1.037	240	12.22	1.086
194	13.03	1.036	241	12.42	1.088
195	12.67	1.035	242	12.56	1.088
196	12.28	1.035	243	12.61	1.09
197	12.17	1.04	244	12.42	1.09
198	12.17	1.042	245	12.19	1.09
199	12.11	1.047	246	12.00	1.088
200	12.47	1.053	247	11.83	1.086
201	12.56	1.059	248	11.78	1.085
202	12.94	1.064	249	11.64	1.085
203	13.44	1.068	250	11.67	1.085
204	13.81	1.072	251	11.64	1.087
205	14.03	1.075	252	11.61	1.089
206	14.03	1.078	253	11.53	1.092
207	13.94	1.08	254	11.39	1.095
208	13.67	1.081	255	11.22	1.099
209	13.39	1.082	256	10.89	1.102
210	13.14	1.083	257	10.47	1.105
211	12.92	1.085	258	10.17	1.1
212	13.08	1.088	259	10.03	1.102
213	13.56	1.089	260	10.03	1.104
214	13.78	1.09	261	10.25	1.106
215	14.06	1.092	262	10.75	1.108
216	13.89	1.092	263	11.17	1.109
217	13.78	1.09	264	11.31	1.11
218	13.44	1.089	265	11.31	1.111
219	13.33	1.085	266	11.42	1.111
220	13.17	1.082	267	11.14	1.112
221	12.97	1.08	268	10.64	1.112
222	12.81	1.08	269	10.03	1.11
223	12.72	1.081	270	9.61	1.107
224	12.72	1.083	271	9.06	1.105
225	13.00	1.085	272	8.58	1.101
226	12.86	1.087	273	8.06	1.1
227	12.86	1.087	274	7.39	1.097
228	12.81	1.087	275	6.81	1.1
229	12.75	1.085	276	5.97	1.103
230	12.69	1.084	277	5.44	1.103

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
279	3.94	1.105	326	-1.72	1.1
280	3.56	1.105	327	-2.03	1.105
281	3.56	1.104	328	-2.39	1.109
282	3.69	1.104	329	-2.67	1.113
283	4.14	1.104	330	-3.19	1.115
284	4.83	1.105	331	-3.72	1.116
285	5.31	1.11	332	-3.83	1.116
286	5.58	1.112	333	-4.31	1.114
287	5.64	1.118	334	-4.53	1.111
288	5.56	1.121	335	-4.31	1.108
289	5.00	1.127	336	-3.89	1.106
290	4.61	1.129	337	-3.42	1.106
291	4.17	1.132	338	-3.28	1.107
292	3.78	1.133	339	-3.36	1.109
293	3.69	1.131	340	-3.94	1.111
294	3.86	1.129	341	-4.28	1.114
295	4.31	1.125	342	-4.94	1.117
296	4.47	1.122	343	-5.64	1.12
297	4.72	1.117	344	-5.92	1.122
298	5.17	1.113	345	-5.94	1.123
299	5.36	1.112	346	-5.58	1.124
300	5.36	1.108	347	-5.36	1.124
301	4.83	1.106	348	-5.00	1.123
302	4.25	1.105	349	-5.03	1.123
303	3.75	1.103	350	-5.33	1.122
304	3.14	1.101	351	-5.81	1.122
305	2.78	1.099	352	-6.67	1.121
306	2.58	1.097	353	-7.56	1.119
307	2.53	1.093	354	-8.36	1.119
308	2.61	1.092	355	-8.67	1.116
309	2.75	1.09	356	-8.86	1.115
310	2.61	1.09	357	-9.17	1.113
311	2.39	1.091	358	-9.58	1.11
312	1.97	1.091	359	-9.81	1.107
313	1.50	1.093	360	-9.94	1.105
314	1.14	1.097	361	-10.06	1.103
315	0.53	1.098	362	-9.81	1.102
316	0.42	1.098	363	-9.53	1.103
317	0.14	1.099	364	-9.44	1.103
318	-0.19	1.098	365	-9.44	1.101
319	-0.31	1.096	366	-9.81	1.1
320	-0.42	1.096	367	-10.19	1.099
321	-0.42	1.095	368	-10.64	1.1
322	-0.47	1.094	369	-10.64	1.099
323	-0.72	1.094	370	-10.47	1.097
324	-1.00	1.096	371	-10.00	1.093

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
373	-8.94	1.085	420	-16.31	1.002
374	-8.69	1.081	421	-15.97	1.003
375	-8.17	1.077	422	-15.64	1.004
376	-8.31	1.075	423	-15.03	1.014
377	-8.64	1.075	424	-14.56	1.015
378	-9.03	1.077	425	-13.97	1.02
379	-9.42	1.078	426	-13.89	1.021
380	-10.11	1.082	427	-13.81	1.023
381	-10.25	1.085	428	-13.58	1.024
382	-10.33	1.083	429	-13.47	1.023
383	-10.28	1.081	430	-13.42	1.021
384	-10.06	1.079	431	-13.42	1.018
385	-9.83	1.077	432	-13.42	1.015
386	-9.47	1.076	433	-13.50	1.012
387	-9.28	1.075	434	-13.83	1.01
388	-9.17	1.072	435	-14.44	1.012
389	-8.97	1.069	436	-15.31	1.012
390	-9.11	1.067	437	-16.08	1.013
391	-9.42	1.065	438	-16.78	1.016
392	-10.06	1.063	439	-18.00	1.018
393	-10.92	1.06	440	-18.42	1.02
394	-11.86	1.057	441	-18.42	1.02
395	-12.94	1.054	442	-18.14	1.021
396	-13.72	1.053	443	-17.33	1.021
397	-14.11	1.051	444	-16.58	1.021
398	-14.17	1.047	445	-15.78	1.02
399	-13.53	1.043	446	-15.31	1.019
400	-12.94	1.04	447	-15.22	1.017
401	-12.72	1.038	448	-15.47	1.015
402	-12.31	1.031	449	-15.86	1.015
403	-12.17	1.025	450	-16.17	1.013
404	-12.22	1.023	451	-16.31	1.011
405	-12.58	1.021	452	-16.17	1.009
406	-13.11	1.018	453	-15.94	1.007
407	-13.67	1.015	454	-15.67	1.005
408	-14.08	1.014	455	-15.47	1.001
409	-14.14	1.013	456	-15.36	0.998
410	-14.31	1.016	457	-15.31	0.992
411	-14.39	1.017	458	-15.42	0.987
412	-14.42	1.018	459	-15.47	0.983
413	-14.42	1.019	460	-15.61	0.98
414	-14.42	1.017	461	-15.83	0.979
415	-14.50	1.015	462	-16.03	0.976
416	-15.03	1.011	463	-16.25	0.975
417	-15.31	1.008	464	-16.39	0.974
418	-15.75	1.005	465	-16.31	0.972

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
467	-15.92	0.966	514	-18.61	0.919
468	-15.64	0.965	515	-18.56	0.917
469	-16.08	0.962	516	-18.53	0.915
470	-15.69	0.959	517	-18.75	0.914
471	-15.50	0.956	518	-19.00	0.912
472	-15.53	0.954	519	-19.25	0.911
473	-15.69	0.952	520	-17.75	0.91
474	-16.00	0.952	521	-17.56	0.912
475	-16.08	0.951	522	-17.50	0.914
476	-17.08	0.953	523	-17.72	0.913
477	-17.67	0.953	524	-19.19	0.914
478	-19.36	0.952	525	-18.94	0.911
479	-19.58	0.952	526	-18.86	0.909
480	-19.81	0.95	527	-18.78	0.907
481	-20.00	0.95	528	-18.64	0.907
482	-20.17	0.948	529	-18.44	0.904
483	-20.17	0.946	530	-18.39	0.903
484	-20.11	0.944	531	-18.36	0.901
485	-17.92	0.941	532	-18.36	0.9
486	-17.67	0.941	533	-18.31	0.898
487	-17.56	0.94	534	-18.28	0.897
488	-18.08	0.939	535	-18.14	0.894
489	-19.81	0.939	536	-17.92	0.891
490	-20.03	0.938	537	-17.78	0.888
491	-20.28	0.939	538	-17.69	0.885
492	-20.33	0.94	539	-17.58	0.881
493	-20.50	0.941	540	-17.42	0.88
494	-20.33	0.942	541	-17.08	0.879
495	-19.75	0.944	542	-17.08	0.879
496	-19.67	0.945	543	-17.14	0.879
497	-19.31	0.946	544	-17.31	0.88
498	-17.33	0.947	545	-17.42	0.879
499	-17.19	0.949	546	-17.22	0.879
500	-17.42	0.949	547	-17.03	0.877
501	-17.56	0.948	548	-16.75	0.876
502	-19.42	0.946	549	-14.72	0.876
503	-18.08	0.943	550	-14.61	0.879
504	-17.75	0.941	551	-14.69	0.88
505	-17.39	0.939	552	-16.50	0.88
506	-17.28	0.938	553	-16.72	0.879
507	-17.19	0.931	554	-16.86	0.88
508	-17.19	0.929	555	-17.00	0.88
509	-18.69	0.929	556	-17.22	0.88
510	-18.89	0.927	557	-17.31	0.88
511	-18.94	0.926	558	-17.42	0.88
512	-18.81	0.924	559	-17.53	0.88

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
561	-17.83	0.878	608	-12.83	0.835
562	-18.03	0.877	609	-13.11	0.832
563	-18.17	0.876	610	-13.22	0.83
564	-18.19	0.875	611	-13.17	0.828
565	-18.19	0.874	612	-13.19	0.827
566	-18.11	0.874	613	-13.33	0.825
567	-18.00	0.873	614	-13.22	0.822
568	-17.72	0.872	615	-13.22	0.821
569	-17.50	0.871	616	-13.36	0.819
570	-17.22	0.871	617	-13.39	0.818
571	-16.75	0.87	618	-13.28	0.816
572	-16.44	0.869	619	-13.11	0.814
573	-16.14	0.868	620	-12.39	0.812
574	-15.81	0.868	621	-12.28	0.811
575	-15.64	0.868	622	-12.08	0.807
576	-15.61	0.867	623	-12.22	0.807
577	-15.86	0.867	624	-12.36	0.805
578	-16.19	0.866	625	-13.08	0.803
579	-16.50	0.865	626	-13.33	0.802
580	-16.69	0.864	627	-13.58	0.802
581	-16.64	0.862	628	-13.31	0.801
582	-16.47	0.861	629	-12.83	0.801
583	-16.08	0.862	630	-12.25	0.8
584	-15.75	0.861	631	-11.44	0.799
585	-15.42	0.861	632	-10.83	0.799
586	-15.22	0.86	633	-10.50	0.797
587	-15.36	0.858	634	-10.64	0.796
588	-15.64	0.855	635	-10.44	0.793
589	-16.14	0.857	636	-10.61	0.792
590	-16.25	0.85	637	-10.72	0.791
591	-16.17	0.846	638	-10.83	0.79
592	-15.69	0.837	639	-10.86	0.788
593	-15.28	0.836	640	-10.69	0.786
594	-14.86	0.834	641	-10.56	0.784
595	-14.64	0.834	642	-10.17	0.782
596	-14.56	0.831	643	-9.64	0.78
597	-14.67	0.83	644	-9.19	0.779
598	-15.06	0.829	645	-8.56	0.779
599	-15.44	0.832	646	-8.28	0.78
600	-15.83	0.833	647	-8.03	0.784
601	-15.83	0.831	648	-8.00	0.788
602	-15.61	0.831	649	-8.06	0.791
603	-13.64	0.833	650	-8.14	0.794
604	-12.67	0.834	651	-8.22	0.797
605	-12.19	0.834	652	-8.25	0.799
606	-12.06	0.834	653	-8.19	0.8

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
655	-8.36	0.8	702	-5.08	0.773
656	-8.53	0.799	703	-5.44	0.774
657	-8.11	0.798	704	-5.58	0.777
658	-8.08	0.798	705	-5.47	0.779
659	-7.69	0.797	706	-4.67	0.782
660	-7.53	0.796	707	-4.44	0.784
661	-7.50	0.795	708	-3.25	0.786
662	-7.78	0.79	709	-2.25	0.787
663	-8.03	0.788	710	-1.94	0.788
664	-8.28	0.784	711	-1.64	0.787
665	-8.31	0.781	712	-1.64	0.787
666	-8.03	0.78	713	-1.81	0.784
667	-8.28	0.776	714	-2.03	0.781
668	-8.00	0.774	715	-2.36	0.779
669	-7.83	0.773	716	-2.47	0.776
670	-7.61	0.77	717	-2.61	0.774
671	-7.36	0.768	718	-2.61	0.771
672	-7.28	0.766	719	-2.72	0.769
673	-7.36	0.765	720	-3.00	0.768
674	-7.47	0.766	721	-3.28	0.765
675	-7.22	0.767	722	-3.50	0.762
676	-6.92	0.769	723	-3.81	0.76
677	-6.72	0.77	724	-4.06	0.759
678	-6.53	0.772	725	-4.39	0.76
679	-6.39	0.774	726	-4.81	0.761
680	-6.33	0.775	727	-5.00	0.763
681	-6.39	0.777	728	-4.92	0.764
682	-6.39	0.779	729	-4.58	0.763
683	-6.17	0.78	730	-3.64	0.762
684	-6.22	0.779	731	-2.64	0.761
685	-6.36	0.778	732	-1.31	0.763
686	-6.36	0.777	733	-0.25	0.765
687	-6.42	0.776	734	0.44	0.768
688	-6.33	0.774	735	0.83	0.771
689	-6.00	0.772	736	0.61	0.774
690	-5.44	0.772	737	-0.08	0.776
691	-4.69	0.773	738	-0.64	0.777
692	-4.36	0.776	739	-1.69	0.777
693	-4.36	0.778	740	-2.03	0.779
694	-4.61	0.781	741	-1.81	0.78
695	-5.17	0.781	742	-1.00	0.782
696	-5.08	0.78	743	-0.17	0.783
697	-5.39	0.778	744	0.67	0.784
698	-5.36	0.776	745	1.14	0.783
699	-5.17	0.774	746	1.08	0.782
700	-5.00	0.772	747	0.83	0.781

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
749	-0.50	0.774	796	3.92	0.8
750	-0.58	0.767	797	2.97	0.808
751	-0.36	0.765	798	2.64	0.81
752	0.56	0.762	799	2.81	0.81
753	1.86	0.761	800	3.58	0.809
754	2.75	0.762	801	4.31	0.806
755	3.61	0.764	802	4.61	0.802
756	3.72	0.768	803	4.89	0.798
757	3.36	0.772	804	5.17	0.793
758	2.81	0.774	805	5.22	0.792
759	2.28	0.775	806	5.33	0.791
760	2.28	0.781	807	5.53	0.791
761	2.19	0.783	808	6.06	0.792
762	2.53	0.784	809	6.81	0.795
763	2.83	0.784	810	7.53	0.798
764	2.97	0.783	811	7.86	0.802
765	3.31	0.782	812	7.89	0.808
766	3.44	0.78	813	7.83	0.809
767	3.61	0.779	814	7.61	0.812
768	3.89	0.778	815	7.78	0.813
769	4.11	0.778	816	7.78	0.815
770	4.14	0.779	817	8.06	0.815
771	4.06	0.779	818	7.72	0.816
772	3.64	0.78	819	7.50	0.816
773	3.25	0.78	820	7.28	0.815
774	2.78	0.78	821	7.11	0.814
775	2.50	0.779	822	6.78	0.812
776	2.50	0.778	823	6.36	0.806
777	2.64	0.777	824	6.19	0.803
778	2.89	0.777	825	6.17	0.798
779	3.06	0.778	826	6.83	0.793
780	3.42	0.779	827	7.00	0.791
781	3.44	0.781	828	7.97	0.79
782	3.36	0.782	829	8.56	0.792
783	2.89	0.781	830	9.33	0.793
784	2.00	0.778	831	9.83	0.797
785	1.89	0.776	832	10.00	0.802
786	1.64	0.773	833	10.03	0.805
787	1.83	0.77	834	10.00	0.808
788	2.42	0.769	835	9.97	0.81
789	3.36	0.77	836	10.08	0.809
790	4.17	0.771	837	10.39	0.808
791	5.00	0.774	838	10.64	0.807
792	5.42	0.78	839	11.19	0.807
793	5.31	0.785	840	11.81	0.809
794	5.08	0.792	841	12.33	0.813

No	Input(Kg/s)	Output (m)	No	Input (Kg/s)	Output (m)
843	12.61	0.822	890	9.47	0.849
844	12.64	0.826	891	9.53	0.85
845	11.83	0.828	892	9.75	0.851
846	11.53	0.827	893	10.17	0.85
847	11.42	0.825	894	10.64	0.85
848	11.61	0.821	895	11.11	0.85
849	12.17	0.821	896	11.08	0.851
850	12.92	0.818	897	10.94	0.852
851	13.50	0.816	898	10.64	0.853
852	14.03	0.814	899	10.33	0.855
853	14.08	0.813			
854	14.08	0.813			
855	13.81	0.814			
856	13.75	0.816			
857	13.75	0.819			
858	13.92	0.823			
859	13.97	0.831			
860	13.75	0.834			
861	13.19	0.841			
862	12.72	0.843			
863	11.81	0.845			
864	11.00	0.846			
865	10.61	0.845			
866	10.78	0.843			
867	11.33	0.84			
868	11.72	0.837			
869	12.17	0.835			
870	12.53	0.834			
871	12.64	0.834			
872	12.69	0.836			
873	12.64	0.838			
874	12.47	0.842			
875	12.06	0.846			
876	11.89	0.849			
877	11.75	0.853			
878	11.64	0.855			
879	11.47	0.857			
880	11.28	0.857			
881	11.14	0.855			
882	10.86	0.852			
883	10.64	0.85			
884	10.39	0.847			
885	10.22	0.844			
886	10.00	0.842			
887	9.69	0.842			
888	9.33	0.843			

LAMPIRAN II

DIAGRAM BLOK SIIMULINK



Diagram Blok SIMULINK Untuk Validasi Model *Water Level*

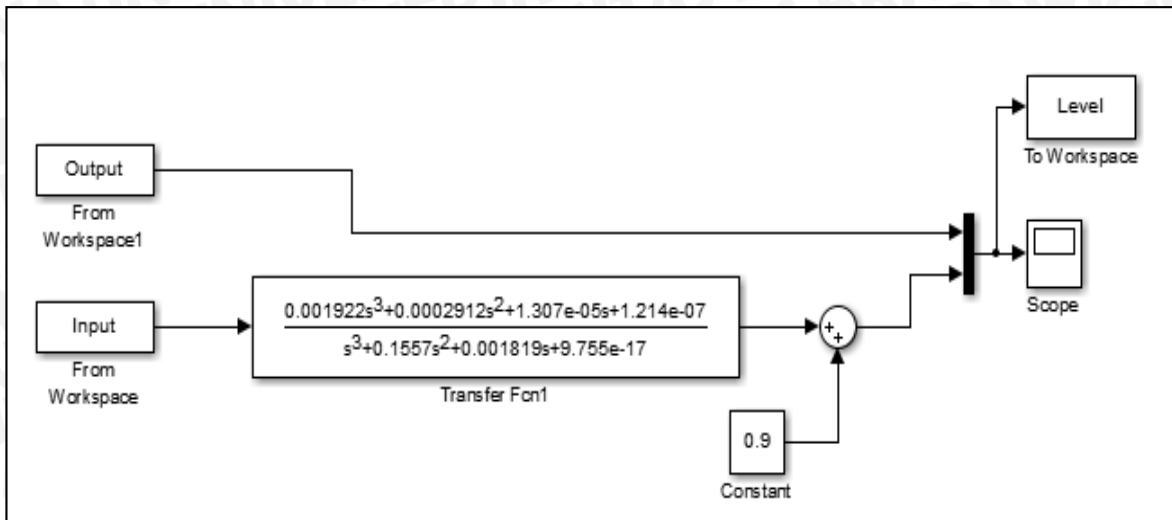


Diagram Blok SIMULINK Untuk *Control Valve*

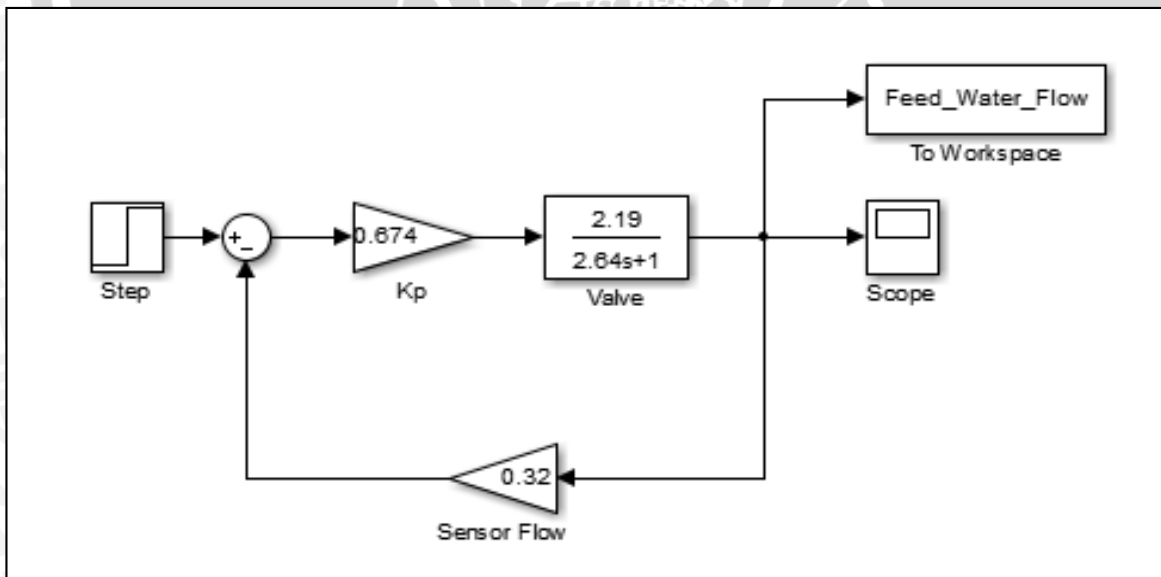


Diagram Blok SIMULINK LQR Mode Pertama

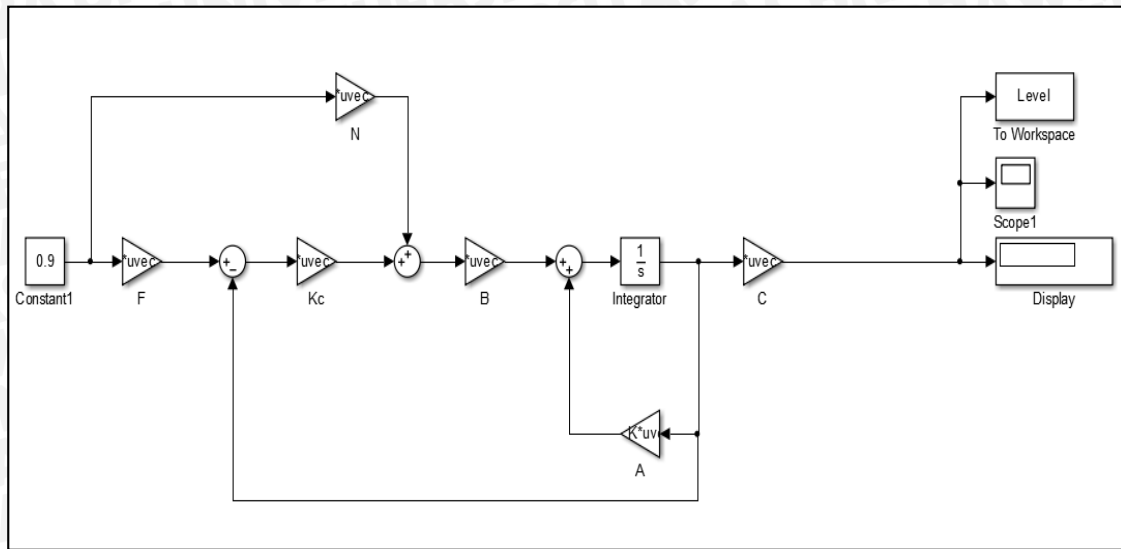


Diagram Blok SIMULINK LQR Mode Dua

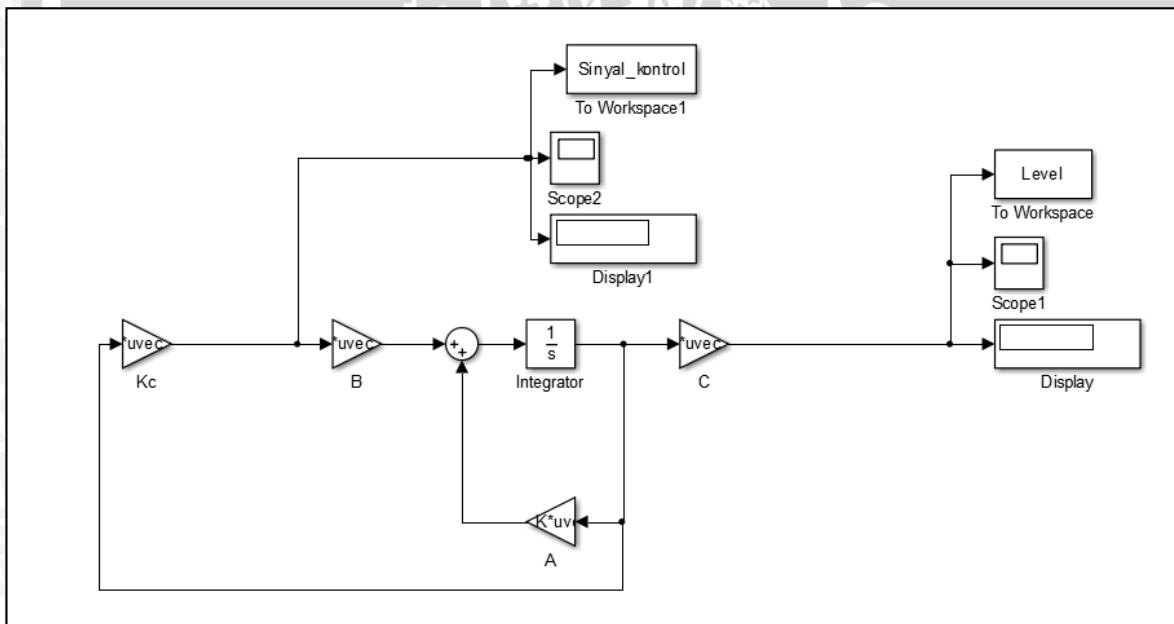
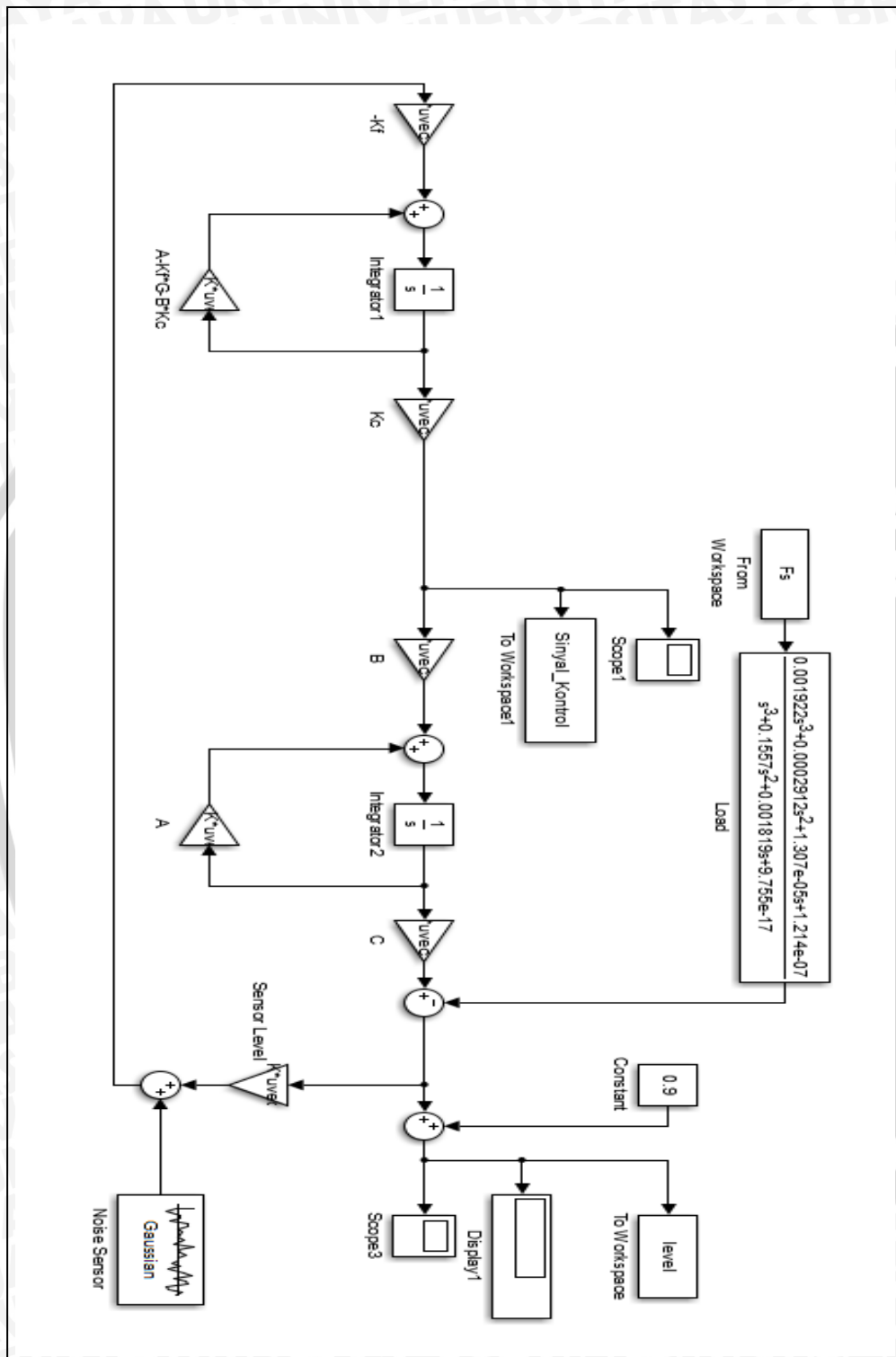


Diagram Blok SIMULINK LQG Mode Kedua



LAMPIRAN III LISTING PROGRAM



MODE PERTAMA

```

Kp=tf(0.674,[0 1]);
Vl=tf(2.19,[ 2.64 1]);
Sf=tf(0.32,[0 1]);%gain sensor flow
Sl=tf(32,[0 1]);%gain sensor level

%fungsi alih steam drum
Nsd=[0.001922 0.0002912 1.307e-05 1.214e-07];
Dsd=[1 0.1557 0.001819 9.755e-17];
Ssd=tf(Nsd,Dsd);

%Penggabungan fungsi alih
H1=feedback(Kp*Vl,Sf);
H2=H1*Ssd;

% %Numerator Denominator fungsi alih gabungan
Ntot=[ 0.002837 0.0004298 1.929e-05 1.792e-07];
Dtot=[ 2.64 1.883 0.234 0.002678 1.436e-16];

% Pembentukan state space
[A,B,C,D]=tf2ss(Ntot,Dtot);
sys=ss(A,B,C,D);

%Keterkontrolan
Co=ctrb(sys);
rank(Co);

Co=[B A*B A*A*B A*A*A*B ];
rank(Co)

%Keteramatan
Ob=obsv(sys);
rank(Ob);

Ob=[C' A'*C' A'*A'*C' A'*A'*A'*C' ];
rank(Ob)

%Mencari LQR |untuk pengisian awal|
q0=1.23;
Q0=C'*q0*C;
R0=0.0009;

[P0,E0,Kc,R0]=care(A,B,Q0,R0);

%Set point nonzero
Temp=inv([A B; C D]);
F=[1 0 0 0 0 ;
  0 1 0 0 0 ;
  0 0 1 0 0 ;
  0 0 0 1 0 ]*Temp*[0;0;0;0;1];
N=[0 0 0 0 1]*Temp*[0;0;0;0;1];

%Matrik Pengukuran
G=C*32;

```



%Mencari Estimator

q1=100;

Qn=B*q1*B' ;

Rn=0.0000005;

[Pe, Ee, Kf, Rn]=care (A', G', Qn, Rn) ;

Kf=Kf' ;

Ae=A-Kf*G-B*Kc;



MODE KEDUA

```

Kp=tf(0.674,[0 1]);
Vl=tf(2.19,[ 2.64 1]);
Sf=tf(0.32,[0 1]);%gain sensor flow
Sl=tf(32,[0 1]);%gain sensor level

%fungsi alih steam drum
Nsd=[0.001922 0.0002912 1.307e-05 1.214e-07];
Dsd=[1 0.1557 0.001819 9.755e-17];
Ssd=tf(Nsd,Dsd);

%Penggabungan fungsi alih
H1=feedback(Kp*Vl,Sf);
H2=H1*Ssd;

% %Numerator Denominator fungsi alih gabungan
Ntot=[ 0.002837 0.0004298 1.929e-05 1.792e-07];
Dtot=[ 2.64 1.883 0.234 0.002678 1.436e-16];

% Pembentukan state space
[A,B,C,D]=tf2ss(Ntot,Dtot);
sys=ss(A,B,C,D);

%Keterkontrolan
Co=ctrb(sys);
rank(Co);

Co=[B A*B A*A*B A*A*A*B ];
rank(Co)

%Keteramatan
Ob=obsv(sys);
rank(Ob);

Ob=[C' A'*C' A'*A'*C' A'*A'*A'*C' ];
rank(Ob)

%Mencari LQR mode 2
q0=100;
Q0=[q0 0 0 0 ;
     0 q0 0 0 ;
     0 0 q0 0 ;
     0 0 0 q0 ];
R0=20000000;
[P0,E0,Kc,R0]=care(A,B,Q0,R0);

%Set point nonzero
Temp=inv([A B; C D]);
F=[1 0 0 0 0 ;
   0 1 0 0 0 ;
   0 0 1 0 0 ;
   0 0 0 1 0 ]*Temp*[0;0;0;0;1];
N=[0 0 0 0 1]*Temp*[0;0;0;0;1];

%Matrik Pengukuran
G=C*32;

```



%Mencari Estimator

q1=100;

Qn=B*q1*B' ;

Rn=0.0000005;

[Pe,Ee,Kf,Rn]=care(A',G',Qn,Rn);

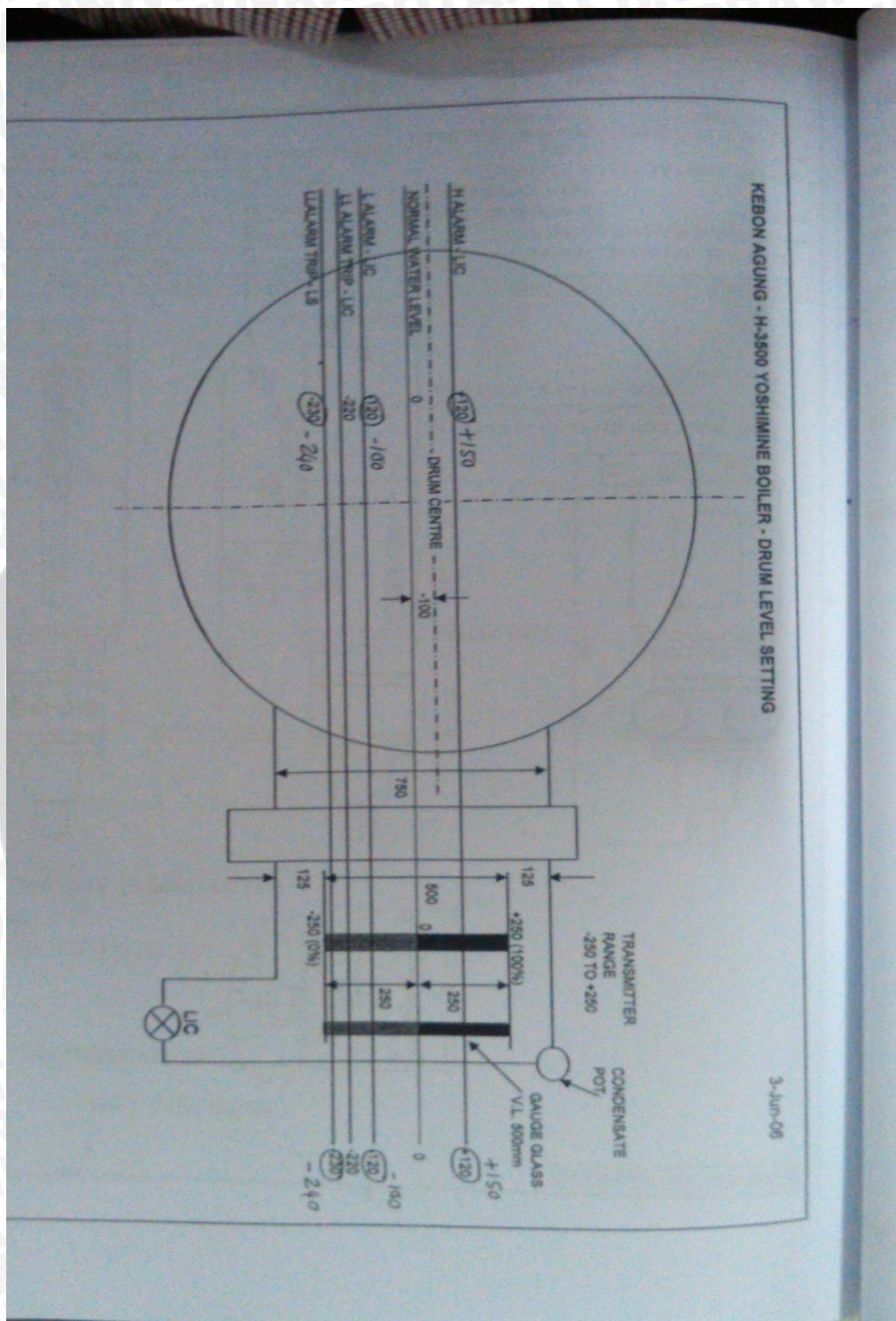
Kf=Kf' ;

Ae=A-Kf*G-B*Kc;



LAMPIRAN IV
DATA SHEET



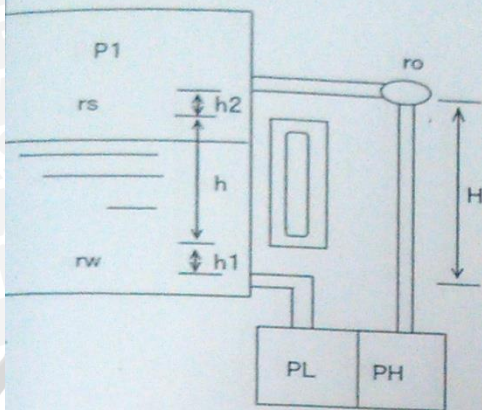


Steam Drum Specification

- Diameter Tangki Tabung : 1600 mm
- Diameter Tangki Bola : 803.4 mm
- Panjang Tabung : 10950 mm

CALCULATION SHEET FOR PRESSURE TANK LEVEL DRUM LEVEL TR.

LT-N-1-19-1



P1: DRUM PRESSURE.	20 kg/cm2G
rw: DENSITY OF SATURATED WATER	0.848 g/cm3ATP
rs: DENSITY OF SATURATED STEAM	0.010350 g/cm3ATP
ro: DENSITY OF REFERENCE LEG	0.9889 g/cm3AT50°C
H: LENGTH OF REFERENCE LEG	750 ✓ mm
h: MEASURING RANGE	500 ✓ mm
h1: LENGTH BETWEEN LOWER TAP AND 0% LEVEL	125 ✓ mm
h2: LENGTH BETWEEN UPER TAP AND 100% LEVEL	125 ✓ mm
PH: HIGH PRESSURE OF D/P CELL	
PL: LOW PRESSURE OF D/P CELL	

THE FOLLOWING EQUATION WILL BE CONSISTED FROM THE ABOVE CONDITIONS.

PH	= P1 + (H × ro) =	761.68
PL MIN	= P1 + (h1 × rw) + (h + h2) × rs =	132.47
PL MAX	= P1 + (h1 + h) × rw + (h2 × rs) =	551.29

THEREFORE

$$\text{LRV} = \text{PH} - \text{PL MIN}$$

$$= h \times (ro - rs) + h1 \times (ro - rw) + h2 \times (ro - rs) = 629.2 \text{ mmH}_2\text{O} \quad \checkmark$$

$$\text{URV} = \text{PH} - \text{PL MAX}$$

$$= h \times (ro - rw) + h1 \times (ro - rw) + h2 \times (ro - rs) = 210.4 \text{ mmH}_2\text{O} \quad \checkmark$$

THEN, THE CALIBRATION OF D/P CELL SHALL BE DONE AS FOLLOWING.

ΔP =	LRV	~	URV	mmH2O / 4-20 mA DC
=	629.2	~	210.4	mmH2O / 4-20 mA DC
=	418.8 (-250	~	250mm)	mmH2O ✓

Muhammad
15/6/2008

ESU-TECH CO., LTD.

OD. NO. :
 TY : 1
 G NO. : LCV-N-1-19-1
 SERVICE : BOILER FEED WATER C. V.

SPECIFICATION>>

DEL. NO. : ACP
 DESCRIPTION : CAGE TYPE CONTROL VALVE WITH PISTON RINGS
 FLANGE SIZE : 5 INCH
 PORT OR CV VALVE : 5 INCH
 DESIGN RATING : JIS30K
 END CONNECTION : RF
 BODY MATERIAL : SCPH2
 SEAT MATERIAL : A351CF8M+STELLITE SEAT NO. 6
 SEAT CHARACTERIS. : XV
 SEAT TYPE : PLAIN TYPE
 ACTUATOR : HA3R
 MANUAL OPERATOR : SIDE HANDLE
 FLANGE ACTION : AIR TO OPEN
 GASKET AND PACKING : PTFE
 GASKET : V543, V8590
 RELEASE : WITH OUT
 INLET SUPPLY : 270kPa
 PRESSURE RANGE : 80-240kPa

COLOR>>

BODY : M10B5/10
 DIAPHRAGM CASE : M10B5/10
 GASKET : M10B5/10

ACCESSORY>>

POSITIONER : AVP300-XSD2A-1CYT-1
 INPUT SIGNAL : 4~20mADC
 REGULATOR : KZ03-2A-XX
 TY : 1

OPERATING CONDITION>>

MEDIUM : BOILER FEED WATER
 FLOW RATE : 120 / / t/h
 PRESSURE P1 : 24 / / kgf/cm²
 PRESSURE P2 : 23 / / kgf/cm²
 FF. PRESS. NOR : 1 / / kgf/cm²
 FF. PRESS. MAX : 25 / / kgf/cm²
 TEMPERATURE : 105 °C
 TEMPERATURE SELECTED : 250
 TEMPERATURE CALCULATED : 143.31

0602-061

: VINYL COVERED AIR TUBE WITH DOUBLE JOINT

PROJECT NO.		JOB NO.	PAGE L/1		INSTRUMENT SPECIFICATIONS	
DESCRIPTION DRUM LEVEL TR.		MODEL NO. JTD920A-1E1B1-XXXX1-T1U2		QTY 1		
TAG NO.	RANGE 629.2~210.4mmH2O	TYPE	A MODEL MVG1-1SA-X-A	QTY 1		
LT-N-1-19-1	(-250~250mm)	INPUT	DESCRIPTION MANIFOLD VALVE	DRAWING NO. ED-526101-1	PAGE L1-1	
		OUTPUT 4~20mADC	CONT.MODE	YSPEC NO.	CALCULATION SHEET L1-2	
MATERIAL BODY/TRIM SUS316	PROCESS CONNECTION RC 1/2	CHART/L.CAP.	SP.GRT NO./COUNT/FACTOR		ED-519031-1 L2	
VOL. (STD) Y 100%) P.S. (2 4) V () Hz DC MOUNT (LOCAL) D.F. CON(TOP) B.TM. BACK)				ED-CBH000		L3
CONDENSER CBH-SF × 1pc						

PROJECT NO.		JOB NO.	PAGE L/1		INSTRUMENT SPECIFICATIONS	
DESCRIPTION STEADY WATER FLOW TR.		MODEL NO. JTD920A-1E1B1-XXXX1-T1U2		QTY 1		
TAG NO.	RANGE 0~5200mmH2O	TYPE	A MODEL MVG1-1SA-X-A	QTY 1		
FTN-1-19-2	(0~180t/h)	INPUT	DESCRIPTION MANIFOLD VALVE	DRAWING NO. ED-526101-1	PAGE L1-1	
		OUTPUT 4~20mADC	CONT.MODE	YSPEC NO.	ED-519031-1 L2	
MATERIAL BODY/TRIM SUS316	PROCESS CONNECTION RC 1/2	CHART/L.CAP.	SP.GRT NO./COUNT/FACTOR			
VOL. (STD) Y 100%) P.S. (2 4) V () Hz DC MOUNT (LOCAL) D.F. CON(TOP) B.TM. BACK)						
CONDENSER CBH-SF × 1pc						

