

TESIS

**OPTIMALISASI KUALITAS INTAKE
DEMINERALIZATION PLANT BERDASARKAN
PARAMETER OPERASI MENGGUNAKAN SYTEM
DYNAMICS
(STUDY KASUS DI *REFINERY UNIT V* BALIKPAPAN)**



ZUHRI SWIDHONARKO

11916209

**PROGRAM PASCA SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2016

**OPTIMALISASI KUALITAS INTAKE
DEMINERALIZATION PLANT BERDASARKAN
PARAMETER OPERASI MENGGUNAKAN SYTEM
DYNAMICS**

(STUDY KASUS DI *REFINERY UNIT V* BALIKPAPAN)

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Magister
Program Pascasarjana Magister Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

ZUHRI SWIDHONARKO

11916209

**PROGRAM PASCA SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2016



*Kupersembahkan untuk Istri dan Anak-Anakku,
Dewi Susiami, S/P,
Muhammad Zahran Salthan Shafiq, Siti Annisa Dewi Zahara, dan Keanu Shakti Wibisono*

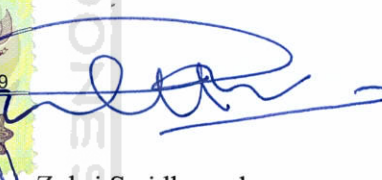
*"Bersabarlah ketika 'Sayapmu' patah,
dan sekali lagi berjuanglah agar kamu dapat 'Terbang',
jauh lebih tinggi dari sebelumnya*

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah buatan saya sendiri, kecuali untuk pendapat atau tulisan yang telah saya kutip dan saya cantumkan dalam daftar pustaka. Jika dikemudian hari diketahui bahwa tulisan saya adalah tidak benar dan atau melanggar peraturan, saya bersedia jika Universitas Islam Indonesia membatalkan gelar yang saya peroleh sebelumnya.

Yogyakarta, Oktober 2016




Zuhri Swidhonarko
NIM: 11916209

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil ‘Aalamiin, Segala Puji hanya bagi Allah Tuhan Semesta Alam. Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul : **OPTIMALISASI INTAKE DEMINERALIZATION PLANT BERDASARKAN PARAMETER OPERASI MENGGUNAKAN SYTEM DYNAMICS (STUDY KASUS DI REFINERY UNIT V BALIKPAPAN)**. Tak lupa penulis ucapkan terimakasih atas bimbingan, arahan dan dukungannya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Drs. Imam Djati. M.Eng.Sc selaku Dosen pembimbing.
2. Seluruh jajaran Direksi, Dosen, Staff Magister Teknik Industri dan Kepala Laboratorium Pemodelan beserta Asisten Laboratorium terutama Mas Aqmar.
3. Kedua orang tua penulis Ayahanda Dohri Setiabudi dan Ibunda Sumarjati, istri dan anak tersayang Dewi Susiami. S.IP, Muhammad Zahran Sulthan Shafiy, Siti Annisa Dewi Zahura, dan Keanu Shakti Wibisono yang telah memberikan segalanya untuk penulis
4. Kepala Bagian dan Rekan – rekan kerja di Bagian Utilities PT. Pertamina RU V Balikpapan.
5. Rekan penulis Bapak Resmihadi. SST, MT, Aqmar Makhfud, serta Faris Rijalurahman.
6. Rekan – rekan angkatan XI Magister Teknik Industri UII.
7. Pihak pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga laporan ini dapat penulis selesaikan.

Semoga Allah SWT berkenan memberikan balasan terbaik atas kebaikan Bapak, Ibu dan Saudara - saudara semua. Akhir kata, penulis menyadari tesis ini masih belum sempurna, oleh karenanya kritik dan saran yang membangun akan kami terima.

Yogyakarta, Oktober 2016

Zuhri Swidhonarko

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	7
1.6 Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Tipe-tipe Boiler	10
2.2 Air	13
2.3 Kebutuhan Pengolahan Air untuk Boiler.	15
2.4 Sistem Pengolahan Air	16
2.5 Hukum Stokes	19
2.6 System Dynamics	19
2.7 Struktur dalam System Dymanics	21
2.8 Prosedur Pemodelan System Dymanics	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Lokasi Penelitian	27
3.2 Variable Penelitian	27
3.3 Kerangka Konseptual Penelitian	28
3.4 Jenis Data Penelitian	29
3.5 Metode Pengumpulan Data	30

3.6	Prosedur Penelitian	30
3.7	Pengolahan Data	31
BAB IV ANALISIS DAN PENGOLAHAN DATA		33
4.1	Pengamatan Data	33
4.1.1	Data Primer	33
4.1.2	Data Sekunder	33
4.1.3	Data Operasional	33
4.1.4	Uji Normalitas Data	35
4.2	Pengolahan Data	35
4.2.1	Identifikasi Permasalahan	35
4.2.2	Membangun Model Simulasi	36
4.2.3	Model Kebutuhan Tawas dan PAC	40
4.3	Hasil Simulasi	44
4.3.1	Parameter Operasi	44
4.4	Validasi	48
4.5	Desain Eksperimen	53
BAB V PEMBAHASAN		61
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		63
6.1	Kesimpulan	63
6.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Persyaratan Kualitas Air Minum Menteri Kesehatan (Dame Tua, Frans Hot, 2015)	2
Tabel 1.2.	Permasalahan dalam pengoperasian sistem boiler dan penyebabnya (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999)	4
Tabel 2.1.	Contoh Kualitas Air Baku (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999)	15
Tabel 2.2.	Perbedaan utama antara air permukaan dengan air tanah (Tschobanoglous, 1986)	18
Tabel 4.1.	Data Air Intake WTP-I	34
Tabel 4.2.	Uji Normalitas Data Operasi	35
Tabel 4.3.	Data Injeksi tawas dan PAC	50
Tabel 4.4.	Uji Normalitas Injeksi Tawas	51
Tabel 4.5.	Uji <i>paired sample T test</i> Injeksi Tawas	52
Tabel 4.6.	Uji Normalitas Injeksi PAC	52
Tabel 4.7.	Uji <i>paired sample T test</i> Injeksi PAC	53
Tabel 4.8.	Turbidity Sebelum dan Sesudah Perubahan	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hubungan antara Luas Permukaan Panas dan Laju Penguapan dari Fire and Flue-Tube Boilers (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999)	11
Gambar 2.2. Aliran Pembakaran Gas dalam Fire and Flue-Tube Boilers (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999)	11
Gambar 2.3. Hubungan antara Luas Permukaan Panas dan Laju Penguapan dari Water-Tube Boilers (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999)	12
Gambar 2.4. Tipikal Struktur dari <i>Water-Tube Boilers</i> kapasitas kecil sampai menengah (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999)	13
Gambar 2.5. Skema Pengolahan Air Bersih secara Konvensional	17
Gambar 2.6. Skema Pengolahan Air Sumur Secara Konvensional (Qasim et al, 1985)	18
Gambar 2.7. Jenis Hubungan Positif dari Sistem	22
Gambar 2.8. Jenis Hubungan Negatif dari Sistem	22
Gambar 2.9. Contoh Aliran dalam Sistem	24
Gambar 2.10. Diagram Delay	24
Gambar 2.11. Flow Chart Pembuatan Model dalam System Dynamics	25
Gambar 3.1. Kerangka Konsep Penelitian	28
Gambar 3.2. Bagan Alir Pengolahan Data	32
Gambar 4.1. <i>Causal Loop Diagram</i>	36
Gambar 4.2. <i>Flow Diagram</i> Simulasi Kebutuhan Bahan Kimia	37
Gambar 4.3. <i>Flow Diagram</i> Simulasi Kebutuhan NaOH	38
Gambar 4.4. <i>Flow Diagram</i> Simulasi Kebutuhan Tawas dan PAC	40
Gambar 4.5. Perubahan konsentrasi [OH-] terhadap kebutuhan caustic soda	45
Gambar 4.6. Perubahan pH setelah penambahan caustic soda	46
Gambar 4.7. Perubahan Total Suspended Solid (TSS) terhadap kebutuhan Tawas	46
Gambar 4.8. Perubahan Total Suspended Solid (TSS) terhadap kebutuhan PAC	47
Gambar 4.9. Perubahan Turbidity setelah penambahan Tawas dan PAC	47
Gambar 4.10 <i>Flow Diagram</i> Desain Eksperimen	55
Gambar 4.11 Turbidity Sebelum dan Sesudah Perubahan	59

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Causal Loop Diagram WTP-I
- Lampiran 2. Flow Diagram Simulasi Kebutuhan Bahan Kimia
- Lampiran 3. Flow Diagram Desain Eksperimen
- Lampiran 4. Hasil Simulasi Kebutuhan NaOH
- Lampiran 5. Hasil Simulasi Kebutuhan Tawas dan PAC
- Lampiran 6. Hasil Simulasi Turbidity Juli 2016
- Lampiran 7. Hasil Simulasi Turbidity September 2016



ABSTRAK

Utilities Section di Kilang Pertamina Refinery Unit V Balikpapan merupakan suatu bagian yang menyediakan air bersih dan air laut yang digunakan sebagai air konsumsi (air minum), air bersih, air industri, air pendingin, dan air umpan *boiler*, kemudian mengolah air umpan *boiler* menjadi uap, membangkitkan listrik menggunakan turbin generator, serta mendistribusikan produk air industri dan air pendingin, uap, dan listrik untuk keperluan Kilang Minyak, perumahan karyawan, serta beberapa fasilitas umum dan sosial.

Kebutuhan bahan kimia sebagai koagulan sangat penting digunakan pada unit pengolahan air bersih. Kebutuhan koagulan yang akan digunakan dalam pengolahan air telah dilakukan uji dengan menggunakan jar tes untuk menentukan jumlah optimum yang akan diinjeksikan. Namun dengan menggunakan jar tes, dibutuhkan waktu paling tidak 2 jam untuk melakukan perubahan kondisi operasi. Dalam penelitian ini kebutuhan koagulan di hitung dan disimulasikan menggunakan model system dynamics. Software system dynamics yang digunakan Powersim Studio 2005. Model yang dibuat menggunakan komposisi aliran air umpan, pH umpan, dan turbidity umpan dengan berdasarkan kondisi operasi actual. Dari model simulasi yang dilakukan, dapat ditentukan kebutuhan caustic soda, tawas, dan PAC secara simulasi. Disamping itu melalui desain eksperimen dibuat kondisi tambahan dengan cara memperpanjang waktu pengendapan air produk dengan memanfaatkan *buffer tank*, dengan menambahkan waktu pengendapan selama 12 jam dapat menurunkan turbidity air produk menjadi dibawah 1 NTU.

ABSTRACT

Utilities Section in Pertamina Refinery Unit V Balikpapan is a section providing clean water and seawater used as water consumption (drinking water), industrial water, cooling water and boiler feed water, and then processing boiler feed water into steam, generate electricity using a turbine generator, as well as distributes products of industrial water and cooling water, steam, and electricity for the purposes of Oil Refinery, employee housing, as well as several public and social facilities.

Chemical needs as very important coagulant used in Water Treatment Plant. Coagulant agent that is used in Water Treatment Plant must be tested using a jar test analysis to determine the optimum amount of chemical to be injected. But by using the jar test, it takes at least 2 hours to make changes to the operating conditions. In this study coagulant needs were calculated and simulated using system dynamics models. System dynamics Software used Powersim Studio 2005. Models created using the composition of feed water flow, pH and turbidity parameter of feed water based on actual operating conditions. From the model of the simulation, can be determined needs of Natrium Hydroxide, Alumunium Shulphate and Poly Alumunium Carbonate (PAC) simulated. Besides, through the design of experiments made additional conditions by extending the time of deposition of the product by utilizing water buffer tank, by adding a settling time of 12 hours can reduce product water turbidity to below 1 NTU.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam bisnis kilang modern yang sangat dinamis dan kompetitif, mendorong kilang-kilang kelas dunia terus berusaha memperbaiki kinerja operasionalnya, agar mampu memenangkan persaingan.

Kilang Minyak PT Pertamina (Persero) saat ini sedang melakukan proses transformasi menuju kilang kelas dunia. Upaya yang ditempuh antara lain dengan membangun sistem manajemen energi yang dikelola dengan baik dan berkelanjutan. Kilang Pertamina Refinery Unit V Balikpapan sebagai bagian dari Kilang Minyak yang dimiliki oleh PT. Pertamina (Persero) tidak terkecuali juga menjalankan program manajemen energy bersinergi dengan program *Energy Management System* (EMS) dari Direktorat Pengolahan (Anonim c, 2013). *Energy Management System* adalah system terkendali yang menjadi bagian dari organisasi untuk menerapkan manajemen energy dan peningkatan efisiensi secara berkesinambungan (Anonym c 2013, Ernst Worrell and Christina Galitsky, 2005). Penerapan EMS menjadi bagian penting Pertamina untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energy dan sumber daya pendukungnya termasuk salah satu didalamnya adalah air yang berperan penting untuk membantu proses pengolahan di Kilang Minyak.

Air merupakan unsur penting dalam kehidupan. Hampir seluruh kehidupan di dunia ini tidak terlepas dari adanya unsur air ini. Sumber utama air yang mendukung kehidupan di bumi ini adalah laut, dan semua air akhirnya akan kembali ke laut yang bertindak sebagai “*reservoir*” atau penampung. Air dapat mengalami daur hidrologi. Selama menjalani daur itu air selalu menyerap zat-zat yang menyebabkan air itu tidak lagi murni. Oleh karena itu, pada hakekatnya tidak ada air yang betul-betul murni (S.B, Atastina, et.al, 2008).

Air banyak dimanfaatkan di dalam setiap aspek kehidupan. Di dalam rumah tangga, air dipakai untuk dikonsumsi (air minum) dan juga dalam kebersihan. Di dalam industri-industri air dipakai sebagai air pendingin, pembangkit energi, dan bahkan sebagai bahan baku utama dalam industri tersebut. Air juga dapat dipakai sebagai sumber pembangkit listrik (air terjun, ombak, dll.). Dalam pemanfaatannya, air memiliki berbagai kriteria, dan kriteria-kriteria tersebut sangat bergantung kepada tempat dan tujuan air tersebut dimanfaatkan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia mengeluarkan peraturan tentang Persyaratan Kualitas Air Minum yang diantaranya berisi parameter-parameter wajib untuk air minum yang disajikan pada Tabel 1 (*Dame Tua, Frans Hot, 2015*).

Tabel 1.1. Persyaratan Kualitas Air Minum Menteri Kesehatan (Dame Tua, Frans Hot, 2015)

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1. E. Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2. Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1. Arsen	mg/l	0,01
	2. Fluorida	mg/l	1,5
	3. Total Kromium	mg/l	0,05
	4. Kadmium	mg/l	0,003
	5. Nitrit, (sebagai NO ₂ -)	mg/l	3
6. Nitrat, (sebagai NO ₃ -)	mg/l	50	
7. Sianida	mg/l	0,07	
8. Selenium	mg/l	0,01	
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1. Bau		Tidak berbau
	2. Warna	TCU	15
	3. Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
4. Kekeruhan	NTU	5	

	5. Rasa		Tidak berasa
	6. Suhu	°C	Suhu udara + 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1. Aluminium	mg/l	0,2
	2. Besi	mg/l	0,3
	3. Kesadahan	mg/l	500
	4. Klorida	mg/l	250
	5. Mangan	mg/l	0,4
	6. pH		6,5-8,5
	7. Seng	mg/l	3
	8. Sulfat	mg/l	250
	9. Tembaga	mg/l	2
	10. Amonia	mg/l	1,5

Berdasarkan data statistik 1995, persentase rumah tangga dan sumber air minum yang digunakan adalah sebagai berikut : air ledeng 16,08%, air tanah dengan pompa 11,61%, air sumur 49,92%, mata air 13,92%, air sungai 4,91%, air hujan 2,62%, dan lainnya 0,8% (*Dame Tua, Frans Hot, 2015*).

Penggunaan air di industri juga menuntut syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada alat-alat di industri. Dalam industri, khususnya di Kilang Minyak, air biasa dipakai untuk umpan *boiler*. Air dipanaskan sampai mencapai suhu dan tekanan tinggi menjadi uap lewat jenuh (*superheated steam*), kemudian uap tersebut dilewatkan ke turbin untuk menghasilkan kerja yang memutar generator. Generator kemudian menghasilkan energy utamanya adalah energy listrik. Sementara air yang digunakan sebagai umpan boiler tersebut harus memiliki kemurnian yang tinggi, karena jika tidak, air akan menimbulkan banyak permasalahan di dalam peralatan *boiler* dan turbin generator, seperti kerak, korosif, dan lain-lain (*Dame Tua, Frans Hot, 2015*).

Air sebagai umpan *boiler* harus dilakukan pengolahan khusus terlebih dahulu sebelum diumpankan ke *boiler*, pengolahan tersebut selain digunakan untuk mencegah terjadinya permasalahan tersebut diatas (kerak, korosi, dan lain-lain), juga digunakan untuk pengoperasian *boiler* yang aman dan efisien. Aplikasi pengolahan air (*water treatment*) yang sesuai dibutuhkan oleh setiap boiler. Proses pengolahan air

untuk *boiler* dibagi ke dalam 2 (dua) jenis pengolahan yaitu pengolahan eksternal (mekanikal) dan internal (kimiawi / *chemical*) (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

Pengolahan mekanis digunakan untuk menghilangkan kandungan impurities dalam air dengan menggunakan koagulan, sedimentasi, filtrasi, pertukaran ion (*ion exchange*), deaerasi, dan lain-lain. Sedangkan pengolahan kimiawi dibagi menjadi : pengolahan untuk air umpan *boiler* dan aliran kondensat, serta pengolahan untuk air *boiler* itu sendiri. Pengolahan kimiawi untuk air umpan *boiler* dan aliran kondensat bertujuan untuk mengontrol laju korosi dengan penambahan *oxygen scavengers* dan *corrosion inhibitors* kedalam aliran dan air suplai yang mengandung sedikit impurities menuju *boiler*. Sedangkan *Boiler compounds*, *oxygen scavengers*, *sludge dispersants*, dan lain-lain digunakan sebagai bahan kimia di boiler itu sendiri. Bahan-bahan kimia tersebut digunakan untuk mencegah korosi dan komponen pembentukan kerak yang tidak terlarut dan partikel terdispersi serta memudahkannya untuk dikeluarkan melalui *blowdown* (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

Penggunaan air umpan *boiler* tanpa pengolahan khusus dapat mengakibatkan berbagai permasalahan seperti kerak, korosi, dan terbawanya partikel kedalam *boiler* dan peralatan pendukungnya. Berikut adalah berbagai contoh permasalahan yang timbul dalam *boiler* akibat dari air umpan (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

Tabel 1.2. Permasalahan dalam pengoperasian sistem boiler dan penyebabnya (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

Klasifikasi Permasalahan	Permasalahan Pada Operasional Boiler System	Penyebab Permasalahan
Kerak	<ul style="list-style-type: none"> - Pengurangan efisiensi boiler akibat dari daya rekat <i>hardness</i> atau kerak silika - Ekspansi atau pecahnya tubing penguapan karena daya rekat timbunan kerak 	<ul style="list-style-type: none"> - Kebocoran akibat <i>hardness</i> dan / atau silika dari <i>softener</i> atau <i>demineralizer</i> - kontrol kualitas yang tidak memadai dari air umpan atau air <i>boiler</i> - Aplikasi pengolahan

		kimiawi yang tidak memadai
Korosi	<ul style="list-style-type: none"> - kerusakan korosi perpipaan air umpan dan kondensat, tubing penguapan, dll, oleh oksigen terlarut dan / atau karbon dioksida - kerusakan korosi tubing penguapan akibat dari pengendapan oksida logam 	<ul style="list-style-type: none"> - kecukupan deaerasi air umpan - Penurunan pH air boiler atau pH kondensat - kontaminasi besi pada air umpan dari pipa kondensat - Oksigen yang masuk ke <i>boiler</i> selama waktu idle
Terbawanya partikel	<ul style="list-style-type: none"> - Penurunan kemurnian uap - Penurunan efisiensi turbin oleh kerak silika - Penurunan kualitas produk yang diolah dengan uap 	<ul style="list-style-type: none"> - fluktuasi yang cepat dari beban operasi boiler - kelebihan konsentrasi air boiler - air boiler yang terkontaminasi dengan bahan organik

Pada pengolahan air baku dan air umpan *boiler*, proses koagulasi, sedimentasi, filtrasi, ion exchange, proses deaerasi, dan lain-lain dapat di aplikasikan secara terpisah atau dikombinasikan tergantung daripada kualitas air baku serta tujuan dari pengolahannya. Berdasarkan uraian tersebut diatas dapat dinyatakan bahwa air umpan *boiler* berperan sangat penting dalam proses pengolahan uap dan penggunaannya pada peralatan pendukung operasional di dalam dunia industri pada umumnya dan Kilang Minyak pada khususnya. Pengolahan air yang baik sangat dibutuhkan untuk menghasilkan air umpan *boiler* yang memenuhi persyaratan, untuk itu dibutuhkan fasilitas penunjang dan operasional yang memadai.

1.2. Rumusan Permasalahan

Utilities Section di Kilang Pertamina Refinery Unit V Balikpapan merupakan suatu bagian yang menyediakan air bersih dan air laut yang digunakan sebagai air konsumsi (air minum), air bersih, air industri, air pendingin, dan air umpan *boiler*, mengolah air umpan *boiler* menjadi uap, membangkitkan listrik menggunakan turbin

generator, serta mendistribusikan produk air industri dan air pendingin, uap, dan listrik untuk keperluan Kilang Minyak, perumahan karyawan, serta beberapa fasilitas umum dan sosial. *Sub-section Process Water* merupakan bagian dari *Utilities Section* dan bertugas sebagai penyedia air konsumsi (air minum), air bersih, air industri, air pendingin, dan air umpan *boiler*. Sebagai unit penyedia air, *sub-section Process Water* mengolah air tawar dan air laut, dimana sumber air tawar ada 2 (dua) sumber yaitu dari air sungai dan dari air sumur dalam (*deepwell*) yang diolah dulu pada 2 (dua) unit Water Treatment terpisah. Sedangkan sumber air laut berasal dari air laut di Teluk Balikpapan yang kemudian di proses awal dengan metode penyaringan dan sebagian langsung di distribusikan sebagai air pendingin, sebagian lainnya dilakukan proses penghilangan kandungan garam-garam mineralnya di unit *Sea Water Desalination* (SWD) I & II.

Sebagai unit penyedia air, *sub-section Process Water* berkewajiban menyediakan air umpan boiler yang memenuhi spesifikasi. Dalam prosesnya, air dari sungai dan dari sumur dalam kemudian dilunakan dengan proses pertukaran ion (*ion exchange*) di *Demineralization Unit* secara parallel dan diumpankan secara bergantian. Air yang sudah dihilangkan kandungannya di SWD I dilakukan sedikit pelunakan (*polishing*) di unit *Polisher*, sementara air dari SWD II sudah dapat langsung dimasukan kedalam tangki penampung sebagai umpan *boiler*.

Seiring berjalannya waktu air output dari WTP I & II yang menuju *Demineralization Plant* mengalami penurunan kualitas yang ditandai dengan naiknya parameter penting dalam operasional seperti *turbidity* (> 2 NTU actual vs max 1 NTU desain) dan *conductivity* (> 150 $\mu\text{s}/\text{cm}$ actual vs max 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ desain). Ada beberapa kemungkinan penyebab kenaikan parameter tersebut antara lain : perubahan komposisi air baku, ketidaksesuaian dosing bahan kimia, serta *mall function* pada peralatan proses. Hal ini menarik penulis untuk melihat hubungan parameter pada pengoperasian Water Treatment Plant dengan *Demineralization Plant*, khususnya pada proses penyiapan air umpan ke *Demineralization Plant* itu sendiri. Jika dapat dijelaskan dengan baik perubahan pola operasi terhadap kualitas air umpan

Demineralization Plant diharapkan fokus peningkatan kualitas dan kuantitas dapat dilakukan lebih tepat sasaran.

Dengan metode yang tepat sasaran, akan lebih mudah dalam membuat prioritas *maintenance* atau prioritas lainnya dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas hubungannya dengan air umpan *boiler*, sehingga berujung pada meningkatnya efisiensi *boiler* itu sendiri. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana model yang terbentuk dari hubungan antar variabel untuk peningkatan kualitas air umpan *Demineralization Plant*?
2. Mencari solusi perbaikan untuk meningkatkan kualitas air umpan *Demineralization Plant*?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan terhadap masalah diatas bertujuan untuk :

1. Terbentuknya model hubungan sebab akibat (Causal Loop Diagram).
2. Menentukan skenario perbaikan untuk meningkatkan kualitas air umpan *Demineralization Plant*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah menentukan prioritas peningkatan variabel atau perubahan pola operasi yang sesuai agar kualitas dan kuantitas air umpan *Demineralization Plant* dapat ditingkatkan.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak meluas, dalam penelitian ini perlu adanya penentuan batasan masalah sehingga fokus pada pengkajian yang akan dilaksanakan sehingga tujuan penelitian dapat sesuai sasaran. Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan pada penyiapan air umpan *Demineralization Plant* di Kilang Minyak Refinery Unit V Balikpapan.
2. Penelitian difokuskan pada penentuan pola operasi yang tepat dengan memanfaatkan kondisi peralatan yang ada terhadap kualitas dan kuantitas air umpan *Demineralization Plant*.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh Gambaran yang sistematis dari penulisan laporan penelitian ini, maka penulisannya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang penelitian, batasan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Dengan uraian ini diharapkan hasil penelitian dapat mencapai tujuan penulisan dan sasaran yang hendak dicapai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Diuraikan tentang dasar teori, konsep, atau prinsip dasar serta teori-teori pengolahan air umpan *Demineralization Plant*. Tinjauan pustaka digunakan untuk memecahkan masalah yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Sehingga diharapkan mampu mengungkap hubungan perubahan pola operasi dengan peningkatan kualitas dan kuantitas. Pada penulisan ini tinjauan pustaka sebagian besar diperoleh dari pedoman-pedoman proses pengolahan air dan beberapa hasil kajian dari beberapa penulis.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang langkah penelitian yang diperlukan agar tujuan penelitian dapat dicapai. Langkah-langkah metode penelitian meliputi

rancangan penelitian, subyek penelitian, variabel penelitian, pengumpulan data dan prosedur penelitian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

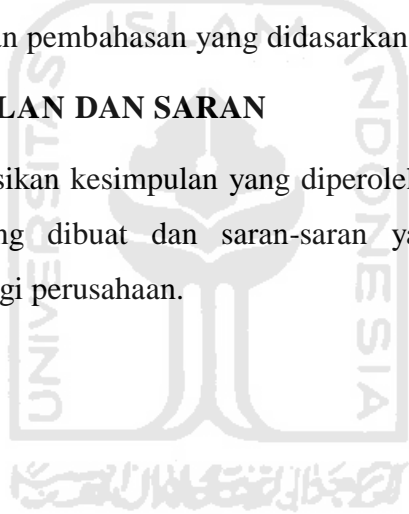
Berisi tentang data-data penelitian, menguraikan sumber data, cara pengambilan data dan metode pengolahannya.

BAB V ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Melakukan analisis dan pembahasan data yang diperoleh pada penelitian. Sehingga masalah yang diteliti dapat dilakukan secara akurat dengan pembahasan yang didasarkan pada tujuan penulisan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari analisis pemecahan masalah yang dibuat dan saran-saran yang dikemukakan untuk perbaikan bagi perusahaan.



BAB II

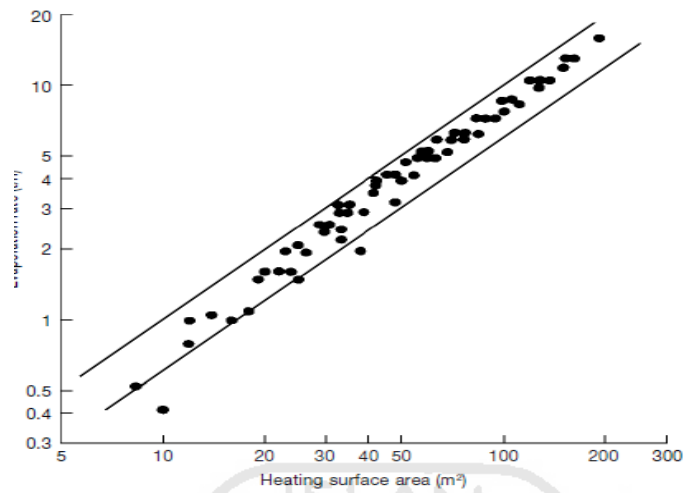
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tipe-tipe Boiler

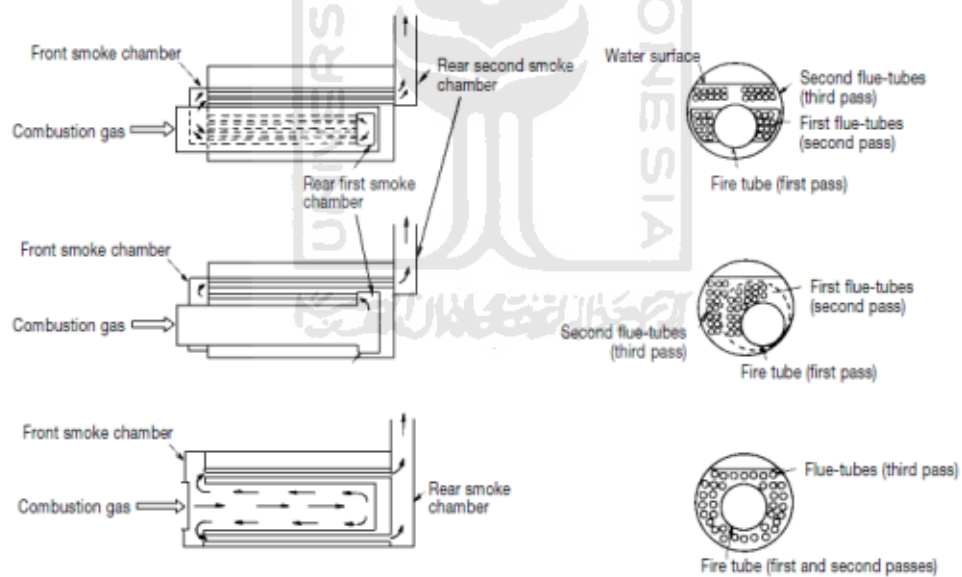
Boiler digunakan untuk memanaskan air untuk pembangkit uap atau produksi air panas. Ada beberapa tipe *boiler* tergantung dari kegunaannya. *Boiler* diklasifikasikan berdasarkan struktur, metode sirkulasi airnya, tipe bahan bakar yang digunakan, dan jenis material yang digunakan. Secara umum, *boiler* diklasifikasikan menjadi *cylindrical boilers* dan *water-tube boilers*.

A. *Cylindrical Boilers*

Cylindrical Boilers merupakan *boiler* tipe vertical, *flue-tube boilers*, *fire-tube boilers*, dan gabungan *fire and flue-tube boilers*. Baru-baru ini di Jepang, tipe *fire and flue-tube boiler* telah berkembang pada laju penguapan dan efisiensi. Laju penguapan per satuan luas permukaan perpindahan panas 30 sampai 65 kg / m² • h sekitar 25 tahun yang lalu. Namun, telah meningkat menjadi 60 sampai 100 kg / m² • h seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, dan efisiensi boiler juga telah meningkat menjadi sekitar 80 sampai 90% pada saat ini. *Fire and flue-tube boilers* umumnya memiliki kapasitas penguapan di bawah 1 T/jam sampai 20 T/jam dengan tekanan operasi hingga 10 kgf/cm². Gambar 2 menunjukkan contoh khas dari aliran gas pembakaran dalam *fire and flue-tube boilers* (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).



Gambar 2.1. Hubungan antara Luas Permukaan Panas dan Laju Penguapan dari *Fire and Flue-Tube Boilers* (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

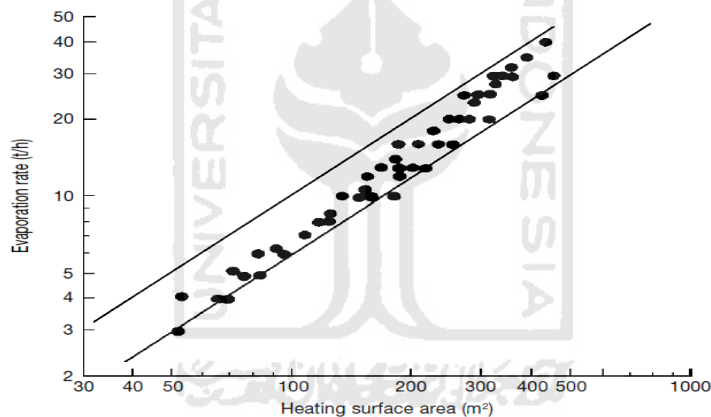


Gambar 2.2. Aliran Pembakaran Gas dalam *Fire and Flue-Tube Boilers* (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

B. *Water-Tube Boilers*

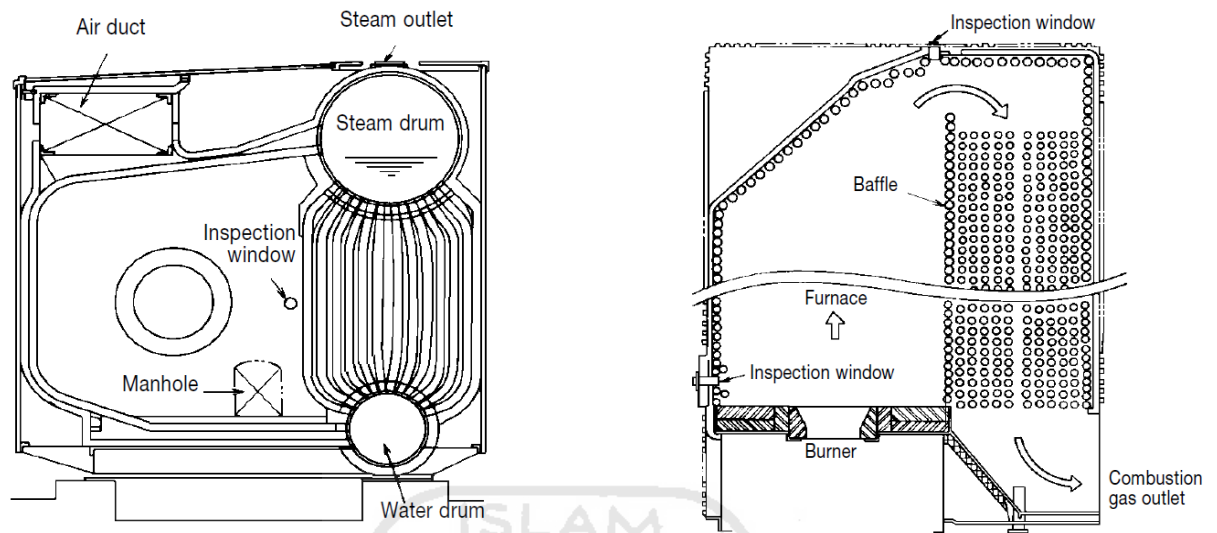
Water-tube boilers menguapkan air didalam permukaan panas *tube*. Luas area permukaan panas dalam boiler ini dapat dibuat besar dengan dengan cara

penambahan jumlah *tube bundles*, sehingga pengoperasian dengan tekanan tinggi sangat mudah dicapai. Dengan demikian, *boiler* dengan jenis ini banyak digunakan di dunia, lingkup operasinya dari kapasitas rendah atau menengah di industri pada umumnya hingga kapasitas besar untuk pembangkit listrik. Untuk ukuran kecil dan menengah kapasitas penguapannya mulai 50 t/jam atau yang lebih rendah, laju penguapan per unit luas permukaan panas mulai 60 sampai 100 kg/m² seperti terlihat pada gambar 3. Perhatian yang cukup harus diberikan pada proses pengolahan air umpan dan air boiler karena *water-tube boiler* menghasilkan sejumlah besar uap di dalam *tube*. Semakin tinggi tekanan, tingkat yang lebih tinggi tingkat pengolahan air yang diperlukan.



Gambar 2.3. Hubungan antara Luas Permukaan Panas dan Laju Penguapan dari Water-Tube Boilers (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

Menurut metode sirkulasi air, *water-tube boiler* diklasifikasikan ke dalam *natural circulation boilers*, *forced circulation boilers*, dan *once-through boilers*. Dalam *natural circulation boilers*, sirkulasi air boiler disebabkan oleh perbedaan antara densitas air dengan campuran uap dan air. Sekitar 80% dari *water-tube boilers* menggunakan metode sirkulasi ini yang secara luas digunakan untuk boiler kapasitas kecil sampai kapasitas besar. Gambar 4 menunjukkan contoh struktur yang diterapkan untuk ukuran kecil sampai menengah *water-tube boiler*.



Gambar 2.4. Tipikal Struktur dari *Water-Tube Boilers* kapasitas kecil sampai menengah (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

Dalam *forced circulation boilers*, air boiler disirkulasikan dengan menggunakan pompa sirkulasi. Metode ini cocok untuk boiler tekanan tinggi dimana sirkulasi alami sudah sulit dilakukan karena perbedaan densitas antara air jenuh (*saturated water*) dengan uap air jenuh (*saturated steam*) sangat kecil.

Dalam *once-through boilers*, air diumpankan pada salah satu ujung *tubing* pemanas. Air dipanaskan dan diuapkan melalui *tube*, dan akhirnya keluar sebagai uap lewat jenuh (*superheated steam*) di ujung *tube*. Boiler jenis ini terutama cocok untuk membangkitkan uap tekanan tinggi karena konstruksinya hanya terdiri dari *water-tube bundles*, yang berbeda dari *natural circulation boilers* dan *forced circulation boilers*. *once-through boilers* sering digunakan untuk *thermal power plants* (Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999).

2.2. Air

Air merupakan unsur yang mempunyai peran utama dalam kehidupan di bumi ini. Air dikenal sebagai sumber daya yang terbarukan, namun dari segi kualitas maupun kuantitas membutuhkan upaya dan waktu untuk dapat berlangsung baik. Kriteria dan standar kualitas air didasarkan atas beberapa hal antara lain keberadaan

logam dan logam berat, anorganik, tingkat toksisitas, dan teremisinya pencemar ke lingkungan. Air adalah pelarut yang baik, oleh sebab itu di dalamnya paling tidak terlarut sejumlah kecil zat-zat anorganik dan organik. Dengan kata lain, tidak ada air yang benar-benar murni dan hal ini menyebabkan dalam setiap analisis air ditemukan zat-zat terlarut (*Setiadi, 1993; Wijayanti, 2008; Rahadi, Aprian Eko, et al, 2016*).

Air adalah salah satu dari materi yang dibutuhkan untuk menjaga kelangsungan hidup makhluk hidup dan juga menjadi salah satu sumber penyebab dari penyakit yang menyerang manusia. Hal utama yang perlu diperhatikan dalam mengolah air yang akan dikonsumsi adalah menyediakan air yang aman dikonsumsi dari segi kesehatan. Sumber air, baik air permukaan maupun air tanah, akan terus mengalami peningkatan kontaminasi pencemar disebabkan meningkatnya aktivitas pertanian dan industri. Air hasil produksi yang diharapkan konsumen adalah air yang bebas dari warna, kekeruhan, rasa, bau, nitrat, ion logam berbahaya dan berbagai macam senyawa kimia organik seperti pestisida dan senyawa terhalogenasi. Permasalahan kesehatan yang berkaitan dengan kontaminan tersebut diatas meliputi kanker, gangguan pada bayi yang lahir, kerusakan jaringan saraf pusat, dan penyakit jantung (*Sawyer, 1994*).

Tujuan dasar dari dibangunnya instalasi pengolahan air minum adalah untuk membuat produk yang memenuhi standard dan dengan harga yang terjangkau oleh konsumen (*Montgomery, 1985*). Menurut Hudson (1981) dalam Rahadi, Aprian Eko, et al (2016) pengolahan air memiliki tiga tujuan yaitu untuk meningkatkan estetika dari air agar dapat diterima oleh konsumen, untuk menghilangkan senyawa toksik dan berbahaya dan untuk menghilangkan atau menon-aktifkan organisme yang menyebabkan penyakit yang ada di dalam air.

Dalam kegiatan produksi air minum, evaluasi terhadap instalasi pengolahan air minum perlu dilakukan secara berkala. Menurut Hudson (1981) dalam Rahadi, Aprian Eko, et al (2016) tujuan dari dilakukannya evaluasi terhadap operasional instalasi antara lain yaitu meningkatkan kapasitas dari instalasi yang sudah dibangun, meningkatkan kualitas dari air olahan dan mereduksi biaya operasional. Optimalisasi

dan perbaikan terhadap instalasi perlu dilakukan untuk menghasilkan air minum maupun air industri yang berkualitas dan memenuhi standard serta terus meningkatkan pelayanan terhadap konsumen.

2.3. Kebutuhan Pengolahan Air untuk *Boiler*

Air yang digunakan sebagai air umpan *boiler*, seperti air keran, air industri, air bawah tanah dan air sungai, biasanya mengandung berbagai zat seperti padatan tersuspensi, padatan terlarut dan gas. Jumlah zat ini sebagian besar bervariasi tergantung pada sumber-sumber air baku, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Penggunaan air baku tersebut tanpa disertai pretreatment dapat mengakibatkan masalah, seperti kerak, korosi dan akumulasi, dalam boiler dan peralatan pendukungnya (*Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999*).

Tabel 2.1. Contoh Kualitas Air Baku (*Kobayashi, Norimasa, et. Al, 1999*)

Water source	River				Lake		Well	
Location	Osaka, Japan	Seria, Burunei	Shanghai, China	Bratislava, Slovakia	Perth, Australia	Kaohsiung, Taiwan	Milano, Italy	Jakarta, Indonesia
pH	7.0	5.3	8.1	8.1	6.8	8.0	7.6	8.4
Electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	175	28	490	361	453	299	260	529
M-alkalinity (mg CaCO_3/l)	52	1	92	161	31	120	142	296
Total hardness (mg CaCO_3/l)	44	8	16	230	76	150	190	24
Ca-hardness (mg CaCO_3/l)	34	1	100	172	43	100	130	5
Chloride ion (mg/l)	23	1	81	22	124	2	17	5
Sulfate ion (mg/l)	33	7	41	39	23	45	—	—
Silica (mg SiO_2/l)	20	6	7	9	9	7	25	13
Total iron (mg Fe/l)	< 0.2	4.0	3.7	0.47	< 0.1	0.25	0.1	—

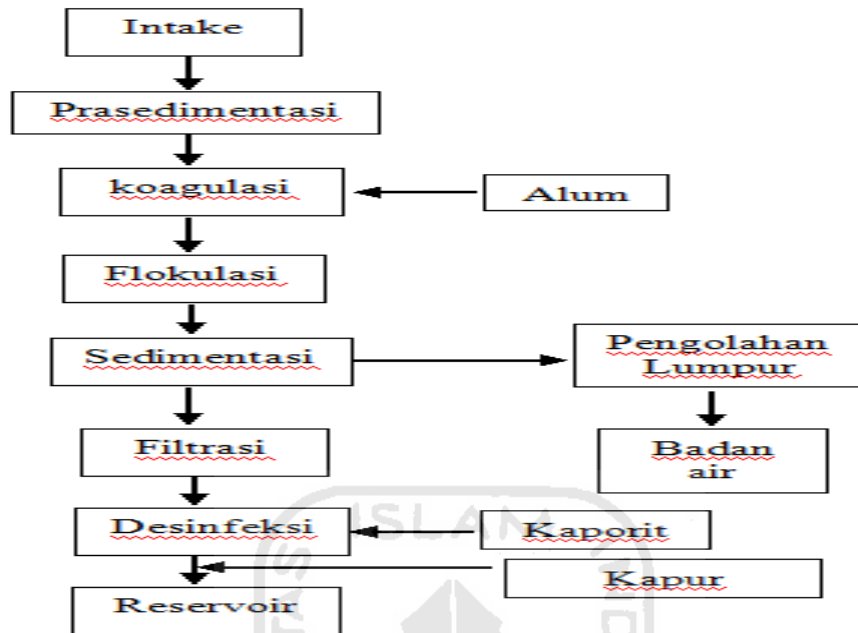
Air yang akan digunakan sebagai air umpan boiler harus melalui beberapa tahapan pengolahan dengan tujuan agar pada saat digunakan tidak mengganggu proses maupun peralatan.

2.4. Sistem Pengolahan Air

Pada umumnya Instalasi Pengolahan Air merupakan suatu sistem yang mengkombinasikan proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi (sebagai agen anti kuman, khusus untuk air minum) serta dilengkapi dengan pengontrolan proses juga instrumen pengukuran yang dibutuhkan. Instalasi ini harus didesain untuk menghasilkan air yang layak dikonsumsi masyarakat tidak peduli bagaimanapun kondisi cuaca dan lingkungan. Selain itu, sistem dan subsistem dalam instalasi yang akan didesai harus sederhana, efektif, dapat diandalkan, tahan lama, dan murah dalam pembiayaan (*Kawamura, 1991*).

Tujuan dari sistem pengolahan air bersih yaitu untuk mengolah sumber air baku menjadi air bersih yang sesuai dengan standar kualitas, kuantitas, dan kontinuitas. Tingkat pengolahan air bersih ini tergantung pada karakteristik sumber air baku yang digunakan. Sumber air baku berasal dari air permukaan dan air tanah. Air permukaan cenderung memiliki tingkat yang cukup tinggi dan adanya kemungkinan kontaminasi oleh mikroba yang lebih besar. Untuk Pengolahan sumber air baku yang berasal dari air permukaan ini, unit filtrasi hampir selalu diperlukan. Sedangkan air tanah memiliki kecenderungan untuk tidak terkontaminasi dan adanya padatan tersuspensi yang lebih sedikit. Akan tetapi, gas terlarut yang ada pada air tanah ini harus dihilangkan, demikian juga kesadahan (ion-ion kalsium dan magnesium).

Secara umum, proses pengolahan air bersih dengan sumber air baku yang berasal dari air permukaan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5. Skema Pengolahan Air Bersih secara Konvensional

Air tanah pada umumnya selalu mengandung garam-garam mineral atau disebut juga padatan terlarut, jumlah kandungan bahan tersebut berkisar antara 25 mg/l untuk daerah pengunungan. Garam - garam yang terlarut dalam air tanah berasal dari bahan-bahan batuan yang dilalui oleh air tersebut. Jumlah dan jenis garam-garam terlarut tergantung pada jenis materi akuifer, kelarutan mineral yang bersangkutan dalam air serta waktu kontak. Disamping itu air tanah dapat dipengaruhi oleh kondisi yang terjadi di permukaan tanah, misal adanya kondisi yang terjadi di permukaan tanah, misal adanya pencemar yang menyebabkan bahan-bahan pencemar masuk meresap ke dalam tanah. Pencemaran yang terjadi pada air tanah dapat berasal dari intrusi air laut, limbah domestik, limbah industri dan dari daerah instensifikasi pertanian.

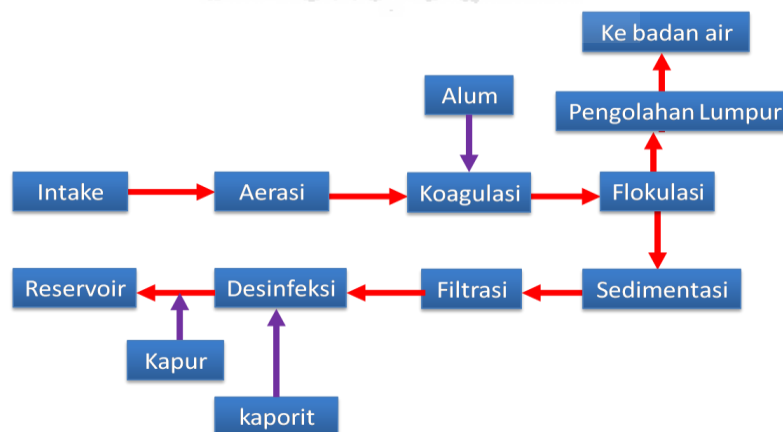
Akibat kondisi litologi dan geologi yang dilalui, maka air tanah mungkin mengandung unsur - unsur atau senyawa kimia dengan konsentrasi melebihi standar kualitas air minum, misalnya mengandung unsur-unsur, Fe, Mn, CO₂, H₂S dan garam

- garam mineral yang tinggi, kesadahan tinggi, kemudian keasamaan tinggi karena adanya asam - asam organik (air gambut) dan ada pula yang mengandung logam berat.

Tabel 2.2. Perbedaan utama antara air permukaan dengan air tanah (Tschobanoglous, 1986)

Karakteristik	Air Permukaan	Air Tanah
Temperatur	Bervariasi, tergantung pada musim	Relatif konstan
Kekeruhan	Bervariasi, kadang-kadang tinggi	Rendah, kadang-kadang nol
Warna	Akibat padatan terlarut (lempung, ganggang)	Akibat padatan terlarut (asam humus)
Kandungan mineral	Bervariasi, tergantung Jenis tanah, curah hujan dll	Relatif konstan, lebih tinggi dibanding air permukaan pada daerah yang sama
Fe dan Mn (terlarut)	Biasanya tidak ada, kecuali pada dasar danau yang dalam	Biasanya ada
CO ₂ agresif	Tidak ada	Ada
Oksigen terlarut	Mendekati jenuh, Kecuali pada air tercemar	Rendah
H ₂ S	Tidak ada	Sering ada
NH ₄	Ditemui pada air tercemar	Sering ditemui
Nitrat	Ditemui pada air tercemar	Kadang-kadang tinggi
Silika	Rendah	Sering tinggi
Mikropolutan organik	ada	Biasanya tidak ada
Organisma hidup	Bakteri, virus, plankton (binatang/tumbuhan)	Bakteri besi

Secara umum, proses pengolahan air bersih dengan sumber air baku yang berasal dari air tanah (air sumur dalam) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.6. Skema Pengolahan Air Sumur Secara Konvensional (Qasim et al, 1985)

2.5. Hukum Stokes

Waktu pengendapan digunakan untuk menentukan seberapa besar tingkat kekeruhan yang dapat diturunkan dalam Desain Eksperimen yang akan dilakukan. Hukum Stokes digunakan untuk menentukan waktu pengendapan dimaksud, adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ F_a + F_s &= w \\ \rho_f \cdot V \cdot g + 6\pi r \eta \cdot V &= m_b \cdot g \\ \rho_f (4/3 \pi r^3) g + 6\pi r \eta \cdot V &= (4/3 \pi r^3 \rho_b) \cdot g \\ V &= \frac{2r^2 g}{9\eta} (\rho_b - \rho_f)\end{aligned}$$

Dimana :

V	= Kecepatan Pengendapan (m/dtk)
η	= Koefisien Viskositas (Pa.dtk)
r	= Jari-jari partikel (m)
g	= Percepatan Gravitasi (m/dtk ²)
ρ_b	= Massa Jenis partikel (kg/m ³)
ρ_f	= Massa Jenis fluida (kg/m ³)

2.6. System Dynamics

Sampai saat ini, banyak interpretasi atas *system dynamics*, mulai dari yang sama sekali salah, yang ada benarnya, yang benar tetapi tidak tepat, yang benar tetapi tidak lengkap, dan yang benar. Ketika kita mulai mempelajari *system dynamics*, maka akan ada rentang yang cukup panjang yang harus dipelajari, mulai dari belajar cara

berpikir sistem yang berbeda dengan cara berpikir linier yang mungkin sudah biasa kita lakukan selama ini, sampai mempelajari bagaimana hasil pemikiran yang sistemis itu dapat dikonversikan ke dalam bahasa komputer untuk dapat disimulasikan (Avianto, 2010).

Pada laman *System Dynamics Society* (<http://www.systemdynamics.org>), *system dynamics* didefinisikan sebagai suatu metodologi untuk mempelajari dan mengelola sistem-sistem umpan-balik yang kompleks, seperti seseorang mengenalnya dalam bisnis dan sistem-sistem sosial lainnya. Kata sistem telah diaplikasikan ke semua macam situasi, sedangkan kata umpan-balik di sini merupakan alat untuk mendeskripsikan suatu proses penurunan (pendiferensiasian). Umpan-balik menyatakan suatu situasi X mempengaruhi Y dan pada gilirannya Y mempengaruhi X yang mungkin melalui serangkaian rantai hubungan sebab-akibat. Seseorang tidak dapat mempelajari hubungan antara X dan Y dan, secara terpisah, hubungan antara Y dan X; untuk kemudian memprediksi bagaimana sistem itu berperilaku.

Pemahaman yang benar terhadap sistem dapat diperoleh dengan melihat hubungan saling terkait (*Causal Loop*) itu secara keseluruhan dan tidak dipisah-pisahkan. Menurut *MIT System Dynamics Group* (Avianto, 2010) hal yang paling khas dari *system dynamics* dibandingkan dengan pendekatan lainnya dalam memahami sistem yang kompleks adalah *feedback loop* (lingkar umpan-balik). Dalam pemahaman selanjutnya, *feedback loop* itu dinyatakan dalam konsep *stock* (stok) dan *flow* (aliran). Konsep stok dan aliran ini menerangkan bahwa komponen sistem itu ada yang bersifat akumulasi yaitu *stock* dan ada juga yang bersifat mengalir yaitu *flow*. Dengan konsep stok dan aliran ini, maka konsep *feedback* dalam suatu sistem akan dapat dimengerti dan disimulasikan. Dan dengan konsep stok ini juga akan muncul konsep *delay*, dan *nonlinearity*. Konsep *feedback*, *stock* dan *flow*, *delay*, dan *nonlinearity*; merupakan dasar pikiran (*premise*) tentang pola keterkaitan antar komponen yang digunakan dalam pemodelan *system dynamics*.

Metodologi *system dynamics* telah berkembang sejak dekade 50-an, pertama kali dikembangkan oleh Jay W. Forrester (*Forrester, 1973*) sewaktu kelompoknya

melakukan riset di MIT dengan mencoba mengembangkan manajemen industri guna mendesain dan mengendalikan sistem industri. Mereka mencoba mengembangkan metode manajemen untuk perencanaan industri jangka panjang yang kemudian diterbitkan dalam bentuk buku pada tahun 1961 dengan judul “*Industrial Dynamics*”.

Pada perkembangannya, metodologi ini telah diterapkan di dalam analisis pada sejumlah persoalan ekonomi dan sosial yang menarik dan penting. Salah satu yang paling banyak dipublikasikan adalah model yang dikembangkan oleh Dennis Meadows dan *Club of Rome* dalam bukunya *The Limits to Growth* (Avianto,2010).

Berbagai model telah dikembangkan dengan *system dynamics* guna mempelajari berbagai permasalahan yang beragam, seperti manajemen proyek, pasukan perdamaian PBB, penemuan gas alam, pertumbuhan suatu bisnis, perencanaan ekonomi nasional dan sebagainya (Roberts *et.al*, 1983). Sejalan dengan perkembangan kebutuhan pemodelan dengan *system dynamics*, dikembangkan pula berbagai *software* sebagai alat bantu (*tools*) sehingga penggunaan metodologi *system dynamics*, sebagai salah satu cara pemodelan, menjadi lebih efisien. Saat ini berkembang *software-software* yang bukan cuma memudahkan pemakai untuk membangun model, melainkan juga untuk melakukan simulasi dan berbagai uji sensitivitas model. *Software* alat bantu *system dynamics* yang tersedia di pasaran antara lain *Dynamo*, *Vensim*, *Powersim*, *ithink* dan *Stella*.

2.7. Struktur dalam System Dynamics

Menurut Avianto (2010) struktur yang menyebabkan munculnya peristiwa dan pola perilaku, terdiri dari unsur dan keterkaitannya. Pola pola keterkaitan antar elemen struktur itu dalam *system dynamics* dan *systems thinking* dapat dikategorikan menjadi :

1. *Feedback (Causal loop diagram)*
2. *Stock and Flow*
3. *Delay*

4. Non Linearity

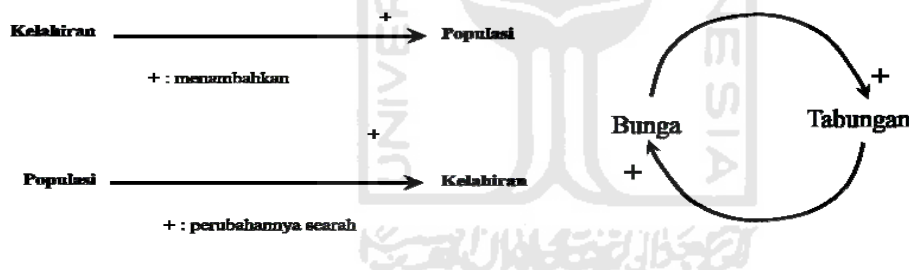
Keterkaitan dua unsur dalam suatu sistem harus berbentuk hubungan kausal (sebab-akibat), dan keterkaitan antar semua unsur dalam sistem itu harus ada yang bersifat umpan balik. (*causal loop*). Lingkaran umpan-balik (*feedback loop*) tersebut menyatakan hubungan sebab akibat variabel-variabel yang melingkar, bukan menyatakan hubungan karena adanya korelasi-korelasi statistik. Ada 2 macam hubungan kausal, yaitu (Avianto, 2010):

1. Hubungan kausal positif; dan
2. Hubungan kausal negatif.

Ada 2 macam lingkaran umpan-balik, yaitu:

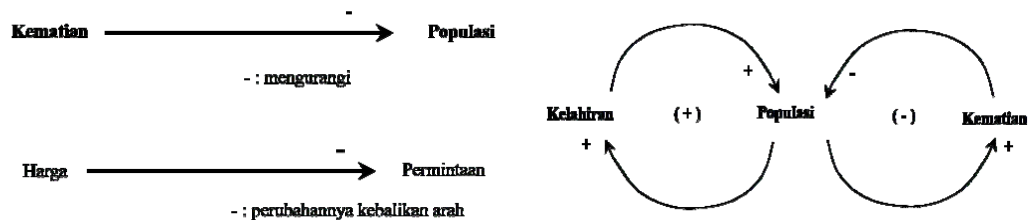
1. Lingkaran umpan-balik positif (growth); dan
2. Lingkaran umpan –balik negatif (goal seeking).

Contoh hubungan positif dapat dilihat di gambar berikut:



Gambar 2.7. Jenis Hubungan Positif dari Sistem

Contoh hubungan negative digambarkan pada gambar berikut:



Gambar 2.8. Jenis Hubungan Negatif dari Sistem

Dalam menentukan aktivitas dalam suatu lingkaran umpan balik (Causal Loop Diagram/CLD) digunakan 2 (dua) jenis variable yang disebut sebagai *Stock (level)*

dan *Flow (rate)*. Level digambarkan dalam bentuk kotak dan rate dalam bentuk keran. Pola keterkaitan lainnya adalah *delay*. *Delay* dimaksudkan bahwa perubahan terjadi tidak seketika tetapi ada jeda waktu atau perubahan dari system memerlukan waktu serta adanya pola keterkaitan non linier (*Non Linearity*) yaitu tidak semua sebab selalu berpengaruh secara linier terhadap akibat (Avianto, 2010).

Menurut Hamini, et al (2011), terdapat 5 (lima) symbol yang sering digunakan dalam pemodelan *system dynamics* yaitu:

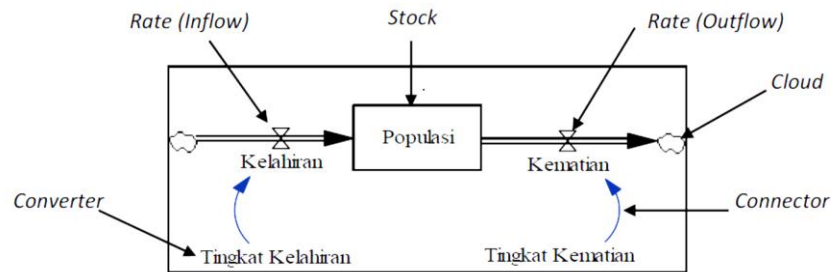
1. *Stock* (gambar kotak) yang menyatakan akumulasi dari suatu aliran dalam system
2. *Rate* yang menyatakan tingkat penambahan (inflow) atau pengurangan (outflow) dari stock setiap periode aktivitas dari system
3. *Converters* menyatakan hubungan input yang bisa dinyatakan dalam angka atau formula atau grafik
4. *Connectors* (gambar tanda panah) menunjukkan aliran informasi – informasi (hubungan) didalam sistem (sumber panah menunjukkan variabel yang mempengaruhi dan di ujung tanda panah adalah variabel yang dipengaruhi),
5. *Cloud* menyatakan batasan sistem.

Stock adalah akumulasi dari suatu aliran. Aliran bersih ke dalam *Stock* adalah tingkat perubahan pada *Stock*. Secara matematis besarnya *Stock* pada waktu t dinyatakan ke dalam ke persamaan integral dimana *Inflow(s)* adalah besarnya *Inflow* (penambahan *Stock*) dan *Outflow(s)* adalah besarnya pengurangan *Stock* selama periode s di antara waktu awal (t_0) hingga saat ini (t)

$$Stock(t) = \int_{t_0}^t [Inflow(s) - Outflow(s)] ds + Stock(t_0)$$

Sementara Forrester (1973) menuliskan sembilan symbol dalam membuat flow diagram *system dynamics* yaitu: *levels, flows, rate, source and sinks*,

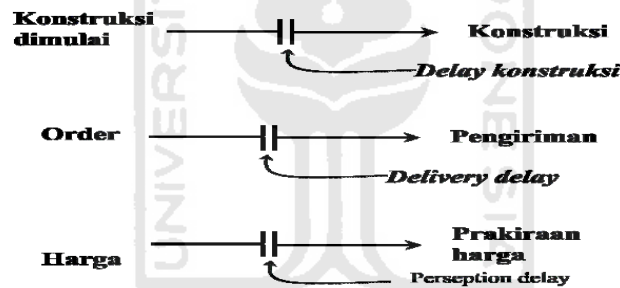
information take off, auxiliary variables, parameters (constants), variables on other diagrams dan delays.



Sumber: Sterman (2000).

Gambar 2.9. Contoh Aliran dalam Sistem

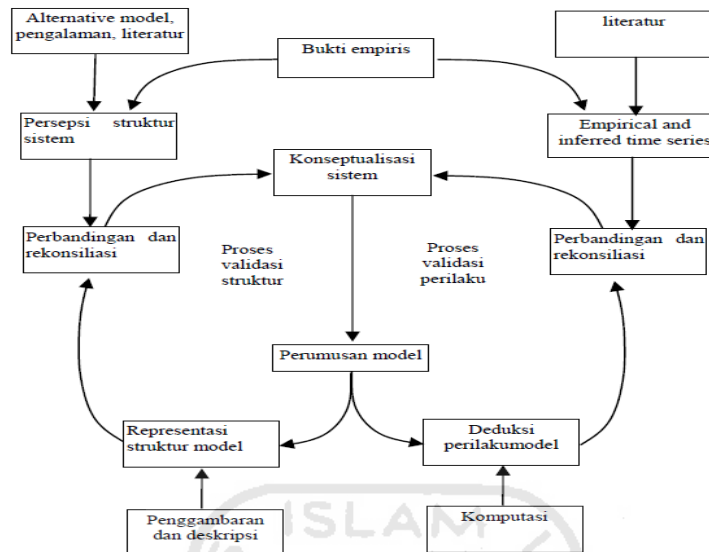
Pola dari delay dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.10. Diagram Delay

2.8. Prosedur Pemodelan System Dynamics

Khaleed Saeed (1994) memberikan penekanan pada bukti secara empiris sebagai *driving force* untuk menggambarkan struktur makro maupun untuk melakukan verifikasi pola perilaku dari system yang dibangun. Khaleed menawarkan prosedur untuk membuat pemodelan dari system dynamics sebagai berikut:



Gambar 2.11. Flow Chart Pembuatan Model dalam System Dynamics

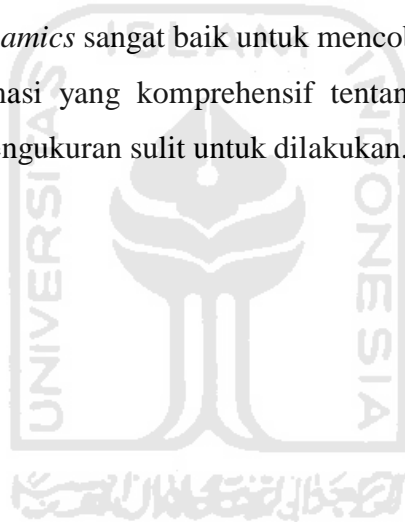
Hamini, et. al (2011) menyarankan 6 (enam) tahap dalam membuat model dari *system dynamics* pada saat melakukan penelitian tentang ketersediaan daging sapi nasional, yaitu:

1. Memahami kompleksitas dari struktur hubungan sebab akibat (CLD) dalam system yang akan dibangun
2. Mengkonstruksikan struktur hubungan sebab akibat (CLD) dalam system
3. Menentukan asumsi dasar model dinamis. Asumsi ditentukan berdasarkan kajian teoritik dengan berlandaskan pada data sekunder yang bersumber dari literature
4. Memformulasikan model dinamis
5. Melakukan validasi model dinamis
6. Melakukan simulasi skenario dari model yang disusun.

Hamini (ibid) sama dengan Avianto juga menyarankan yang biasa digunakan untuk membangun *system dynamics* adalah program komputer *Dynamo*, *Powersim*, *Stella/iThink*, atau *Vensim*.

Penggunaan *system dynamics* sangat bervariasi diberbagai sector industri, jasa maupun pemerintahan. Keuntungan dari penggunaan *system dynamics* dari sisi engineering menurut *Agarwal (2009)* meliputi:

1. Fleksibilitas dalam merubah parameter tanpa memerlukan biaya perubahan system dan memudahkan bagi para *engineer* untuk mencoba alternative disain sekaligus dapat melihat *feasibility study* dari perubahan yang dilakukan
2. Mempercepat proses pengulangan jika ada kendala system yang tidak terpecahkan
3. Membantu *engineer* untuk menemukan *root cause* dari permasalahan, sehingga *system dynamics* sangat baik untuk mencoba *trouble shooting*
4. Memberikan informasi yang komprehensif tentang aliran umpan terutama pada area dimana pengukuran sulit untuk dilakukan.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian akan dilakukan di Unit Proses Pengolahan Air di PT Pertamina (Persero) RU V Balikpapan, Jalan Yos Sudarso No 1 Balikpapan, Kalimantan Timur. Untuk waktu penelitian akan dilaksanakan pada bulan Juli 2016.

Subjek penelitian adalah WTP-I yang berada di bagian Utilities. Dipilih Unit-Unit Proses tersebut karena saling keterkaitannya untuk menghasilkan air umpan *Demineralization Plant*.

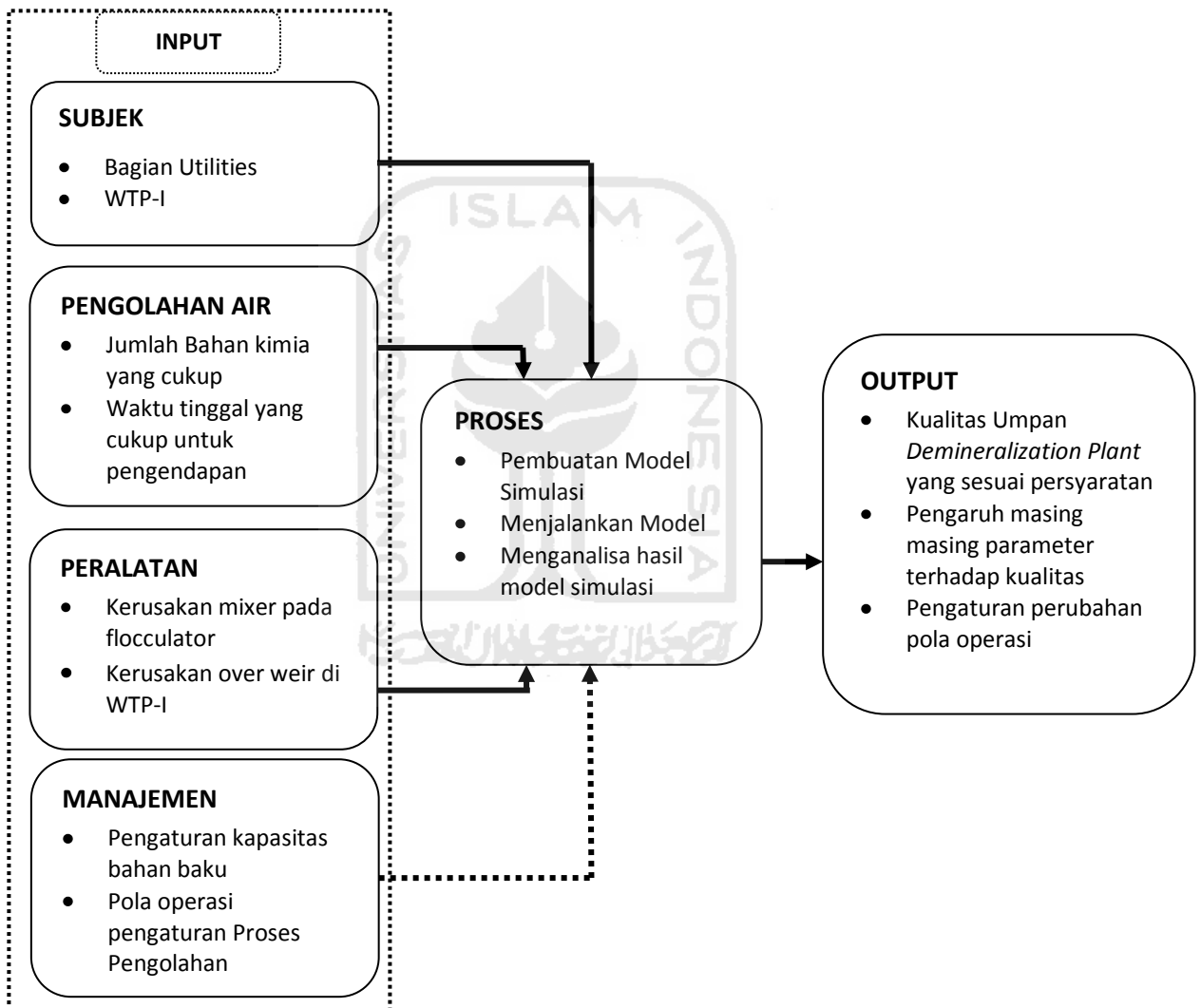
3.2. Variable Penelitian

Variable-variable penelitian yang digunakan dipisahkan dalam dua jenis *variable* yaitu *variable* bebas dan *variable* tetap. *Variable* bebas pada parameter operasi adalah *variable* yang bisa dilakukan variasi kondisi untuk mendapatkan kondisi terbaik sedangkan *variable* tetap adalah *variable* yang tidak bisa dilakukan perubahan saat dilakukan penelitian. *Variable-variable* tersebut antara lain:

- a. *Variable* bebas
 - Injeksi Bahan Kimia Caustic Soda,
 - Injeksi Bahan Kimia Alumunium Sulfat,
 - Injeksi Bahan Kimia Poly Alumunium Chloride,
- b. Sedangkan *variable* tetap
 - Kapasitas air umpan,
 - pH air umpan
 - Turbidity air umpan

3.3. Kerangka Konseptual Penelitian

Kerangka berpikir yang digunakan dalam penelitian adalah sintesis dari fakta, observasi dan telaah kepustakaan. Uraian dalam kerangka berpikir menjelaskan hubungan dan keterkaitan antar variabel penelitian. Adapun kerangka konseptual dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1. Kerangka Konsep Penelitian

Sesuai dengan konsep tersebut, penelitian yang akan dilakukan adalah menentukan hubungan parameter dan pola operasi yang dipilih terhadap kualitas air umpan *Demineralization Plant*. Bagian penting dari penelitian meliputi antara lain:

a. Monitoring data operasi

Data operasi digunakan untuk perhitungan baik kebutuhan bahan kimia maupun kuantitas air baku yang diumpankan. Hasil olahan data operasi kemudian dibandingkan dengan data terbaru hasil pengukuran untuk mendapatkan data terbaru.

b. Pengukuran injeksi bahan kimia pada air umpan *Demineralization Plant*

Pengukuran injeksi bahan kimia pada air umpan *Demineralization Plant* dilakukan untuk memperoleh trend atau kecenderungan kondisi injeksi bahan kimia pada air umpan *Demineralization Plant* selama sehari penuh. Dengan diperolehnya data kecenderungan selama sehari penuh, maka dapat diketahui trend perubahan kualitas air umpan *Demineralization Plant* dari waktu ke waktu. Kecenderungan ini jika sudah diperoleh akan memudahkan kegiatan operasional yang diperlukan untuk mempertahankan kualitas air umpan *Demineralization Plant*.

c. Pembuatan model simulasi

Dalam membuat model simulasi dari system dynamics akan didahului dengan membuat causal loop diagram dengan ditambahkan formula matematis dari setiap hubungan dari system. Dalam perhitungannya selain diuji dengan pengukuran manual juga dibandingkan dengan simulasi model. Diharapkan setelah selesai penelitian dengan system dynamics akan diperoleh kaitan atau rumusan antara parameter operasi yang diteliti dengan kualitas air umpan *Demineralization Plant*.

3.4. Jenis Data Penelitian

Jenis data penelitian terdiri dari jenis data primer dan jenis data sekunder.

- a. Data Primer adalah data yang diperoleh langsung dari tempat penelitian.
- b. Data Sekunder adalah data yang diperoleh dari referensi atau literatur tertentu, studi pustaka, dan data atau dokumen perusahaan yang digunakan untuk mendukung data primer.

3.5. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan berbagai cara antara lain : wawancara, pengamatan langsung, pengamatan literatur.

- a. Pengamatan Langsung : adalah pengumpulan data yang dilakukan secara langsung dengan mengamati secara langsung data proses dan parameter operasi, serta melakukan pencatatan langsung pada obyek yang diteliti.
- b. Pengamatan Literatur : adalah merupakan upaya mengumpulkan data dari berbagai bacaan yang berguna bagi penyusunan landasan teori maupun data pendukung (sekunder)

3.6. Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian, ada beberapa langkah yang harus dilaksanakan untuk mendapatkan alur yang tepat dan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun langkah-langkah yang harus dilaksanakan antara lain :

- a. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan yang akan dilakukan antara lain :

- 1) Melakukan penelitian awal untuk menentukan lokasi penelitian
- 2) Menentukan subjek penelitian
- 3) Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan
- 4) Membuat jadwal penelitian
- 5) Menyiapkan data-data yang terkait dengan penelitian awal

b. Tahap Penelitian

Pada tahap penelitian yang akan dilakukan antara lain :

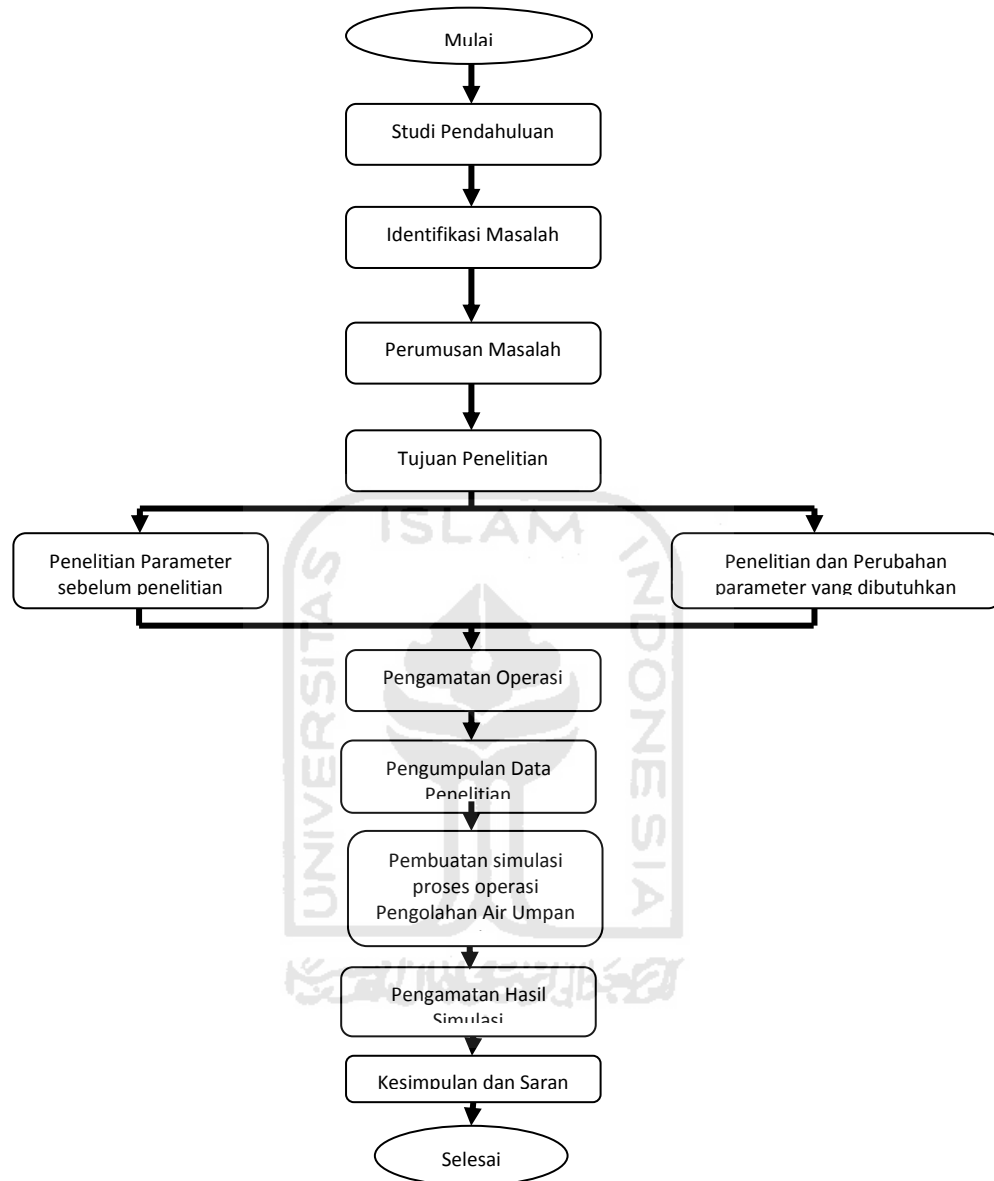
- 1) Mencatat parameter operasi yang ada
- 2) Mengukur parameter operasi tambahan yang tidak terdapat dalam monitoring rutin
- 3) Mendata dan melakukan identifikasi keperluan data lainnya
- 4) Membuat disain simulasi yang sesuai
- 5) Perhitungan dan pengolahan data

c. Analisis Penelitian

Data-data hasil dari penelitian, yang diperoleh dari pengamatan, pengukuran dan perhitungan akan dilakukan analisa dan diolah sehingga dapat disimulasikan dengan menggunakan software simulasi dinamis. Dalam tahap ini sekaligus dilakukan pembuatan model simulasi dinamis dari system yang diteliti.

3.7. Pengolahan Data

Penelitian yang akan dilakukan akan mengikuti alur sebagai berikut :



Gambar 3.2. Bagan Alir Pengolahan Data

BAB IV

ANALISIS DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengamatan Data

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan data dapat dikumpulkan. Data dalam hal ini di kelompokkan dalam data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari pengamatan operasi Pengolahan Air di WTP-I serta menggunakan historis operasi melalui laporan harian dan di kumpulkan menggunakan File Sharing serta di tabelkan menggunakan Microsoft Excel.

4.1.1. Data Primer

Data primer berisi tentang data yang diperoleh dari pengamatan operasi Pengolahan Air di WTP-I serta menggunakan historis operasi melalui laporan harian dan di kumpulkan menggunakan File Sharing serta di tabelkan menggunakan Microsoft Excel serta pengamatan history report operasi WTP-I. Data-data dimaksud meliputi : data Shift Hand Over di WTP I, dan data E-Logsheets WTP-I

4.1.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literatur yang bersesuaian dengan pokok penelitian. Data ini kemudian di jadikan bahan untuk membangun model simulasi. Data sekunder dimaksud adalah data densitas solid, konversi dari NTU ke TSS, serta persamaan untuk menentukan waktu pengendapan partikel.

4.1.3. Data Operasional.

Unit Pengolahan Air - I (*Water Treatment Plant I*, selanjutnya disebut WTP-I) mengolah air baku dari Sei Wain yang berjarak 22 km menggunakan jalan raya atau sepanjang 11 km panjang pipa mulai Sei Wain sampai WTP-I. Pengolahan air menggunakan bahan koagulan Tawas (Alumunium Sulfat) dan PAC (Poly

Alumunium Chloride) dengan parameter output adalah Turbidity dibawah 1 NTU dan pH diatas 7. Adapun data awal dari proses pengolahan air di WTP-I adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data Air Intake WTP-I

Parameter	Aliran Air Umpan	pH Raw Water	Turbidity Raw Water
Unit	m³/jam	Point	NTU
01-Jul-16	637.95	5.75	19.82
02-Jul-16	595.45	5.72	19.37
03-Jul-16	547.13	5.79	19.97
04-Jul-16	603.22	5.66	20.25
05-Jul-16	649.97	5.88	20.10
06-Jul-16	581.33	5.87	23.33
07-Jul-16	557.17	5.87	18.30
08-Jul-16	455.78	5.87	17.83
09-Jul-16	623.07	5.62	21.72
10-Jul-16	665.52	5.68	20.15
11-Jul-16	555.25	5.68	17.00
12-Jul-16	502.54	5.78	16.68
13-Jul-16	561.72	5.78	17.20
14-Jul-16	550.50	5.64	20.03
15-Jul-16	551.62	5.55	19.92
16-Jul-16	560.59	5.87	22.45
17-Jul-16	541.68	5.65	23.02
18-Jul-16	707.05	5.48	23.40
19-Jul-16	665.81	5.67	21.72
20-Jul-16	730.00	5.66	16.92
21-Jul-16	591.10	5.90	21.90
22-Jul-16	518.74	5.41	19.65
23-Jul-16	492.19	5.69	18.70
24-Jul-16	605.15	5.69	17.08
25-Jul-16	491.46	5.79	20.15
26-Jul-16	434.06	5.97	20.75
27-Jul-16	591.27	5.60	19.00
28-Jul-16	582.63	5.60	22.35
29-Jul-16	596.69	5.86	19.23
30-Jul-16	592.19	5.73	20.00
Rata-Rata	577.96	5.72	19.93

4.1.4. Uji Normalitas Data Operasi

Untuk mendapatkan kepastian data layak atau tidak di jadikan masukan untuk simulasi, digunakan uji homogenitas data dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2. Uji Normalitas Data Operasi

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Flowrate_water	.111	30	.200 [*]	.982	30	.886
Ph_water	.118	30	.200 [*]	.971	30	.554
Turbidity_water	.136	30	.168	.952	30	.187

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

- a. Berdasarkan output test of normality Shapiro-Wilk diperoleh nilai signifikansi semua parameter lebih besar dari >0.05 , maka dapat disimpulkan bahwa data pengamatan operasi berdistribusi normal.
- b. Berdasarkan output test of normality Kolmogorov-Smirnov diperoleh nilai signifikansi semua parameter lebih besar dari >0.05 , maka dapat disimpulkan bahwa data pengamatan operasi berdistribusi normal.

Karena data operasional terdistribusi normal, untuk simulasi data yang digunakan adalah data rata-rata dan standar deviasi.

4.2. Pengolahan Data

4.2.1. Identifikasi Permasalahan

Identifikasi permasalahan dapat disampaikan sebagai berikut:

- a. Input penggunaan bahan kimia mengandalkan jar tes terlebih dahulu sehingga ada delay waktu sebesar 2 jam untuk melakukan perubahan injeksi bahan kimia.

Pengaruh hal tersebut akan mengakibatkan terjadi perubahan kualitas produk air dari WTP-I

- b. Kualitas produk air dari WTP-I ke *Demineralization Plant*, khususnya parameter Turbidity, masih berada diatas kualitas yang disyaratkan yaitu 1.24 NTU vs <1.00 NTU.

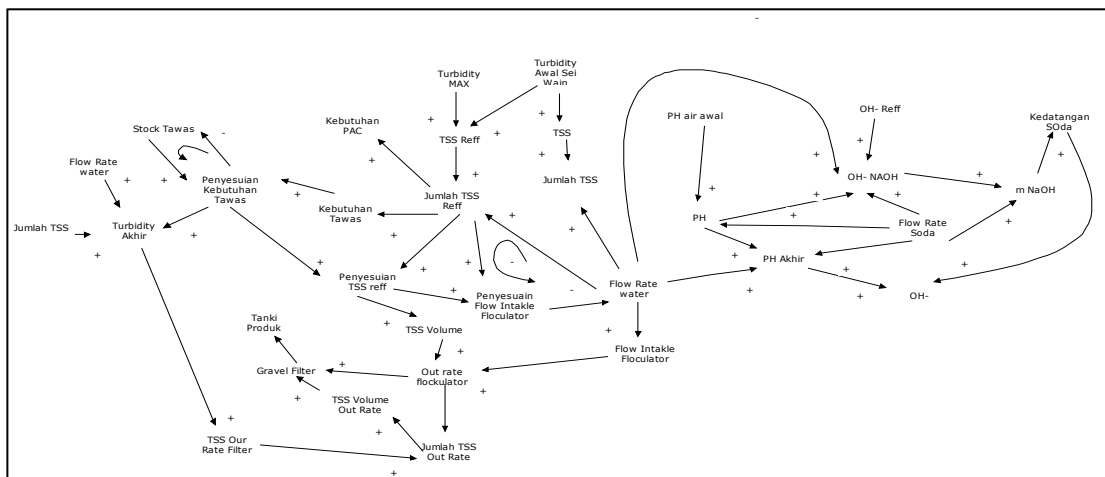
Berdasarkan identifikasi ini, kemudian dibangun *causal loop diagram* seperti ada pada Gambar 4.1. *Causal loop diagram* ini yang kemudian digunakan untuk membuat flow diagram simulasi.

4.2.2. Membangun Model Simulasi

Beberapa langkah untuk membuat model meliputi pembuatan *causal loop diagram* dan *flow diagram*.

A. Causal Loop Diagram

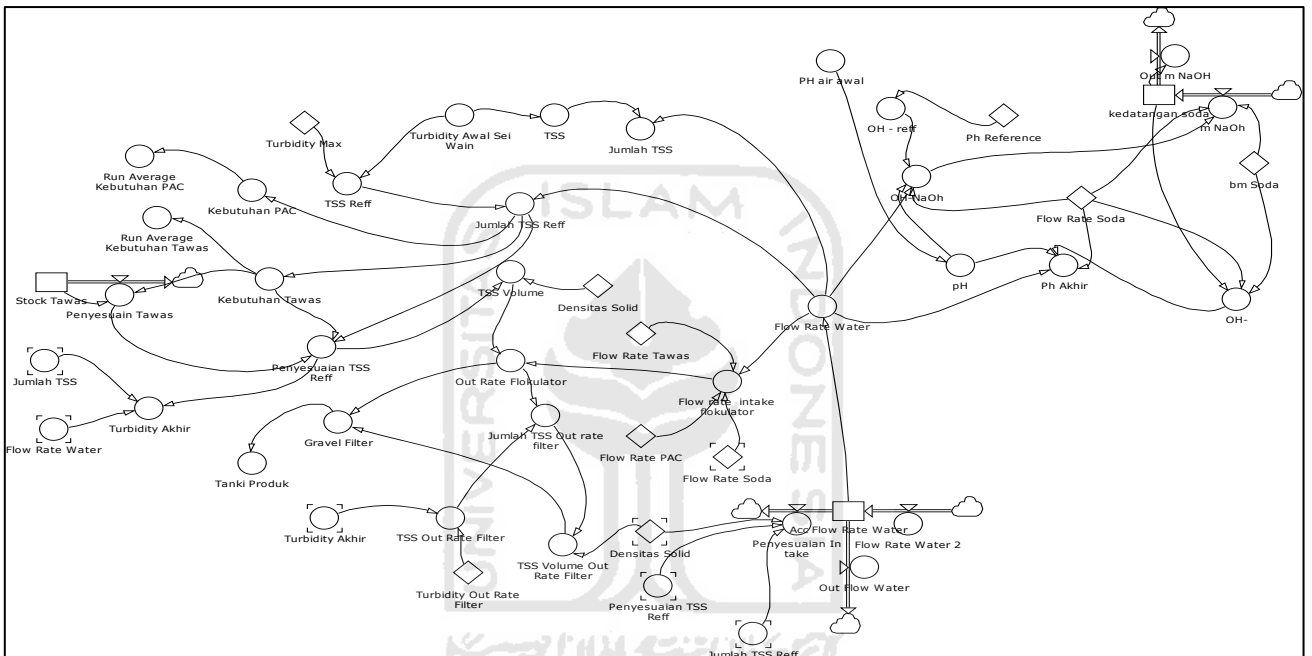
Problem yang diidentifikasi kemudian dibuat *causal loop diagram*, yaitu diagram yang menggambarkan sebab akibat setiap variable. CLD menjadi langkah pertama untuk melihat hubungan antar *variable* serta *behavior* dari model yang akan dibangun.



Gambar 4.1. Causal Loop Diagram

B. Flow Diagram

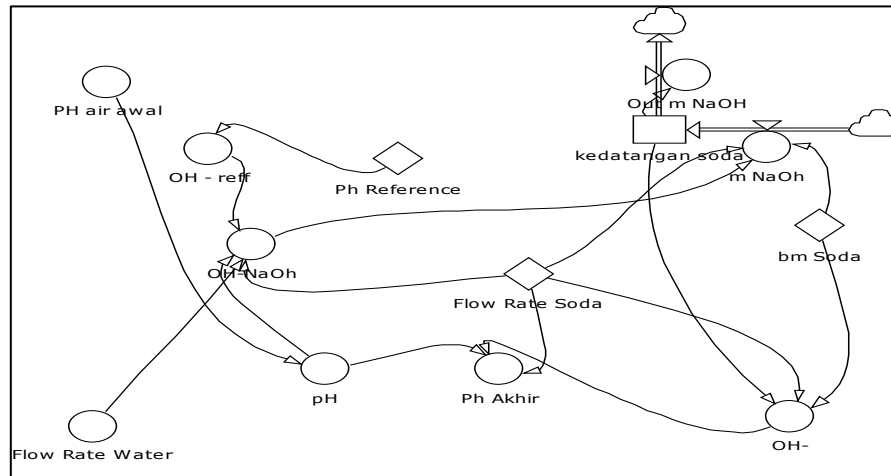
Flow diagram (FD) adalah diagram yang menggambarkan hubungan antar variable di dalam sistem. Flow diagram dibangun berdasarkan CLD yang sudah dibuat. Dengan membangun CLD maka semua kebutuhan variable di dalam system model yang dibangun akan diketahui.



Gambar 4.2. Flow Diagram Simulasi Kebutuhan Bahan Kimia

C. Model Kebutuhan NaOH

Diagram komposisi kebutuhan NaOH secara teoritis menggambarkan Molaritas NaOH terhadap kebutuhan kenaikan pH reference yang diinginkan. Sehingga kemudian diperoleh kebutuhan NaOH secara teori sebagai masukan untuk menaikkan pH air baku dari Sei Wain.



Gambar 4.3. Flow Diagram Simulasi Kebutuhan NaOH

Rumus Matematis untuk kebutuhan NaOH adalah sebagai berikut :

No	Variable	Rumus Matematis
1	pH air awal	GRAPH(DAY(),1,1,{5.75, 5.72, 5.79, 5.66, 5.88, 5.87, 5.87, 5.87, 5.62, 5.68, 5.68, 5.78, 5.78, 5.64, 5.55, 5.87, 5.65, 5.48, 5.67, 5.66, 5.90, 5.78, 5.41, 5.69, 5.69, 5.79, 5.97, 5.60, 5.60, 5.86, 5.73})*1<<ph>>
2	pH Reference	7.5<<ph>>
3	OH- Reference	$10^{(-1*(14-(\text{'Ph Reference'})/1<<ph>>))}$
4	OH- NaOH	$((\text{'OH - reff'}*(\text{'Flow Rate Soda'}+\text{'Flow Rate Water'})-(\text{'OH- Awal'}*\text{'Flow Rate Water'}))/\text{'Flow Rate Soda'}$
5	Flow Rate Water	IF('Acc Flow Rate Water'/1<<da>><=0<<liter/da>>,0<<liter/da>>,'Acc Flow Rate Water'/1<<da>>)
6	p _{OH- awal}	$10^{(-1*((14<<ph>>)-\text{'PH air awal'})/1<<ph>>))}$
7	pH Akhir	$(14-(-\text{LOG}(((\text{'Flow Rate Water'}*\text{p}_{\text{OH- Awal}})+(\text{'OH-'*'\text{'Flow Rate Soda'}})/(\text{'Flow Rate Water'}+\text{'Flow Rate Soda'}))))*1<<ph>>$
8	BM Soda	40<<kg/kmol>>
9	m NaOH	$(1*\text{'OH-NaOH'}*1<<kmol/liter>>)*\text{'Flow Rate Soda'}*\text{'bm Soda'}$
10	OH-	$((\text{'kedatangan soda'}/\text{'bm Soda'})/\text{'Flow Rate Soda'})/1<<da>>*1<<liter/kmol>>$
11	Flow Rate Soda	12000<<liter/da>>

Variable yang terdapat dalam *Flow Diagram* simulasi kebutuhan Na OH adalah sebagai berikut :

1. pH air awal adalah pH air dari Sei Wain yang merupakan intake dari WTP-I
2. pH reference adalah pH yang kita set sebagai masukan untuk menentukan berapa selisih pH yang dibutuhkan untuk dinaikan.
3. OH- Reference adalah konsentrasi $[\text{OH}^-]$ dari simulasi pH
4. OH- NaOH adalah konsentrasi $[\text{OH}^-]$ dari larutan NaOH
5. Flow Rate Water adalah Flow rate intake WTP-I dari Sei Wain
6. p_{OH}- awal adalah p[OH] dari air Sei Wain intake WTP-I
7. pH Akhir adalah pH hasil perhitungan yang digunakan sebagai referensi pH intake Flokulator di WTP-I
8. BM Soda adalah berat molekul NaOH
9. m NaOH merupakan jumlah mol NaOH
10. OH- merupakan Konsentrasi NaOH setelah kebutuhan sodanya dihitung berdasarkan kebutuhan pH reference.
11. Flow Rate Soda, adalah volume larutan Soda yang diinjeksikan

Contoh Perhitungan :

- Flow Raw Water : 15,599,286.10 ltr/day
- pH Raw Water : 5.66
- Mol Weight NaOH : 40 kg/kg mol
- Air Pelarut : 12,000 ltr/day
- p[OH] Raw Water : $(14 - 5.66) = 8.34$
- [OH] Raw Water : $10^{(-8.34)} = 4.57088 \times 10^{-9}$
- pH Refference : 7.5
- p[OH] Refference : $(14 - 7.5) = 6.5$
- [OH] Refference : $10^{(-6.5)} = 3.16228 \times 10^{-7}$

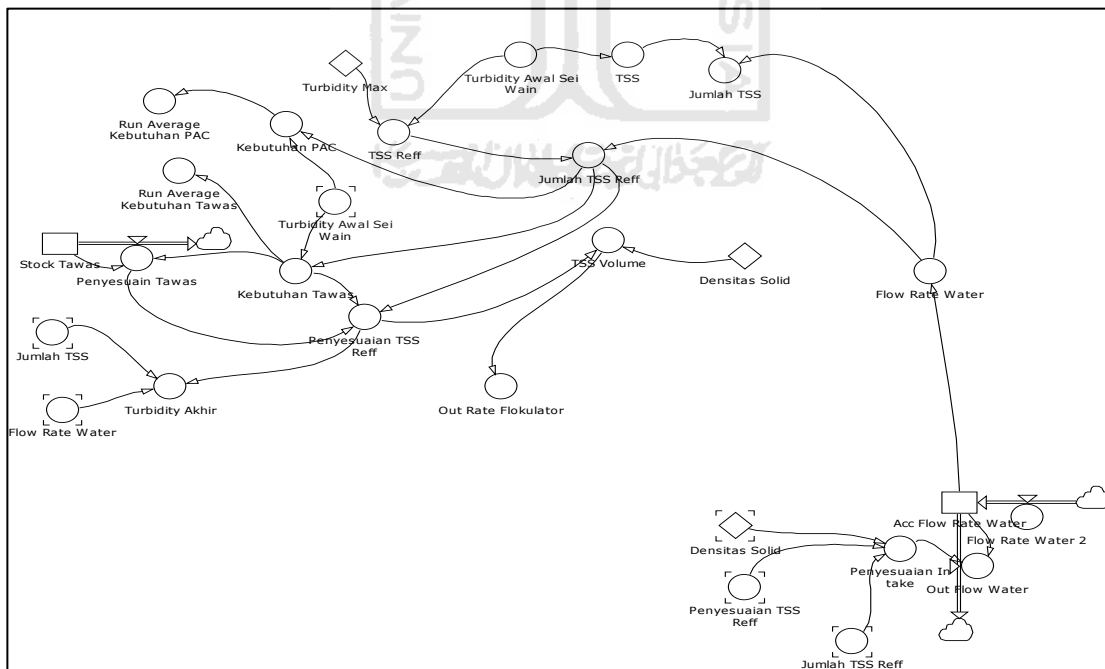
- [OH] NaOH :

$$\frac{3.16228 \times 10^{-7} \times 15,599,286.10 \frac{\text{ltr}}{\text{day}} + 12,000 \frac{\text{ltr}}{\text{day}} - 4.57088 \times 10^{-9} \times 15,599,286.10 \frac{\text{ltr}}{\text{day}}}{12,000 \frac{\text{ltr}}{\text{day}}}$$

$$= 0.00040545$$
- Molaritas NaOH : $1 \times 0.00040545 \text{ kg mol/ltr} = 0.00040545 \text{ kg mol/ltr}$
- Kebutuhan NaOH : $0.00040545 \text{ kg mol/ltr} \times 12,000 \text{ ltr/day} \times 40 \text{ kg/kgmol}$
 $= 194.616 \text{ kg/day}$

4.2.3. Model Kebutuhan Tawas dan PAC

Diagram komposisi kebutuhan Tawas dan PAC menggambarkan kebutuhan Tawas dan PAC terhadap kebutuhan penurunan *turbidity reference* yang diinginkan. Sehingga kemudian diperoleh kebutuhan Tawas dan PAC secara statistik sebagai masukan untuk menurunkan *turbidity* air baku dari Sei Wain.



Gambar 4.4. Flow Diagram Simulasi Kebutuhan Tawas dan PAC

Rumus Matematis untuk kebutuhan Tawas dan PAC adalah sebagai berikut :

No	Variable	Rumus Matematis
1	Flow Rate water 2	GRAPH(DAY(),1,1,{14290740.38, 13131033.73, 14477200.00, 15599286.10, 13952000.00, 13372140.70, 10938613.60, 14953665.33, 15972395.06, 13326101.92, 12061010.76, 13481236.36, 13212057.60, 13238800.60, 13454069.70, 13000271.47, 16969248.86, 15979520.00, 17520000.00, 14186428.64, 12449763.66, 11812589.11, 14523713.51, 11795143.87, 10417554.07, 14190410.15, 13983157.59, 14320648.29, 14212493.02})*1<<liter/da>>
2	Flow Rate Water	IF('Acc Flow Rate Water'/1<<da>><=0<<liter/da>>,0<<liter/da>>,'Acc Flow Rate Water'/1<<da>>)
3	Turbidity Max	5.25<<NTU>>
4	TSS Reff	((('Turbidity Awal Sei Wain'-Turbidity Max')*3.4216)*1<<mg/liter/NTU>>)/1000 <<mg/kg>>)*1<<liter/m3>>
5	Turbidity awal Sei Wain	GRAPH(DAY(),1,1,{19.82, 19.37, 19.97, 20.25, 20.10, 23.33, 18.30, 17.83, 21.72, 20.15, 17.00, 16.68, 17.20, 20.03, 19.92, 22.45, 23.02, 23.40, 21.72, 16.92, 21.90, 18.17, 19.65, 18.70, 17.08, 20.15, 20.75, 19.00, 22.35, 19.23, 20.00})*1<<NTU>>
6	TSS	((('Turbidity Awal Sei Wain'*3.4216)*1<<mg/liter/NTU>>)*1<<kg>>/1000000<<mg>>)*1000<<liter/m3>>
7	Jumlah TSS	(('Flow Rate Water'/1000<<liter/m3>>)*TSS)
8	Jumlah TSS Reff	(('Flow Rate Water'/1000<<liter/m3>>)*TSS Reff')
9	Kebutuhan PAC	IF('Turbidity Awal Sei Wain'<=30<<NTU>>,(9.0483*LN('Jumlah TSS Reff'*1<<da/kg>>)+8.5146)*1<<kg/da>>),((0.0351*Jumlah TSS Reff')+(7.7295*1<<kg/da>>)))
10	Kebutuhan Tawas	IF('Turbidity Awal Sei Wain'<=30<<NTU>>,(48.576*LN('Jumlah TSS Reff'*1<<da/kg>>)-108.01)*1<<kg/da>>),(118.84*EXP(0.0004*('Jumlah TSS Reff'*1<<da/kg>>)))<<kg/da>>))
11	Penyesuaian	MIN('Stock Tawas'/1<<da>>,'Kebutuhan Tawas')

	Tawas	
12	Penyesuaian TSS Reff	IF('Kebutuhan Tawas'='Penyesuain Tawas','Jumlah TSS Reff',(((2.71828^(((Penyesuain Tawas'/1<<kg/da>>))+108.01)/48.576))))*1<<kg/da>>))
13	TSS volume	'Penyesuaian TSS Reff'/'Densitas Solid'
14	Densitas solid	1.6<<kg/m3>>
15	Out rate Flokulator	('Flow rate intake flokulator'/1000<<liter/m3>>)-'TSS Volume'
16	Turbidity akhir	((('Jumlah TSS'-'Penyesuaian TSS Reff')*1000000<<mg/kg>>)/'Flow Rate Water')/3.4216<<(mg/liter)/NTU>>
17	Penyesuaian Intake	((IF('Jumlah TSS Reff'-'Penyesuaian TSS Reff')>0<<kg/da>>,(((('Jumlah TSS Reff'^2)*1<<da/kg>>)-'Penyesuaian TSS Reff')/'Densitas Solid'),0<<m3/da>>))*1000<<liter/m3>>)

Variable yang terdapat dalam *Flow Diagram* simulasi kebutuhan kebutuhan Tawas dan PAC adalah sebagai berikut :

1. Flow Rate water 2 adalah flow air baku dari Sei Wain yang merupakan intake dari WTP-I dengan data masukan flow per hari selama 30 hari
2. Flow Rate Water adalah Flow rate intake WTP-I dari Sei Wain
3. Turbidity Max adalah angka turbidity yang kita buat sebagai masukan untuk menentukan berapa turbidity akhir yang dapat diperoleh
4. TSS Reff adalah formulasi untuk melakukan konversi dari selisih antara turbidity yang kita inginkan (turbidity max) dengan turbidity awal Sei Wain ke satuan total suspended solid (TSS)
5. Turbidity awal Sei Wain adalah pH air dari Sei Wain yang merupakan intake dari WTP-I
6. TSS adalah formulasi untuk melakukan konversi dari turbidity awal Sei Wain ke satuan total suspended solid (TSS)
7. Jumlah TSS adalah jumlah suspended solid yang terkandung dalam air baku WTP-I (air dari Sei Wain)

8. Jumlah TSS Reff adalah jumlah suspended solid yang terkandung dalam selisih antara turbidity yang kita inginkan (turbidity max) dengan turbidity awal Sei Wain
9. Kebutuhan PAC adalah massa PAC yang dibutuhkan untuk menurunkan turbidity berdasarkan hasil perhitungan
10. Kebutuhan tawas adalah massa tawas yang dibutuhkan untuk menurunkan turbidity berdasarkan hasil perhitungan
11. Penyesuaian Tawas adalah simulasi jika tawas dalam kondisi minimum stock, karena dikhawatirkan kedatangan tawas terlambat sehingga perlu dibuatkan simulasi yang mendukung kejadian tersebut
12. Penyesuaian TSS Reff merupakan opsi apabila tawas dalam kondisi minimum stock
13. TSS volume merupakan konversi dari massa menjadi volume dari suspended solid yang harus dikeluarkan melalui saluran pembuangan (drainase)
14. Densitas solid merupakan densitas dari suspended solid yang digunakan untuk mengkonversi massa solid ke volume ataupun sebaliknya
15. Out rate Flokulator merupakan volume air yang keluar dari Unit Flokulator
16. Turbidity akhir merupakan turbidity hasil pengolahan di Unit Flokulator
17. Penyesuaian intake digunakan untuk mengantisipasi kondisi ekstrem, dimana tawas sudah tidak tersedia, maka intake akan menyesuaikan turbidity akhir.

Contoh Perhitungan :

- Flow Raw Water : 15,599,286.10 ltr/day
- Turbidity Awal S. Wain : 20.25 NTU
- Turbidity Refference : 5.25 NTU
- Air Pelarut : 12,000 ltr/day
- 1 NTU : 3.4216 mg/ltr.NTU
- TSS Awal S. Wain : (20.25 NTU x 3.4216 mg/ltr.NTU)
= 69.2874 mg/ltr / 1,000,000 mg/kg x 1,000

- $1\text{tr}/\text{m}^3 = 0.0693 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Jumlah TSS : $0.0693 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 649.9703 \text{ m}^3/\text{hr}$
 $= 44.07 \text{ kg}/\text{hr} \times 24 \text{ hr}/\text{day} = 1,058 \text{ kg}/\text{day}$
 - TSS Reff : $(20.25 \text{ NTU} - 5.25 \text{ NTU}) \times 3.4216 \text{ mg}/\text{ltr}.\text{NTU}$
 $= 51.324 \text{ mg}/\text{ltr}/1,000,000 \text{ mg}/\text{kg} \times 1,000 \text{ ltr}/\text{m}^3$
 $= 0.051 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - Jumlah TSS Reff : $0.051 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 649.9703 \text{ m}^3/\text{hr}$
 $= 33.15 \text{ kg}/\text{hr} \times 24 \text{ hr}/\text{day} = 796 \text{ kg}/\text{day}$
 - Kebutuhan PAC : $((9.0483 \times \text{LN}(796))) \text{ kg}/\text{day} + 8.5146 \text{ kg}/\text{day}$
 $= 68.95 \text{ kg}/\text{day}$
 - Kebutuhan Tawas : $((48.576 \times \text{LN}(796))) \text{ kg}/\text{day} - 108.01 \text{ kg}/\text{day}$
 $= 216.46 \text{ kg}/\text{day}$

4.3. Hasil Simulasi

4.3.1. Parameter Operasi

Parameter operasi yang dijadikan acuan penelitian meliputi:

1. Aliran Air Umpan

Aliran air umpan dalam proses pengolahan air di WTP-I digunakan sebagai parameter penelitian karena pengaturan aliran air umpan dilakukan secara manual tanpa ada kendali otomatis, disamping itu dalam penelitian ini besarnya aliran air umpan ini sangat berpengaruh pada besarnya kebutuhan bahan kimia untuk pengolahan air di WTP-I.

2. pH Raw Water

pH raw water (pH air umpan) akan mempengaruhi pemakaian bahan kimia, khususnya adalah penggunaan caustic soda (NaOH).

3. Turbidity Raw Water

Turbidity raw water (turbidity air umpan) akan mempengaruhi pemakaian bahan kimia Alumunium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Poly Alumunium Chloride (PAC).

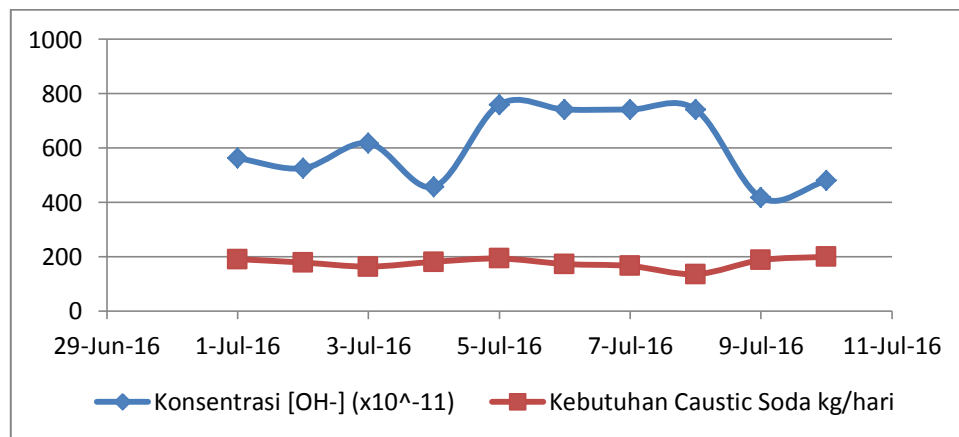
Semua parameter operasi diuji terhadap dampaknya pada pemakaian bahan kimia caustic soda (NaOH), Alumunium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Poly Alumunium Chloride (PAC), yang berguna dalam pembuatan model simulasi untuk mengeliminasi ketergantungan jar tes untuk merubah parameter operasi.

4.3.2. Simulasi Terhadap Kondisi Operasi

Kapasitas operasi disimulasikan pada kondisi actual selama sepuluh hari dengan flow, pH, dan turbidity air baku yang berbeda-beda guna melihat seberapa besar pengaruh kondisi tersebut terhadap penggunaan caustic soda, tawas, dan PAC, kemudian dibandingkan dengan kondisi actual.

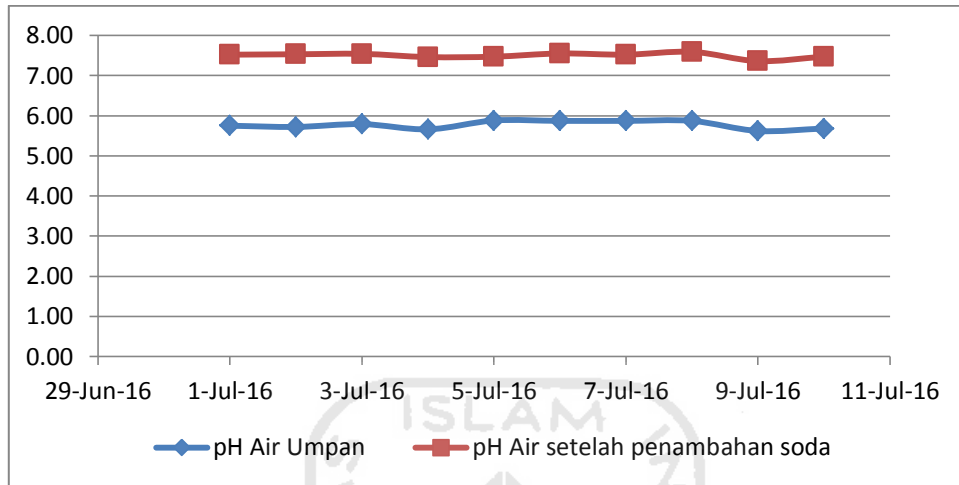
A. Perubahan Kebutuhan Caustic Soda

Kebutuhan caustic soda akan meningkat tatkala konsentrasi $[\text{OH}^-]$ meningkat, sementara peningkatan konsentrasi $[\text{OH}^-]$ dipengaruhi oleh delta pH dan banyak aliran umpan WTP-I.



Gambar 4.5. Perubahan konsentrasi $[\text{OH}^-]$ terhadap kebutuhan caustic soda

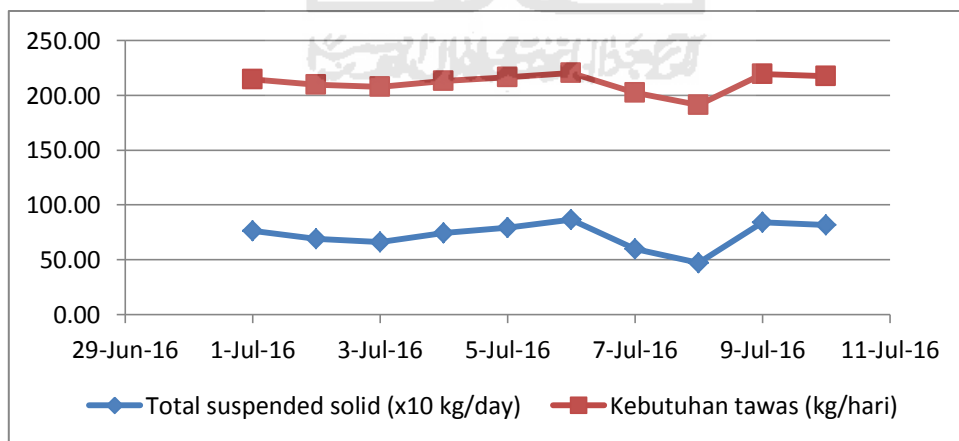
Perubahan pH setelah penambahan caustic soda dapat digambarkan seperti dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.6. Perubahan pH setelah penambahan caustic soda

B. Perubahan Kebutuhan Tawas

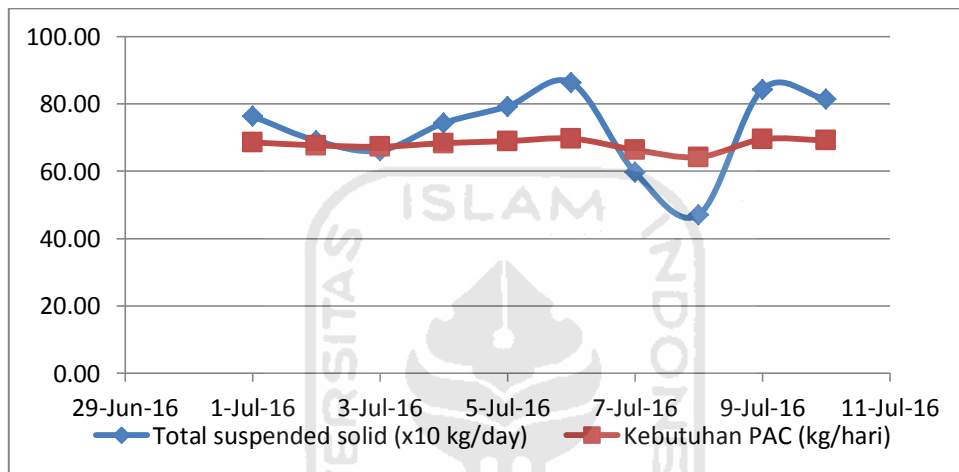
Kebutuhan tawas akan meningkat tatkala konsentrasi jumlah total suspended solid meningkat, dimana jumlah total suspended solid juga dipengaruhi oleh banyaknya aliran air umpan WTP-I.



Gambar 4.7. Perubahan Total Suspended Solid (TSS) terhadap kebutuhan Tawas

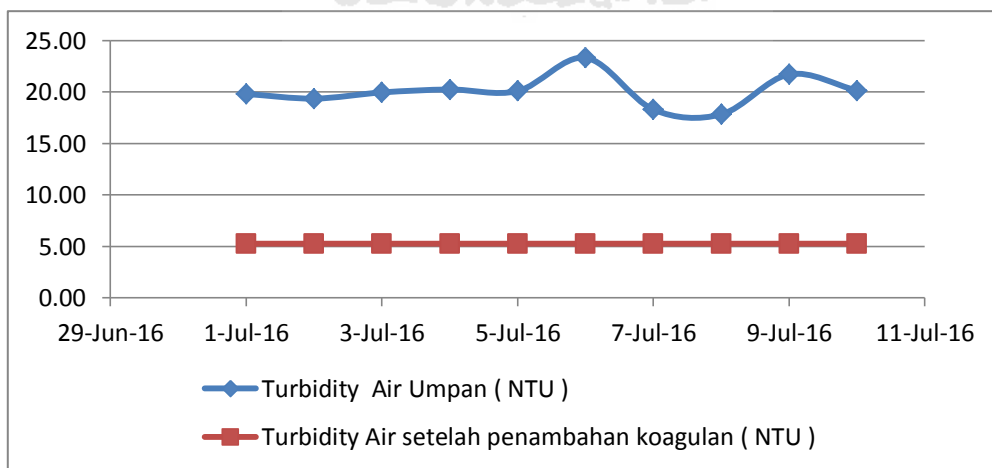
C. Perubahan Kebutuhan PAC

Tidak seperti halnya kebutuhan tawas, kebutuhan PAC hanya akan sedikit meningkat tatkala konsentrasi jumlah total suspended solid meningkat, hal ini dikarenakan sifat dari PAC itu sendiri akan mempercepat pengendapan zat terlarut pada proses koagulasi (Noviani, Hardina, 2012).



Gambar 4.8. Perubahan Total Suspended Solid (TSS) terhadap kebutuhan PAC

Perubahan turbidity setelah penambahan tawas dan PAC dapat digambarkan seperti dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4.9. Perubahan Turbidity setelah penambahan Tawas dan PAC

4.4. Validasi

1. Validasi Tawas

Uji validasi dilakukan dengan uji error rate (Suryani et al, 2010). Data yang diuji dengan cara membandingkan nilai kebutuhan tawas aktual dengan kebutuhan tawas hasil simulasi. Pengujian dilakukan sesuai dengan kondisi operasional awal dengan rata-rata kebutuhan tawas sebesar.

Perhitungan error rate dilakukan sebagai berikut::

- a. Rata – rata actual data : 207.20 kg/hari
- b. Rata – rata simulasi : 209.23 kg/hari
- c. Jumlah data : 30

$$Error\ rate = \frac{S-A}{A}$$

$$Error\ rate = \frac{209.23-207.20}{207.20}$$

$$Error\ rate = 0.01$$

$$Error\ rate = 1.00 \%$$

Berdasarkan uji validasi error rate diperoleh nilai 1.00 % lebih rendah dari 5%. Sehingga dapat dikatakan bahwa model simulasi valid.

2. Validasi PAC

Uji validasi dilakukan dengan uji error rate (Suryani et al, 2010). Data yang diuji dengan cara membandingkan nilai kebutuhan tawas aktual dengan kebutuhan PAC hasil simulasi. Pengujian dilakukan sesuai dengan kondisi operasional awal dengan rata-rata kebutuhan PAC sebesar 70.32 kg/hari.

Perhitungan error rate dilakukan sebagai berikut:

- d. Rata – rata actual data : 70.32 kg/hari
- e. Rata – rata simulasi : 67.57 kg/hari
- f. Jumlah data : 30

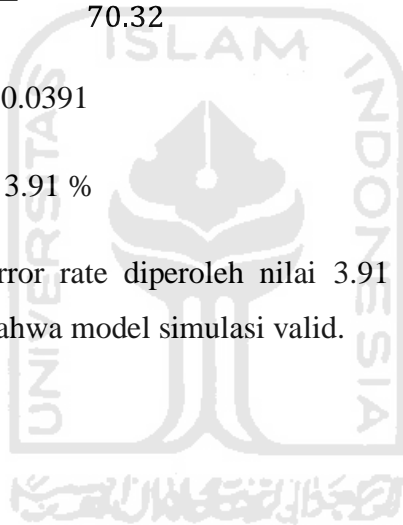
$$\text{Error rate} = \frac{S - A}{A}$$

$$\text{Error rate} = \frac{67.57 - 70.32}{70.32}$$

$$\text{Error rate} = 0.0391$$

$$\text{Error rate} = 3.91 \%$$

Berdasarkan uji validasi error rate diperoleh nilai 3.91 % lebih rendah dari 5%.
Sehingga dapat dikatakan bahwa model simulasi valid.



Berikut data kebutuhan tawas dan PAC simulasi dan actual :

Tabel 4.3. Data Injeksi tawas dan PAC

Parameter	Injeksi Tawas Aktual	Injeksi Tawas Simulasi	Injeksi PAC Aktual	Injeksi PAC Simulasi
Unit	kg/hari	kg/hari	kg/hari	kg/hari
01-Jul-16	206.11	214.42	70.57	68.57
02-Jul-16	223.28	209.55	71.67	67.67
03-Jul-16	206.11	207.46	71.28	67.28
04-Jul-16	197.52	213.11	69.33	68.33
05-Jul-16	188.93	216.25	67.30	66.30
06-Jul-16	186.79	220.39	70.92	68.92
07-Jul-16	214.70	202.49	72.69	69.69
08-Jul-16	214.70	190.95	67.20	64.20
09-Jul-16	223.28	219.23	71.47	69.47
10-Jul-16	231.87	217.56	73.16	69.16
11-Jul-16	210.40	197.23	68.37	65.37
12-Jul-16	212.55	191.04	67.22	64.22
13-Jul-16	223.28	198.61	66.63	65.63
14-Jul-16	180.35	207.95	68.37	67.37
15-Jul-16	182.49	207.69	71.32	67.32
16-Jul-16	197.52	216.20	71.91	68.91
17-Jul-16	180.35	216.12	69.89	68.89
18-Jul-16	206.11	230.09	73.49	71.49
19-Jul-16	223.28	222.45	74.07	70.07
20-Jul-16	223.28	210.19	70.79	67.79
21-Jul-16	206.11	217.20	73.09	69.09
22-Jul-16	206.11	198.53	68.61	65.61
23-Jul-16	206.11	201.25	68.12	66.12
24-Jul-16	188.93	207.97	70.37	67.37
25-Jul-16	206.11	191.63	67.33	64.33
26-Jul-16	214.70	196.80	69.29	65.29
27-Jul-16	228.19	213.73	71.45	68.45
28-Jul-16	218.99	207.20	70.23	67.23
29-Jul-16	197.52	218.95	72.42	69.42
30-Jul-16	210.40	208.80	70.97	67.53
Rata-Rata	207.20	209.03	70.32	67.57

Selain melakukan uji error rate, untuk melakukan validasi simulasi, dilakukan uji komparasi berpasangan dengan uji *paired sample T test* dengan membandingkan data aktual dengan data simulasi.

Untuk mendapatkan kepastian data layak atau tidak di jadikan masukan untuk simulasi, digunakan uji normalitas data dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4. Uji Normalitas Injeksi Tawas

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tawas_Sebelum	.170	30	.027	.947	30	.140
Tawas_Sesudah	.127	30	.200*	.964	30	.396

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

- a. Berdasarkan output test of normality Shapiro-Wilk diperoleh nilai signifikansi semua parameter lebih besar dari >0.05 , maka dapat disimpulkan bahwa data Tawas_Sebelum dan Tawas_Sesudah berdistribusi normal.
- b. Berdasarkan output test of normality Kolmogorov-Smirnov diperoleh nilai signifikansi parameter Tawas_Sebelum lebih besar dari >0.05 dan parameter Tawas_Sesudah lebih kecil dari <0.05 maka dapat disimpulkan bahwa data Tawas_Sebelum berdistribusi normal sedangkan data Tawas_Sesudah berdistribusi tidak normal.

Dari data diatas cukup dipilih salah satu metode saja yang berdistribusi normal, maka data tersebut dianggap terdistribusi normal. Karena semua data terdistribusi normal, maka data tersebut dapat digunakan untuk melakukan uji *paired sample T test*.

Tabel 4.5. Uji *paired sample T test* Injeksi Tawas

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Tawas_Aktual - Tawas_Simulasi	-1.83233	18.69446	3.41313	-8.81296	5.14829	-.537	29	.595

Dari hasil uji tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai *sig. (2-tailed)* > 0.05, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi actual dengan simulasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa simulasi kebutuhan tawas dengan analisa menggunakan jar tes tidak ada perbedaan, sehingga simulasi kebutuhan tawas sudah dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk kebutuhan tawas pada proses pengolahan air di WTP-I.

Untuk uji normalitas injeksi PAC data dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6. Uji Normalitas Injeksi PAC

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PAC_Actual	.091	30	.200*	.960	30	.312
PAC_Simulasi	.128	30	.200*	.964	30	.392

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

- c. Berdasarkan output test of normality Shapiro-Wilk diperoleh nilai signifikansi semua parameter lebih besar dari >0.05, maka dapat disimpulkan bahwa data PAC_Sebelum dan PAC_Sesudah berdistribusi normal.
- d. Berdasarkan output test of normality Kolmogorov-Smirnov diperoleh nilai signifikansi semua parameter lebih besar dari >0.05, maka dapat disimpulkan bahwa data PAC_Sebelum dan PAC_Sesudah berdistribusi normal.

Dari data diatas dapat terlihat bahwa data berdistribusi normal, maka data tersebut dapat digunakan untuk melakukan uji *paired sample T test*.

Tabel 4.7. Uji *paired sample T test* Injeksi PAC

Paired Samples Test									
		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	PAC_Actual - PAC_Simulasi	2.74800	1.02197	.18659	2.36639	3.12961	14.728	29	.000

Dari hasil uji tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai *sig. (2-tailed)* < 0.05, maka terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi actual dengan simulasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa simulasi kebutuhan PAC masih perlu dipertimbangkan kembali untuk digunakan sebagai bahan acuan kebutuhan PAC pada proses pengolahan air di WTP-I.

4.5. Desain Eksperimen

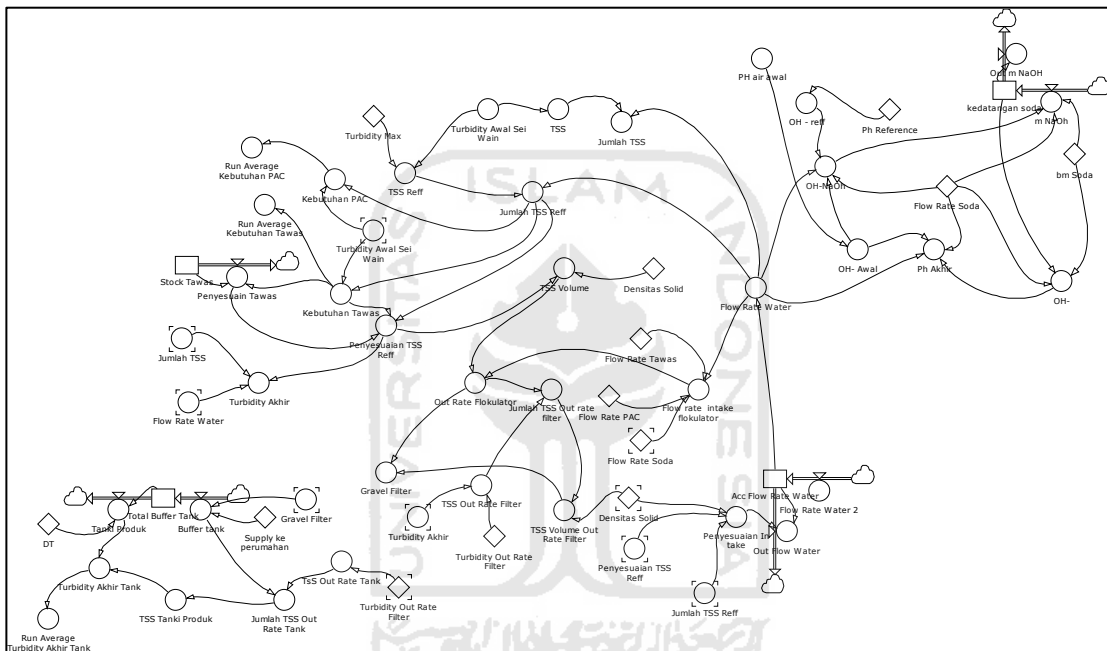
Setelah melalui proses pengolahan di WTP-I, air produk dibagi kedalam 2 (dua) stream, yaitu untuk air minum dan MCK ke kilang dan perumahan, sebagian lagi untuk digunakan sebagai air industry yang digunakan sebagai air umpan di Demineralization Plant. Ada 2 (dua) parameter utama yang harus dipenuhi untuk keperluan tersebut, yaitu : tingkat kekeruhan air (*Turbidity*) dan kemampuan daya hantar listrik (*Conductivity*). Berdasarkan kondisi actual, parameter *conductivity* dari air industry tersebut sudah memenuhi persyaratan yaitu rata-rata 55.99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ versus maksimum 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sedangkan parameter *turbidity* masih berada diatas yang dipersyaratkan yaitu 1.25 NTU versus < 1 NTU.

Berdasarkan kondisi tersebut masih diperlukan tambahan proses dengan tujuan untuk menurunkan angka *turbidity* hingga mencapai angka dibawah 1 NTU. Desain eksperimen yang cocok untuk menurunkan angka *turbidity* tersebut adalah dengan menambah waktu pengendapan dari air produk yang akan dikirim ke

Demineralization Plant dengan memanfaatkan fasilitas tangka eksisting sebagai *buffer tank*.

3. Model

Pemodelan yang dibuat hanya bersifat modifikasi proses yang sudah ada. Adapun *Flow diagram* (FD) yang dibangun adalah sebagai berikut :

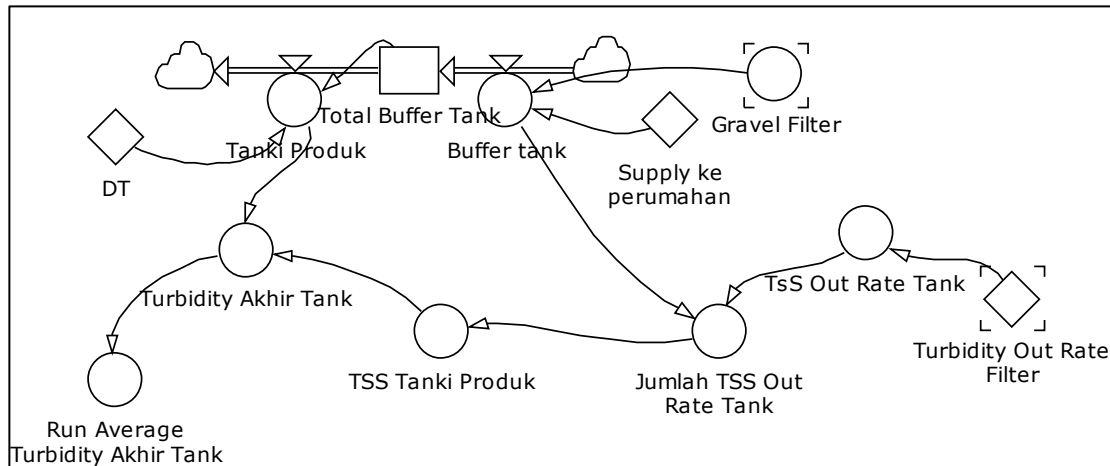


Gambar 4.10 *Flow Diagram* Desain Eksperimen

4. Model Penambahan *Buffer Tank*

Penambahan *buffer tank* dimaksudkan untuk menambahkan waktu pengendapan, sehingga suspended solid yang masih terkandung didalam air industry dapat dikurangi dengan tujuan akhir kandungan *turbidity* dapat dikurangi.

Penambahan waktu pengendapan mengacu pada Hukum Stokes untuk Pengendapan partikel dan ditentukan waktu pengendapannya sesuai dengan kondisi kebutuhan air itu sendiri. Sesuai kebutuhan air, dapat ditentukan waktu pengendapan kurang lebih 24 jam, dengan hasil sebagai berikut :



Gambar 4.10 Flow Diagram Penambahan Buffer Tank

Rumus Matematis untuk penambahan *buffer tank* adalah sebagai berikut :

No	Variable	Rumus Matematis
1	Turbidity out rate filter	1.82<<NTU>>
2	Gravel Filter	'Out Rate Flokulator'-'TSS Volume Out Rate Filter'
3	Supply ke perumahan & kilang	6500<<m ³ /da>>
4	TSS out rate tank	((('Turbidity Out Rate Filter')*3.4216)*1<<mg/liter/NTU>>)/1000<<mg/kg>>)*1<<liter/m ³ >>
5	Jumlah TSS out rate tank	'Buffer tank'*'TSS Out Rate Tank'
6	TSS Tanki produk	'Jumlah TSS Out Rate Tank'-(0.6006*'Jumlah TSS Out Rate Tank')
7	Turbidity akhir tank	((('TSS Tanki Produk')/('Tanki Produk'*1<<kg/m ³ >>))*1000<<mg/liter>>)/3.4216)*1<<NTU>>/1<<mg/liter>>

Variable yang terdapat dalam *Flow Diagram* penambahan *buffer tank* adalah sebagai berikut :

1. Turbidity out rate filter adalah angka turbidity rata-rata yang dapat dicapai di out rate filter

2. Gravel filter dimaksud adalah volume air keluar gravel filter yang akan dialirkan ke buffer tank
3. Supply ke perumahan dan kilang, merupakan jumlah yang dialirkan ke kilang & perumahan sebagai sarana air bersih
4. TSS out rate tank adalah formulasi untuk melakukan konversi dari turbidity keluar dari gravel filter ke satuan total suspended solid (TSS)
5. Jumlah TSS outrate tank adalah jumlah suspended solid yang terkandung dalam air intake *buffer tank*
6. Jumlah TSS Tanki produk adalah jumlah suspended solid yang tersisa dalam tanki produk
7. Turbidity akhir merupakan turbidity keluar *buffer tank* menuju tanki produk

Contoh Perhitungan :

- Flow Raw Water : 15,599,286.10 ltr/day
- Densitas Solid : 1.6 kg/m³
- TSS Volume : 796 kg/day / 1.6 kg/m³ = 497.5 m³/day
- Air out Rate Flokulator : (649.9703 m³/hr x 24 hr/day) - 497.5 m³/day
= 15,101.79 m³/day
- 1 NTU : 3.4216 mg/ltr.NTU
- Turb. Out Rate Flokulator : 2.52 NTU
- Turb. Out Filter : 1.82 NTU
- TSS Out Rate Flokulator : (2.52 NTU x 3.4216 mg/ltr.NTU)
= 8.6224 mg/ltr / 1,000,000 mg/kg x 1,000
ltr/m³ = 0.0086 kg/m³
- TSS Out Filter : (1.82 NTU x 3.4216 mg/ltr.NTU)
= 6.2273 mg/ltr / 1,000,000 mg/kg x 1,000
ltr/m³ = 0.0062 kg/m³
- TSS Out Rate Filter : (0.0086 kg/m³ - 0.0062 kg/m³)

- = 0.0024 kg/m³
- TSS Volume Out Rate Filter : 0.0024 kg/m³ x 15,101.79 m³/day
= 36.24 m³/day
- TSS Out Rate Tank : $\frac{1.82 \text{ NTU} \times 3.4216 \frac{\text{mg}}{\text{ltr.NTU}} \times 1,000 \text{ ltr/m}^3}{1,000,000 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}} = 0.0062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Gravel Filter : 15,101.79 m³/day - 36.24 m³/day
= 15,065.55 m³/day
- Supply ke Perumahan : 6,500 m³/day
- Volume Air di Buffer Tank : 15,065.55 m³/day - 6,500 m³/day
= 8,565.55 m³/day
- Jumlah TSS Out Rate Tank : 8,565.55 m³/day x 0.0062 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ = 53.11 kg/day
- Jari-jari Partikel : 0.000346 m
- Koefisien Viskositas fluida : 0.001 Pa. dtk
- Percepatan gravitasi : 9.81 m/dtk²
- Massa Jenis Partikel : 1.6 kg/m³
- Massa Jenis Fluida : 1.0 kg/m³
- Waktu Pengendapan : $\frac{2 \times 0.000346^2 \text{ m}^2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{dtk}^2}}{9 \times 0.001} (1.6 \text{ kg/m}^3 - 1.0 \text{ kg/m}^3)$
= 0.000157 m/dtk
- Tinggi tangki : 10 m
- Waktu Pengendapan dlm Tk : 10 m / 0.000157 m/dtk
= 63,694 dtk = 17.69 Jam
- Jika waktu yang ada untuk pengendapan adalah 12 jam atau sebesar 0.67
- Target Turbidity akhir adalah : 1.82 NTU – (0.67 x 1.82 NTU) = 0.6006 NTU
- TSS Tangki Produk : 53.11 kg/day – (0.6006 x 53.11 kg/day)
: 21.21 kg/day
- Turbidity Akhir Tank : $\frac{21.21 \text{ kg/day}}{(8,565.55 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} \times 1000 \frac{\text{mg}}{\text{ltr}} \div 3.4216 \frac{\text{mg}}{\text{ltr.NTU}}$
= 0.72 NTU

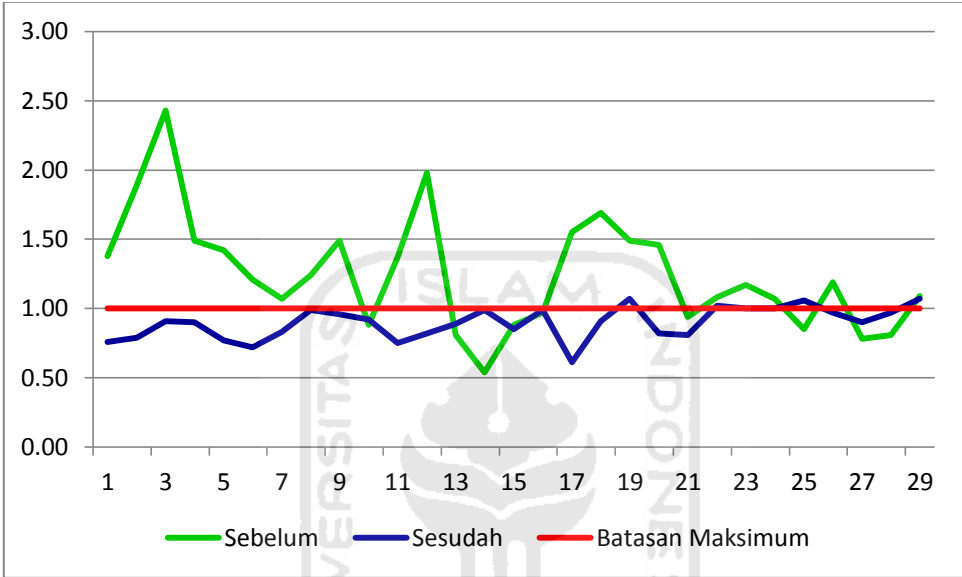
5. Report Model Desain Eksperimen

Hasil akhir dari desain eksperimen ini adalah menurunkan angka turbidity menuju Demineralization tank menjadi dibawah 1 NTU, dari data hasil eksperimen dapat terlihat bahwa turbidity akhir sudah mencapai dibawah 1 NTU.

Tabel 4.8. Turbidity Sebelum dan Sesudah Perubahan

Turbidity ke Demin Plant Sebelum Perubahan	Turbidity ke Demin Plant Sesudah Perubahan
NTU	NTU
1.38	0.76
1.89	0.79
2.43	0.91
1.49	0.90
1.42	0.77
1.21	0.72
1.07	0.83
1.24	0.99
1.49	0.96
0.88	0.92
1.37	0.75
1.98	0.82
0.81	0.89
0.54	0.99
0.88	0.85
0.97	0.99
1.55	0.61
1.69	0.91
1.49	1.07
1.46	0.82
0.94	0.81
1.08	1.02
1.17	1.00
1.07	1.00
0.85	1.06
1.19	0.97
0.78	0.90
0.81	0.97
1.09	1.07
1.25	0.90

Dari data diatas dapat terlihat terjadi penurunan Turbidity menjadi rata-rata dibawah 1 NTU dan sudah sesuai dengan yang dipersyaratkan sebagai umpan di Demineralization Plant.



Gambar 4.11 Turbidity Sebelum dan Sesudah Perubahan

BAB V

PEMBAHASAN

Pengolahan air WTP-I merupakan pengolahan air untuk kebutuhan kilang & perumahan, untuk itu tentunya kualitas air produk harus tetap terjaga sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Kondisi ini menuntut untuk membuat sebuah model yang dibangun berdasarkan variable yang ada yang mampu merepresentasikan system sebenarnya. Pada penelitian ini dipilih SD untuk merepresentasikan system untuk mengetahui perilaku injeksi koagulan terhadap parameter air produk. Model yang dibangun dimulai dengan membuat simulasi kebutuhan caustic soda terhadap kebutuhan pH untuk koagulasi dan flokulasi, kemudian berlanjut pada pembuatan model untuk menentukan kebutuhan koagulan tawas dan PAC dan pengaruhnya terhadap penurunan turbidity.

Parameter yang di ganggu atau diubah adalah perubahan aliran air umpan, perubahan pH masuk, dan perubahan turbidity air umpan. Perubahan tersebut mengikuti perubahan dari air umpan yang diolah di WTP-I. perubahan aliran umpan akan sangat berpengaruh terhadap perubahan kebutuhan baik itu digunakan untuk menaikkan pH maupun untuk proses koagulasi. Penurunan pH air umpan, jika disertai dengan kenaikan jumlah aliran air baku, maka konsentrasi $[OH^-]$ akan semakin besar dan akan disertai dengan kenaikan kebutuhan caustic soda, begitu juga sebaliknya. Koagulasi yang baik akan terjadi apabila pH air sesuai dengan kebutuhan yang dipengaruhi oleh jenis koagulan yang digunakan.

Selain parameter tersebut diatas, parameter turbidity juga mengalami perubahan sesuai dengan air yang masuk tanpa dapat dipengaruhi, turbidity yang tinggi jika disertai dengan jumlah aliran air umpan yang tinggi akan menghasilkan jumlah partikel solid akan makin bertambah besar, hal ini akan mempengaruhi

besarnya kebutuhan koagulan. Ketepatan koagulasi dapat ditentukan dengan melakukan analisa jar tes terlebih dahulu, namun akan makan waktu kurang lebih 2 jam untuk dapat melakukan perubahan kondisi operasi. Berdasarkan hal tersebut simulasi ini dilakukan agar kedepannya analisa jar tes hanya digunakan untuk pembanding saja.

Berdasarkan uji validitas error rate, kedua simulasi yaitu simulasi kebutuhan tawas dan kebutuhan PAC valid untuk dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk menentukan kebutuhan bahan kimia tersebut pada proses pengolah air di WTP-I. dengan hasil sebagai berikut :

- Berdasarkan uji validasi error rate kebutuhan tawas diperoleh nilai 1.00 % lebih rendah dari 5%. Sehingga dapat dikatakan bahwa model simulasi valid.
- Berdasarkan uji validasi error rate kebutuhan PAC diperoleh nilai 3.91 % lebih rendah dari 5%. Sehingga dapat dikatakan bahwa model simulasi valid.

Namun berdasarkan uji *paired sample T test* didapatkan sebagai berikut :

- Dari hasil uji tersebut pada kebutuhan tawas, dengan nilai nilai *sig. (2-tailed)* > 0.05 dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tawas dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk kebutuhan tawas pada proses pengolah air di WTP- I
- Dari hasil uji tersebut pada kebutuhan PAC dapat disimpulkan bahwa nilai *sig. (2-tailed)* < 0.05 dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tawas tidak dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk kebutuhan tawas pada proses pengolah air di WTP- I.

Sementara untuk hasil akhir dari desain eksperimen untuk menurunkan angka turbidity menuju Demineralization tank menjadi dibawah 1 NTU, dari data hasil eksperimen dapat terlihat bahwa turbidity akhir sudah mencapai dibawah 1 NTU.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *study* yang dilakukan, beberapa kesimpulan yang bisa diambil adalah:

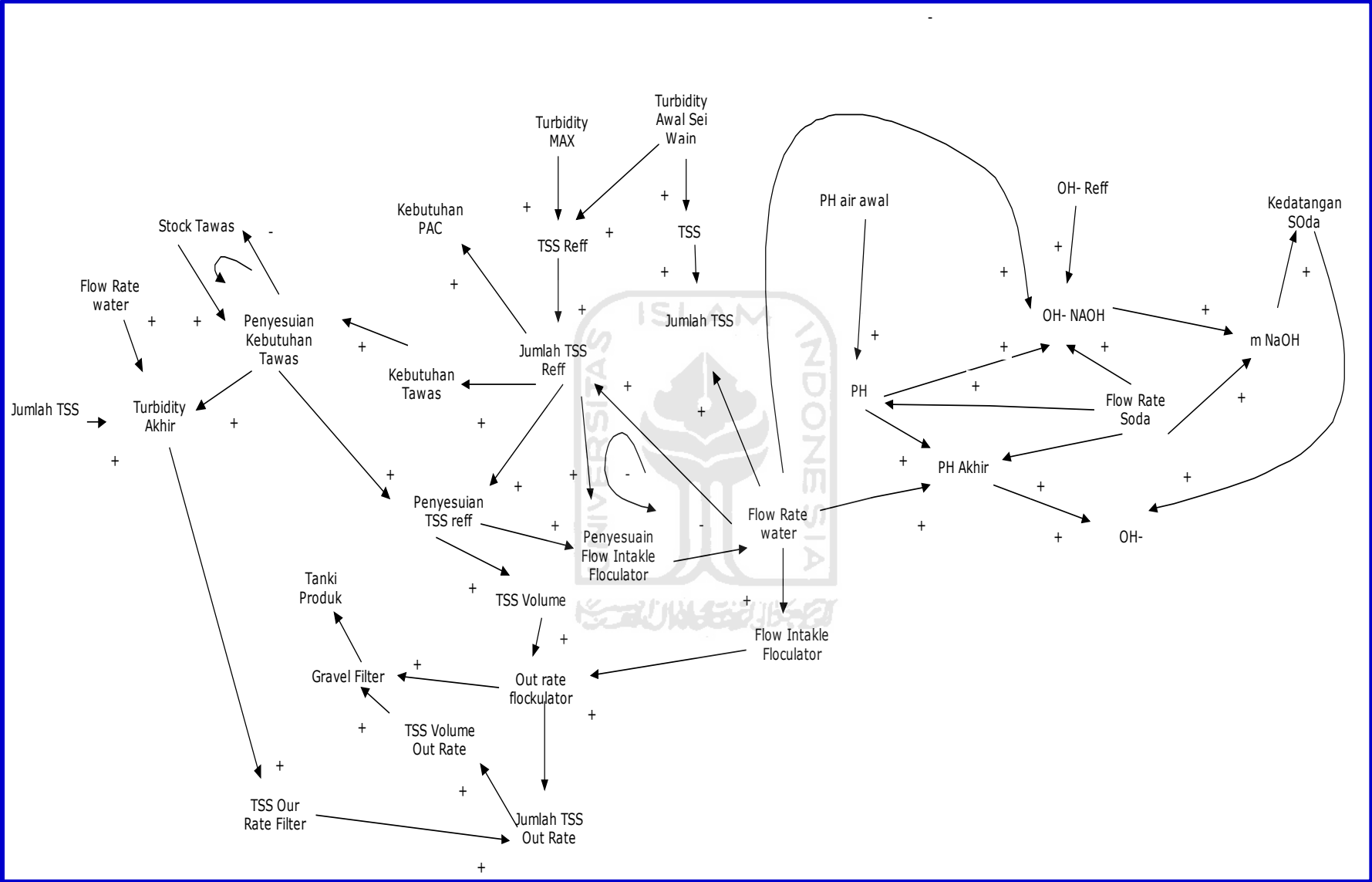
1. Dari model simulasi yang dilakukan dapat diketahui parameter operasi yang mempengaruhi pH dan turbidity dari air baku serta dapat dibuat model simulasi untuk meminimalisir delay waktu akibat analisa jar tes, analisa jar tes tetap dilakukan, namun digunakan sebagai pembanding apabila terjadi offset pada parameter operasi.
2. Desain eksperimen dilakukan dengan menambahkan waktu pengendapan setelah air produk keluar dari gravel filter. Dari penambahan waktu pengendapan tersebut, didapatkan penurunan turbidity menjadi rata-rata dibawah 1 NTU, dimana air produk tersebut langsung dapat diumpankan ke Demineralization Plant.

6.2. Saran.

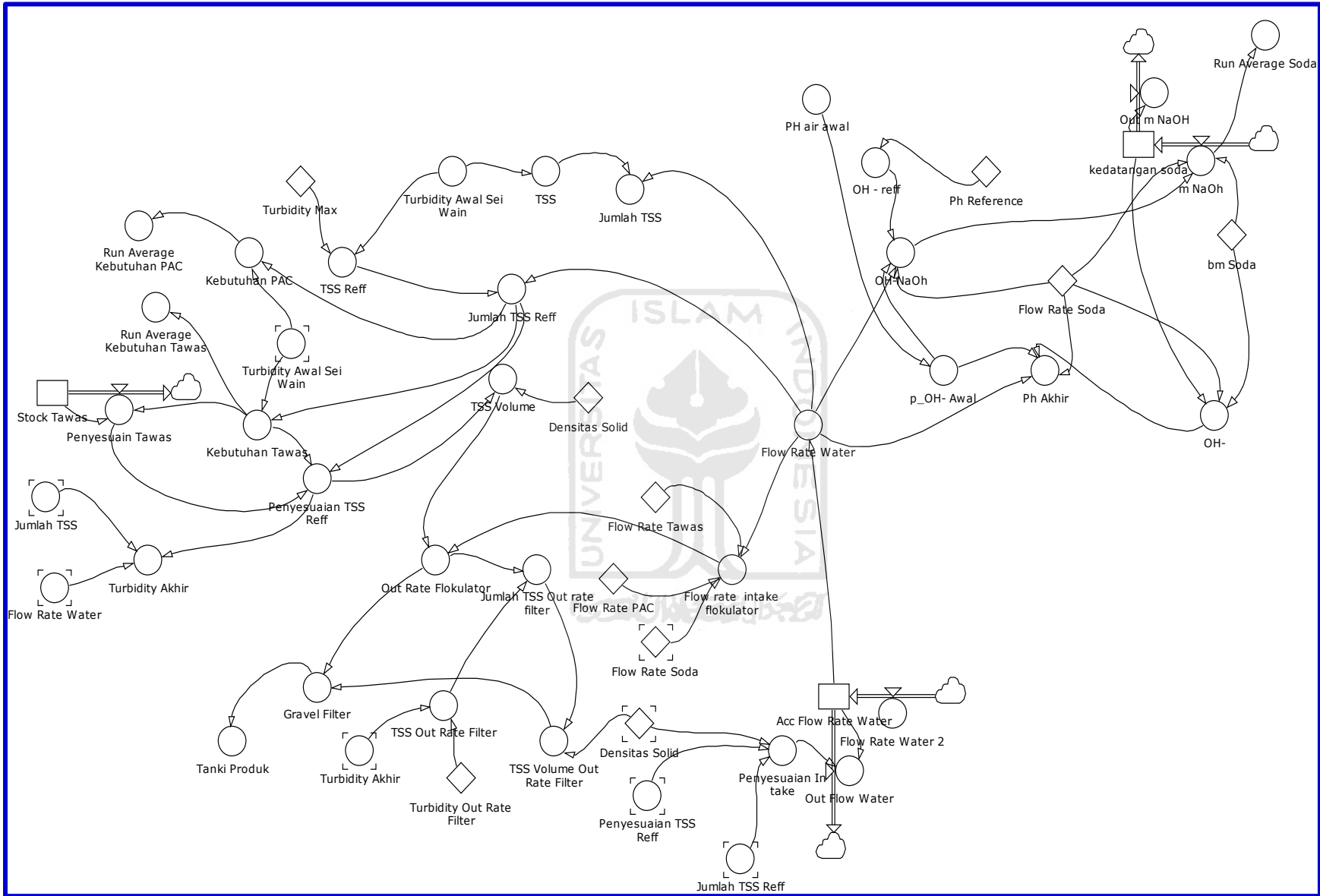
Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengaruh operasional saja yang meliputi : aliran air umpan, variasi pH umpan, dan variasi turbidity umpan terhadap penggunaan bahan kimia caustic soda dan koagulan, dan tidak mencakup biaya-biaya operasional lain dalam pengoperasian *Water Treatment Plant*. Diharapkan ada penelitian yang lebih komprehensif dan melingkupi penggunaan biaya penggunaan *fuel gas* dan biaya operasional lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

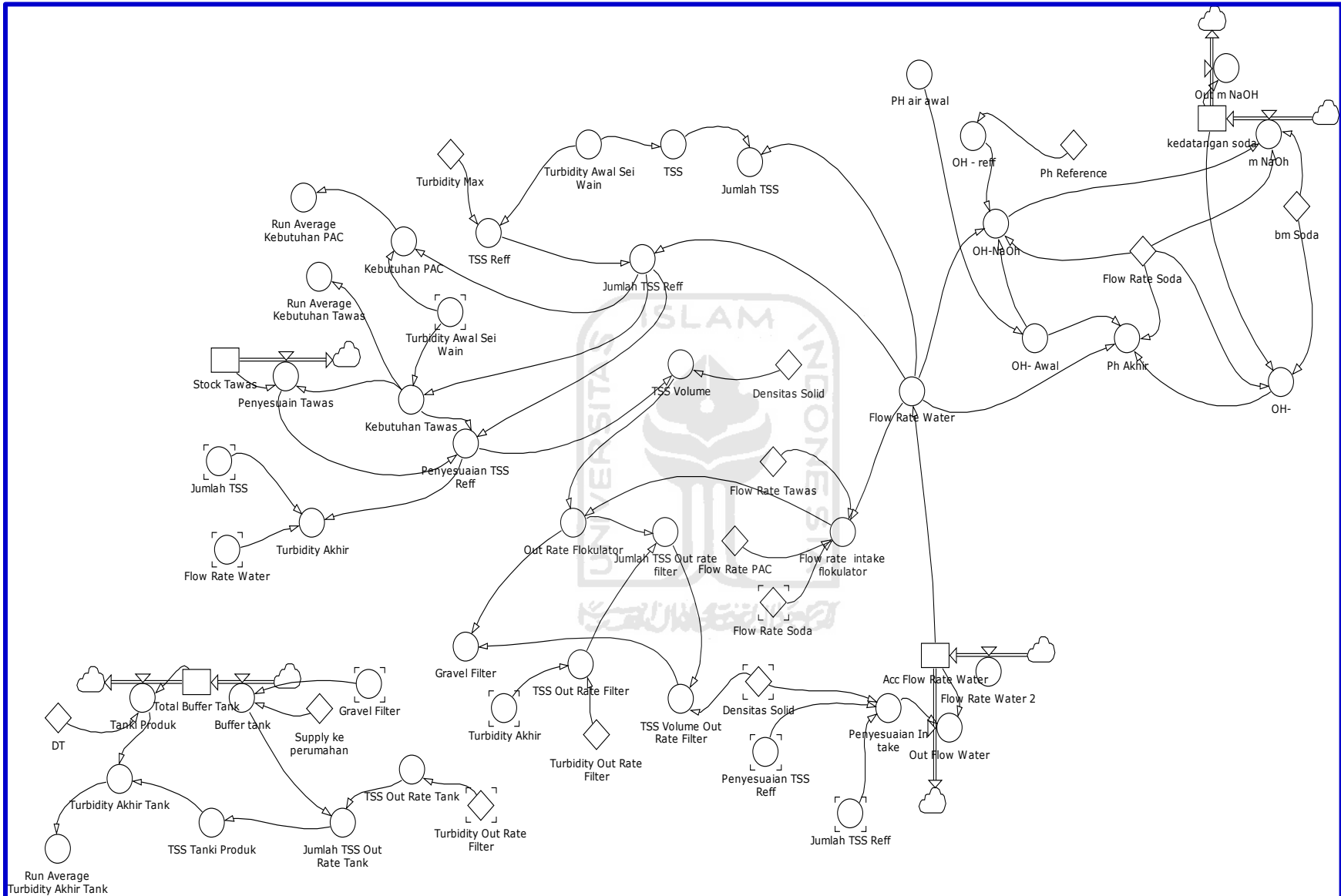
- Anonym a, *Energy Perfomance Assessment for Equipment and Utility Systems*, India Bureau of Energy Efficiency, http://www.beeindia.in/energy_managers_auditors/documents/guide_books/ (14/08/13 14.51)
- Harmini, Ratna Winandi Asmarantaka, Dan Juniar Atmakusuma, 2011, Model Dinamis Sistem Ketersediaan Daging Sapi Nasional, *Jurnal Ekonomi Pembangunan Volume 12, Nomor 1, Juni 2011, Hlm.128-146*
- James M. Lyneis, *Corporate Planning And Policy Design: A System Dynamics Approach*, The Mit Press, Cambridge Massachussets, 1980
- Kawamura, Susumu. 1991. *Intergrated Design of Water Treatment Facilities*. New York : John Willey & Sons, Inc.
- Kobayashi, Norimasa, et. Al. 1999. *Kurita Handbook of Water Treatment*, Tokyo : Kurita Water Industries Ltd.
- Montgomery, James M., 1985. *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons, Inc. USA
- Muhammad Tasrif, Buku 1, *Materi Kursus Analisis Kebijakan Menggunakan Model System Dynamics*, Program Magister Studi Pembangunan Itb, 2006.
- Richardson, George.P & Alexander L Pugh Iii. *Introduction To System Dynamics Modeling With Dynamo*. Massachussetts: Productivity Press, 1981.
- Robert, Nancy Et.Al. *Introduction To Computer Simulation: The System Dynamics Approach*. Massachussetts: Addison-Wesley Publ.Co, 1983.
- Saeed, Khalid; *Development Planning And Policy Design, A System Dynamics Approach*, Avebury Ashgate Publishing Limited, England, 1994.
- Sawyer, Clair N., 1994. *Chemistry For Environmental Engineering*, Fourth Edition. McGraw- Hill, Inc. Singapore
- System Dynamics Society, <Http://Www.Systemdynamics.Org>
- Teten W. Avianto, 2010, *System Dynamics, Kursus Analisis Kebijakan Lingkungan Menggunakan Model System Dynamics*, Pusat Studi Sumberdaya Alam Dan Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Desember 2010



Lampiran 1. Causal Loop Diagram WTP-I



Lampiran 2. Flow Diagram Simulasi Kebutuhan Bahan Kimia



Lampiran 3. Flow Diagram Desain Eksperimen

Lampiran 4

Time	Flow Rate Water (liter/da)	PH air awal (ph)	Ph Akhir (ph)	m NaOh (kg/da)
Jan 01	15,310,731.94	5.75	7.52	190.37
Jan 02	14,290,740.38	5.72	7.53	177.92
Jan 03	13,131,033.73	5.79	7.54	163.01
Jan 04	14,477,200.00	5.66	7.46	180.63
Jan 05	15,599,286.10	5.88	7.47	192.74
Jan 06	13,952,000.00	5.87	7.55	172.50
Jan 07	13,372,140.70	5.87	7.52	165.33
Jan 08	10,938,613.60	5.87	7.59	135.27
Jan 09	14,953,665.33	5.62	7.36	186.81
Jan 10	15,972,395.06	5.68	7.47	199.13
Jan 11	13,326,101.92	5.68	7.58	166.16
Jan 12	12,061,010.76	5.78	7.54	149.81
Jan 13	13,481,236.36	5.78	7.45	167.43
Jan 14	13,212,057.60	5.64	7.51	164.97
Jan 15	13,238,800.60	5.55	7.50	165.73
Jan 16	13,454,069.70	5.87	7.50	166.34
Jan 17	13,000,271.47	5.65	7.51	162.27
Jan 18	16,969,248.86	5.48	7.38	212.75
Jan 19	15,979,520.00	5.67	7.53	199.29
Jan 20	17,520,000.00	5.66	7.46	218.56
Jan 21	14,186,428.64	5.90	7.59	175.09
Jan 22	12,449,763.66	5.78	7.55	154.63
Jan 23	11,812,589.11	5.41	7.52	148.36
Jan 24	14,523,713.51	5.69	7.42	181.02
Jan 25	11,795,143.87	5.69	7.59	147.04
Jan 26	10,417,554.07	5.79	7.55	129.36
Jan 27	14,190,410.15	5.97	7.37	174.35
Jan 28	13,983,157.59	5.60	7.50	174.80
Jan 29	14,320,648.29	5.60	7.49	179.01
Jan 30	14,212,493.02	5.86	7.51	175.81

Lampiran 4. Hasil Simulasi Kebutuhan NaOH

Lampiran 5

Time	Flow Rate Water (liter/da)	Ph Akhir (ph)	Turbidity Awal Sei Wain (NTU)	Kebutuhan Tawas (kg/da)	Kebutuhan PAC (kg/da)	Turbidity Akhir (NTU)
Jan 01	15,310,731.94	7.52	19.82	214.42	68.57	5.25
Jan 02	14,290,740.38	7.53	19.37	209.55	67.67	5.25
Jan 03	13,131,033.73	7.54	19.97	207.46	67.28	5.25
Jan 04	14,477,200.00	7.46	20.25	213.11	68.33	5.25
Jan 05	15,599,286.10	7.47	20.10	216.25	68.92	5.25
Jan 06	13,952,000.00	7.55	23.33	220.39	69.69	5.25
Jan 07	13,372,140.70	7.52	18.30	202.49	66.35	5.25
Jan 08	10,938,613.60	7.59	17.83	190.95	64.20	5.25
Jan 09	14,953,665.33	7.36	21.72	219.23	69.47	5.25
Jan 10	15,972,395.06	7.47	20.15	217.56	69.16	5.25
Jan 11	13,326,101.92	7.58	17.00	197.23	65.37	5.25
Jan 12	12,061,010.76	7.54	16.68	191.04	64.22	5.25
Jan 13	13,481,236.36	7.45	17.20	198.61	65.63	5.25
Jan 14	13,212,057.60	7.51	20.03	207.95	67.37	5.25
Jan 15	13,238,800.60	7.50	19.92	207.69	67.32	5.25
Jan 16	13,454,069.70	7.50	22.45	216.20	68.91	5.25
Jan 17	13,000,271.47	7.51	23.02	216.12	68.89	5.25
Jan 18	16,969,248.86	7.38	23.40	230.09	71.49	5.25
Jan 19	15,979,520.00	7.53	21.72	222.45	70.07	5.25
Jan 20	17,520,000.00	7.46	16.92	210.19	67.79	5.25
Jan 21	14,186,428.64	7.59	21.90	217.20	69.09	5.25
Jan 22	12,449,763.66	7.55	18.17	198.53	65.61	5.25
Jan 23	11,812,589.11	7.52	19.65	201.25	66.12	5.25
Jan 24	14,523,713.51	7.42	18.70	207.97	67.37	5.25
Jan 25	11,795,143.87	7.59	17.08	191.63	64.33	5.25
Jan 26	10,417,554.07	7.55	20.15	196.80	65.29	5.25
Jan 27	14,190,410.15	7.37	20.75	213.73	68.45	5.25
Jan 28	13,983,157.59	7.50	19.00	207.20	67.23	5.25
Jan 29	14,320,648.29	7.49	22.35	218.95	69.42	5.25
Jan 30	14,212,493.02	7.51	19.23	208.80	67.53	5.25

Lampiran 5. Hasil Simulasi Kebutuhan Tawas dan PAC

Lampiran 6

Time	Flow Rate Water (liter/da)	Turbidity Out Rate Filter (NTU)	Tanki Produk (m3/da)	Turbidity Akhir Tank (NTU)
Jan 01	15,310,731.94	1.82	8,000.00	0.75
Jan 02	14,290,740.38	1.82	8,102.87	0.65
Jan 03	13,131,033.73	1.82	7,777.77	0.58
Jan 04	14,477,200.00	1.82	7,129.48	0.76
Jan 05	15,599,286.10	1.82	7,254.64	0.85
Jan 06	13,952,000.00	1.82	7,762.91	0.64
Jan 07	13,372,140.70	1.82	7,396.18	0.63
Jan 08	10,938,613.60	1.82	7,012.31	0.42
Jan 09	14,953,665.33	1.82	5,847.22	0.98
Jan 10	15,972,395.06	1.82	6,649.60	0.97
Jan 11	13,326,101.92	1.82	7,542.62	0.62
Jan 12	12,061,010.76	1.82	7,097.20	0.53
Jan 13	13,481,236.36	1.82	6,343.61	0.75
Jan 14	13,212,057.60	1.82	6,435.53	0.70
Jan 15	13,238,800.60	1.82	6,354.62	0.72
Jan 16	13,454,069.70	1.82	6,317.59	0.74
Jan 17	13,000,271.47	1.82	6,349.08	0.68
Jan 18	16,969,248.86	1.82	6,188.13	1.14
Jan 19	15,979,520.00	1.82	7,601.76	0.84
Jan 20	17,520,000.00	1.82	8,095.23	0.94
Jan 21	14,186,428.64	1.82	9,053.14	0.57
Jan 22	12,449,763.66	1.82	8,277.11	0.49
Jan 23	11,812,589.11	1.82	7,186.28	0.50
Jan 24	14,523,713.51	1.82	6,270.88	0.87
Jan 25	11,795,143.87	1.82	6,776.58	0.53
Jan 26	10,417,554.07	1.82	6,044.24	0.43
Jan 27	14,190,410.15	1.82	5,044.44	1.03
Jan 28	13,983,157.59	1.82	5,887.36	0.86
Jan 29	14,320,648.29	1.82	6,334.46	0.83
Jan 30	14,212,493.02	1.82	6,691.79	0.78

Lampiran 6. Hasil Simulasi Turbidity Juli 2016

Lampiran 7

Time	Flow Rate Water (liter/da)	Turbidity Out Rate Filter (NTU)	Tanki Produk (m3/da)	Turbidity Akhir Tank (NTU)
Jan 01	14,044,242.00	1.82	8,000.00	0.63
Jan 02	11,313,504.00	1.82	7,572.80	0.42
Jan 03	12,518,481.00	1.82	6,289.02	0.65
Jan 04	11,832,996.00	1.82	6,012.36	0.58
Jan 05	11,804,178.00	1.82	5,540.72	0.63
Jan 06	11,685,082.00	1.82	5,248.85	0.65
Jan 07	18,879,751.00	1.82	5,024.63	1.67
Jan 08	16,684,025.00	1.82	7,643.94	0.91
Jan 09	14,290,740.00	1.82	8,407.74	0.63
Jan 10	12,931,937.00	1.82	7,960.69	0.54
Jan 11	15,511,130.00	1.82	7,138.38	0.85
Jan 12	14,703,621.00	1.82	7,641.51	0.73
Jan 13	14,693,575.00	1.82	7,640.70	0.73
Jan 14	14,455,812.00	1.82	7,653.56	0.70
Jan 15	16,257,250.00	1.82	7,527.16	0.88
Jan 16	13,952,000.00	1.82	8,152.53	0.61
Jan 17	13,131,034.00	1.82	7,629.96	0.59
Jan 18	17,333,098.00	1.82	7,040.80	1.04
Jan 19	13,387,072.00	1.82	8,238.43	0.57
Jan 20	15,123,642.00	1.82	7,506.27	0.78
Jan 21	15,310,732.00	1.82	7,729.37	0.78
Jan 22	14,420,927.00	1.82	7,940.49	0.67
Jan 23	12,807,330.00	1.82	7,705.09	0.54
Jan 24	15,599,286.00	1.82	6,930.67	0.89
Jan 25	14,334,478.00	1.82	7,568.53	0.69
Jan 26	16,772,737.00	1.82	7,424.91	0.94
Jan 27	14,672,016.00	1.82	8,280.31	0.67
Jan 28	16,172,116.00	1.82	8,031.65	0.83
Jan 29	19,049,154.00	1.82	8,477.90	1.02
Jan 30	13,498,462.00	1.82	9,843.28	0.48

Lampiran 7. Hasil Simulasi Turbidity September 2016