



TESIS - PM 147501

**APLIKASI *MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS* UNTUK
PEMILIHAN PROSES DAN OPERASI *KOAGULASI-FLOKULASI*
TERBAIK PADA *PRE-TREATMENT WATER SYSTEM* DI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)**

Yuni Eko Feriyanto
NRP: 09211 6500 15001

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng,Sc
Dr. Ir Endah Angreni, MT

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di


Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Yuni Eko Feriyanto
NRP. 09211 6500 15001

Tanggal Ujian : 16 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

- 
1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc Dosen Pembimbing
NIP: 19590318 198701 1 001
 2. Dr. Ir. Endah Angreni, MT Dosen Co-Pembimbing
NIP: 0727115201
 3. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc Dosen Penguji
NIP: 19590430 198903 1 001
 4. Putu Dana Karningsih, ST., M.Eng.Sc., Ph.D Dosen Penguji
NIP: 19740508 199903 2 001

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,



Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

NIP. 19590318 198701 1 001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini,

Nama : Yuni Eko Feriyanto

NRP : 09211 6500 15001

Jurusan : Magister Manajemen Teknologi

Menyatakan bahwa tesis saya yang berjudul:

**“APLIKASI *MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS* UNTUK PEMILIHAN PROSES DAN
OPERASI *KOAGULASI-FLOKULASI* TERBAIK PADA
PRE-TREATMENT WATER SYSTEM DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)”**

Seluruh hasil penelitian yang tertuang di makalah ini adalah hasil pekerjaan sendiri, tidak ada informasi *illegal* atau meng-*copy* pekerjaan orang lain.

Semua kutipan penelitian sesuai aslinya dan tertulis di referensi.

Jika pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima konsekuensi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Yuni Eko Feriyanto

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

APLIKASI MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS UNTUK PEMILIHAN PROSES DAN OPERASI KOAGULASI-FLOKULASI TERBAIK PADA PRE-TREATMENT WATER SYSTEM DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)

Nama mahasiswa : Yuni Eko Feriyanto
NRP : 09211 6500 15001
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
Co-Pembimbing : Dr. Ir. Endah Angreni, MT

ABSTRAK

Water Treatment Plant (WTP) adalah salah satu tahapan sistem di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan meliputi serangkaian proses sub-sistem seperti *screening*, *pre-treatment water*, *desalination* dan *demineralization*. Pada tahap *pre-treatment water system* terdapat proses pengendapan lumpur yang dibantu dengan zat kimia *koagulan* dan *koagulan-aid*. Permasalahan yang umum terjadi di pengolahan air PLTU adalah dosis yang digunakan cukup besar untuk musim hujan dan kondisi air laut pasang namun kualitas air yang dihasilkan belum memenuhi standar PLTU.

Pada makalah ini dilakukan percobaan *jar test* dengan beberapa variabel proses dan operasi yang mempengaruhi kinerja *koagulan* dan *koagulan-aid* seperti %dosis, waktu tinggal dan putaran pengaduk. Variabel kriteria untuk mengukur kualitas air untuk setiap variabel percobaan adalah *turbidity*, *conductivity*, *pH*, *total suspended solid* (TSS) dan *total dissolved solid* (TDS). Oleh karena itu, diusulkan pembobotan kriteria menggunakan pendekatan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) yaitu sistem *pairwise* skala Saaty oleh *expert judgment*. Pemilihan alternatif terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* di *pre-treatment water system* PLTU diusulkan menggunakan pendekatan analisa keputusan *multikriteria* seperti AHP dan *AHP-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Pendekatan kedua metode tersebut digunakan untuk penentuan rangking prioritas dan dilakukan analisa perbandingan terhadap hasil yang didapatkan.

Hasil dari makalah ini adalah alternatif terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* di *pre-treatment water system* PLTU menggunakan pendekatan dua metode dan hasilnya adalah alternatif ke-1 untuk $D_{60}W_{30}P_{80}$ yang artinya dosis 60%, waktu tinggal 30 menit dan putaran pengaduk 80 rpm sedangkan alternatif ke-2 untuk $D_{40}W_{20}P_{80}$. Rekomendasi yang diharapkan terhadap hasil di makalah ini bisa digunakan untuk sistem operasi *koagulasi-flokulasi* yang efektif di pengolahan air PLTU dan diharapkan berdampak terhadap potensi penurunan biaya operasional.

Kata Kunci : Jar test, Koagulasi-flokulasi, PLTU, Multikriteria decision analysis, Water treatment

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

APPLICATION OF MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS FOR SELECTION OF BEST ALTERNATIVE PROCESS AND COAGULATION-FLOCCULATION OPERATION IN PRE- TREATMENT WATER SYSTEM OF STEAM POWER PLANT

By : Yuni Eko Feriyanto
Student Identity Number : 09211 6500 15001
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
Co-Supervisor : Dr. Ir. Endah Angreni, MT

ABSTRACT

Water Treatment Plant (WTP) is one of the system stages in steam power plant which includes a series of sub-system processes such as screening, pre-treatment water, desalination and demineralization. At the pre-treatment stage of the water system, there is a sludge deposition process that is assisted with the chemical coagulant and coagulant-aid. The most common problem in steam power plant water treatment is despite the plentiful dose used in the rainy season and sea tidal condition, the quality of the water produced still does not meet the standard of steam power plant.

The proposed jar-test technique was performed using process and operation variables that potentially affect the performance of coagulant and coagulant-aid such as the %dosage, residence time and agitator cycle. The water quality was measured using criteria such as turbidity, conductivity, pH, TSS and TDS. In this paper, the use of multicriteria decision analysis (MCDA) was proposed using two approaches of AHP and AHP-TOPSIS methods. The sensitivities of both methods were analyzed and the decision model obtained was subsequently discussed and compared.

Based on the result of this paper, it can be concluded that the best alternative process and operation coagulation-flocculation in steam power plant pre-treatment water system based on the acquisition of decision models for two different methods was the first alternative for $D_{60}W_{30}P_{80}$ and the second alternative for $D_{40}W_{20}P_{80}$. Recommendations on the results of this paper can be used for operating condition of coagulation-flocculation in WTP steam power plant so that is expected has impact to the potential decrease in operational cost.

Keywords : *Coagulation-flocculation, Jar test, Multicriteria decision analysis, Steam power plant , Water treatment*

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahiwabarakatuh,

Segala puji syukur kepada Alloh SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini yang berjudul “*Aplikasi Multi Criteria Decision Analysis Untuk Pemilihan Proses dan Operasi Koagulasi-Flokulasi Terbaik pada Pre-Water Treatment System di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)*”. Dengan ini penulis ingin menyampaikan penghormatan dan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan antara lain kepada :

- Bapak Prof. Dr. Ir Udisubakti Ciptomulyono M.Eng,Sc selaku pembimbing utama yang mengajarkan keilmuan pemilihan analisa sistem keputusan dan materi pengajaran teknik pengambilan keputusan serta metodologi ilmiah penelitian
- Ibu Dr. Ir. Endah Angreni, MT selaku co-pembimbing yang banyak memberikan pengetahuan tentang pengolahan air dan struktur penulisan penelitian
- Bapak Hadi Fatho’if (alm) selaku ayah kandung yang dahulu telah memberikan dukungan dan doa yang sampai sekarang saya tidak akan bisa membalasnya
- Ibu Mesiyah selaku ibu kandung yang memberikan dukungan dan doa selama mengerjakan penelitian
- Bapak Kanapi Subur Dwiyanto, ST selaku manajer enjiniring di tempat kerja yang memberikan dukungan dan ijin melakukan percobaan di PLTU
- Bapak Prihantono selaku manajer unit PLTU Belitung yang memberikan ijin serta fasilitas dalam percobaan *jar test*
- Shinta listyani, ST selaku istri yang telah memberikan dukungan dan doa selama belajar dan mengerjakan penelitian di MMT ITS
- Hevie Dwi Septiyani dan M.Arief Setyawan selaku adik kandung yang juga telah memberikan dukungan dan doa demi kelancaran menuntut ilmu di ITS

- Arqan Nervagus Feriyanto dan Mahira Auruma Feriyanto selaku anak kandung yang telah memberikan semangat dalam penyelesaian penulisan tesis ini
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan maupun dukungan yang tidak bisa disebutkan satu per satu dalam penelitian ini

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran diharapkan dapat memberikan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| LEMBAR PERNYATAAN | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 8 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 9 |
| 1.4 Batasan Masalah | 9 |
| 1.5 Kontribusi dan Manfaat Penelitian | 9 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI | |
| 2.1 Pengolahan Air di PLTU | 11 |
| 2.2 Proses <i>Koagulasi-Flokulasi</i> di PLTU | 14 |
| 2.3 Penelitian Skala Laboratorium | 19 |
| 2.4 Proses Pengambilan Keputusan | 22 |
| 2.5 Pengambilan Keputusan Multikriteria | 25 |
| 2.5.1 Metode <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) dan <i>Analytic Network Process</i> (ANP)..... | 27 |
| 2.5.2 Metode <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (TOPSIS) | 33 |
| 2.5.3 Perpaduan Metode AHP/ANP-TOPSIS | 34 |
| 2.6 Analisa Ekonomi Teknik | 38 |
| 2.6.1 Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>) | 38 |
| 2.6.2 Optimasi Rancangan yang Digerakkan Biaya (<i>Cost-Driven Design Optimization</i>) | 39 |
| 2.6.3 Metode Estimasi Biaya (<i>Cost Estimating Method</i>) | 40 |

| | |
|--|----|
| 2.6.4 Analisa Efektifitas Biaya (<i>Cost-Effectiveness Analysis</i>) | 41 |
| 2.7 Posisi Penelitian | 43 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1 Tahap Perumusan Masalah dan Pengumpulan Data Hasil <i>Jar Test</i> | 48 |
| 3.1.1 Identifikasi Masalah dan Variabel Penelitian | 48 |
| 3.1.1.1 Latar Belakang Masalah | 48 |
| 3.1.1.2 Identifikasi Percobaan <i>Jar Test</i> | 48 |
| 3.1.1.3 Tujuan/Objektif Penelitian | 49 |
| 3.1.1.4 Struktur Permasalahan Tahap Awal | 49 |
| 3.1.1.5 Variabel Kriteria Percobaan <i>Jar Test</i> | 50 |
| 3.1.1.6 Variabel Alternatif Percobaan <i>Jar Test</i> | 51 |
| 3.1.2 Penyusunan Tahapan <i>Jar Test</i> | 52 |
| 3.1.2.1 Tahap Persiapan <i>Jar Test</i> | 52 |
| 3.1.2.2 Tahap Percobaan <i>Jar Test</i> | 53 |
| 3.1.2.3 Pengukuran Hasil Percobaan | 53 |
| 3.1.2.4 Pencatatan Data Percobaan | 53 |
| 3.1.3 Percobaan <i>Jar Test</i> | 53 |
| 3.1.3.1 Tahap Pengukuran Sebelum <i>Treatment</i> | 53 |
| 3.1.3.2 Tahap <i>Running Jar Test</i> | 53 |
| 3.1.3.3 Tahap Pengukuran Kualitas Air Sesudah <i>Treatment</i> | 54 |
| 3.1.3.4 Tahap Pencatatan Hasil Pengukuran | 54 |
| 3.1.4 Tahap Pengumpulan dan Identifikasi Data Hasil Percobaan | 54 |
| 3.2 Tahap Analisa Pengolahan Data dan Pembahasan..... | 54 |
| 3.2.1 Pengolahan Data Awal | 54 |
| 3.2.2 Pembobotan Kriteria | 55 |
| 3.2.2.1 Tahap Pemilihan Metode Pembobotan Kriteria | 55 |
| 3.2.2.2 Tahap <i>Judgment</i> Penilaian | 55 |
| 3.2.3 Pemilihan Alternatif Terbaik | 56 |
| 3.2.3.1 Tahap Seleksi Alternatif Keputusan | 56 |
| 3.2.3.2 Pengolahan Data Tahap Akhir | 56 |
| 3.2.3.3 Tahap Pemilihan Metode MCDA | 57 |

| | |
|---|----|
| 3.2.3.4 Tahap <i>Skoring</i> | 57 |
| 3.2.3.5 Tahap <i>Running</i> dengan Program MCDA | 58 |
| 3.2.3.6 Tahap Analisa Sensitivitas | 58 |
| 3.2.4 Pembahasan Hasil Penelitian | 59 |
| 3.3 Tahap Kesimpulan dan Rekomendasi | 59 |
| 3.3.1 Tahap Kesimpulan | 59 |
| 3.3.2 Tahap Rekomendasi | 59 |
| BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | |
| 4.1 Informasi Umum PLTU Belitung | 61 |
| 4.1.1 Struktur Organisasi Jasa O&M PLTU Belitung | 61 |
| 4.1.2 Posisi Penelitian di PLTU Belitung | 62 |
| 4.2 Tahapan Persiapan Percobaan | 63 |
| 4.2.1 Tahap Persiapan Alat dan Bahan | 63 |
| 4.2.2 Tahap Persiapan <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> | 64 |
| 4.2.3 Tahap Percobaan <i>Jar Test</i> di Laboratorium | 65 |
| 4.3 Tahapan Pengumpulan Data | 66 |
| 4.3.1 Data <i>Riil</i> di Lapangan | 66 |
| 4.3.2 Data Hasil <i>Jar Test</i> | 67 |
| 4.4 Tahapan Pengolahan Data | 68 |
| 4.4.1 Tahap Pengolahan Data Awal | 69 |
| 4.4.1.1 Pengolahan Data Awal <i>Riil</i> diLapangan | 69 |
| 4.4.1.2 Pengolahan Data Awal <i>Jar Test</i> | 69 |
| 4.4.2 Tahap Seleksi Alternatif Keputusan | 71 |
| 4.4.3 Tahap Pembobotan Variabel Kriteria | 73 |
| 4.4.4 Tahap Penentuan Rangking Prioritas | 74 |
| 4.4.4.1 Rangking Prioritas Metode AHP | 74 |
| 4.4.4.2 Rangking Prioritas Perpaduan Metode AHP- TOPSIS | 77 |
| 4.4.5 Analisa Sensitivitas | 83 |
| 4.4.5.1 Analisa Sensitivitas Metode AHP | 84 |
| 4.4.5.2 Analisa Sensitivitas Metode AHP-TOPSIS | 88 |

| | |
|---|-----|
| 4.4.6 Struktur Pembiayaan Sistem <i>Koagulasi-Flokulasi</i> di PLTU | 89 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 5.1 Pembahasan Hasil Data <i>Riil</i> di Lapangan saat Musim Hujan dan Air Laut Pasang | 93 |
| 5.2 Pembahasan Hasil Data Ukur <i>Jar Test</i> untuk Beberapa Variabel Dosis | 94 |
| 5.3 Pembahasan Pembobotan Variabel Kriteria dengan Pendekatan Metode AHP | 94 |
| 5.4 Pembahasan Perbandingan 2 Metode MCDA untuk Pemilihan Ranking Prioritas | 95 |
| 5.5 Pembahasan Analisis Model Keputusan yang Diperoleh Terhadap Potensi Penurunan Biaya Operasional | 97 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN REKOMENDASI | |
| 6.1 Kesimpulan | 99 |
| 6.2 Rekomendasi | 100 |
| DAFTAR PUSTAKA | 103 |
| LAMPIRAN I PROSES PERCOBAAN..... | 109 |
| LAMPIRAN II ALAT DAN BAHAN PERCOBAAN | 115 |
| BIOGRAFI PENULIS | 123 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 1.1 | Total Biaya Jasa O&M PLTU Belitung Tahun 2017 | 2 |
| Gambar 1.2 | Biaya <i>Breakdown</i> O&M PLTU Belitung Tahun 2017 | 2 |
| Gambar 1.3 | Biaya <i>Breakdown</i> Pengolahan Air PLTU Belitung Tahun 2017 | 3 |
| Gambar 1.4 | Kebutuhan <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> PLTU Belitung Tahun 2017 | 5 |
| Gambar 1.5 | Biaya Pengeluaran <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> PLTU Belitung Tahun 2017 | 6 |
| Gambar 2.1 | Skema Sistem Proses Pengolahan Air Laut di PLTU Belitung | 11 |
| Gambar 2.2 | <i>Sea Water Intake</i> PLTU Belitung | 11 |
| Gambar 2.3 | <i>Pre-Treatment Water System</i> Tipe <i>Lamella Clarifier</i> PLTU Belitung | 12 |
| Gambar 2.4 | <i>Desalination System</i> Tipe <i>Reverse-Osmosis</i> PLTU Belitung | 13 |
| Gambar 2.5 | <i>Demineralization System</i> Tipe <i>Mixed Bed</i> PLTU Belitung | 13 |
| Gambar 2.6 | Skema Sistem dan Peralatan Proses Pengolahan Air di PLTU Belitung | 14 |
| Gambar 2.7 | <i>Static Mixer Pipe</i> di <i>Inlet Clarifier</i> PLTU Belitung | 15 |
| Gambar 2.8 | Injeksi <i>Koagulan-aid</i> di <i>Inlet Clarifier</i> PLTU Belitung | 16 |
| Gambar 2.9 | Desain Bejana Sedimentasi, dikutip dari Engelhardt (2014) | 16 |
| Gambar 2.10 | <i>Clarifier</i> Tipe <i>Lamella</i> , dikutip dari Engelhardt (2014) | 16 |
| Gambar 2.11 | Peralatan <i>Jar Test</i> di PLTU Belitung | 19 |
| Gambar 2.12 | Tahapan Proses Pengambilan Keputusan <i>Rasional</i> (Model Simon) | 24 |
| Gambar 2.13 | Standar Pembentukan Metode AHP | 28 |
| Gambar 2.14 | Standar Pembentukan Metode ANP | 32 |
| Gambar 2.15 | Standar Pembentukan Metode ANP-TOPSIS | 36 |
| Gambar 2.16 | Standar Pembentukan Metode AHP-TOPSIS | 37 |
| Gambar 3.1 | Skema Tahapan Penelitian | 47 |
| Gambar 3.2 | Struktur <i>Hirarki</i> Percobaan <i>Jar Test</i> Tahap Awal | 50 |
| Gambar 3.3 | Struktur <i>Hirarki</i> Percobaan <i>Jar Test</i> Tahap Akhir | 57 |
| Gambar 4.1 | Struktur Organisasi Jasa O&M LTU Belitung | 62 |
| Gambar 4.2 | Tampilan Layar <i>Software EC 11</i> untuk Pembobotan Kriteria | 73 |
| Gambar 4.3 | Tampilan Layar <i>Software EC 11</i> untuk Rangking Prioritas | 76 |
| Gambar 4.4 | Tampilan Layar EC 11 Rangking Prioritas Perubahan Bobot <i>Turbidity</i> +10% | 84 |
| Gambar 4.5 | Tampilan Layar EC 11 Rangking Prioritas Perubahan Bobot <i>Turbidity</i> +20% | 85 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 4.6 | Tampilan EC 11 Layar Rangking Prioritas Perubahan Bobot <i>Turbidity</i> -10% | 85 |
| Gambar 4.7 | Tampilan Layar EC 11 Rangking Prioritas Perubahan Bobot <i>TSS</i> +10% | 86 |
| Gambar 4.8 | Tampilan Layar EC 11 Rangking Prioritas Perubahan Bobot <i>TSS</i> +20% | 87 |
| Gambar 4.9 | Tampilan Layar EC 11 Rangking Prioritas Perubahan Bobot <i>TSS</i> -10% | 87 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 1.1 | Hasil Pengukuran Kualitas Air Laut pada Musim Kemarau dan Musim Hujan | 4 |
| Tabel 1.2 | Standar Nilai Kualitas Air untuk Produk Keluaran Sistem <i>Koagulasi-Flokulasi</i> | 4 |
| Tabel 1.3 | Kualitas Produk Keluaran Sistem <i>Koagulasi-Flokulasi</i> di Musim Hujan | 5 |
| Tabel 2.1 | Penjelasan Variabel Kriteria Percobaan <i>Jar Test Koagulasi-Flokulasi</i> | 21 |
| Tabel 2.2 | Penjelasan Variabel Alternatif Percobaan <i>Jar Test Koagulasi-Flokulasi</i> | 22 |
| Tabel 2.3 | Perbandingan Metode MADM dan MODM | 26 |
| Tabel 2.4 | Skala Saaty untuk Perbandingan Berpasangan | 29 |
| Tabel 2.5 | <i>Random Consistency Index</i> | 30 |
| Tabel 2.6 | Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian di Laporan | 43 |
| Tabel 3.1 | Identifikasi Percobaan <i>Jar Test</i> | 49 |
| Tabel 3.2 | Variabel Kriteria Percobaan <i>Jar Test</i> | 51 |
| Tabel 3.3 | Variabel Alternatif Percobaan <i>Jar Test</i> | 52 |
| Tabel 3.4 | Kriteria <i>Judgment</i> Penilaian Sistem Keputusan | 55 |
| Tabel 4.1 | Spesifikasi <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> di PLTU Belitung | 64 |
| Tabel 4.2 | Hasil Ukur Data <i>Riil</i> di Lapangan | 66 |
| Tabel 4.3 | Hasil Ukur Kualitas Air <i>Jar Test</i> | 67 |
| Tabel 4.4 | Hasil Penyetaraan Satuan Data <i>Riil</i> di Lapangan | 69 |
| Tabel 4.5 | Hasil Penyetaraan Satuan Data Hasil <i>Jar Test</i> | 70 |
| Tabel 4.6 | Alternatif Keputusan Terseleksi untuk Data Hasil <i>Jar Test</i> | 72 |
| Tabel 4.7 | Pembobotan Variabel Kriteria Menggunakan Metode AHP | 73 |
| Tabel 4.8 | Acuan Sistem <i>Skoring</i> Data Hasil <i>Jar Test</i> | 75 |
| Tabel 4.9 | Hasil <i>Skoring</i> Data Hasil <i>Jar Test</i> | 76 |
| Tabel 4.10 | Rangking Prioritas Alternatif Menggunakan Metode AHP | 77 |
| Tabel 4.11 | Hasil Standarisasi Matriks Metode TOPSIS | 78 |
| Tabel 4.12 | Hasil Normalisasi Matriks Menggunakan Metode TOPSIS | 79 |
| Tabel 4.13 | Hasil Perhitungan Bobot Normalisasi Matriks Metode TOPSIS | 80 |
| Tabel 4.14 | Hasil Perhitungan Solusi Ideal Positif Metode TOPSIS | 81 |
| Tabel 4.15 | Hasil Perhitungan Solusi Ideal Negatif Metode TOPSIS | 81 |
| Tabel 4.16 | Hasil Perhitungan Jarak Solusi Ideal Positif dan Negatif Metode TOPSIS | 82 |
| Tabel 4.17 | Hasil Perhitungan <i>Relative Closeness</i> Metode AHP- TOPSIS | 83 |
| Tabel 4.18 | Perbandingan Urutan Rangking Prioritas Antara Standar dengan Pengaruh Tingkat Sensitivitas Metode AHP | 88 |

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 4.19 | Perbandingan Urutan Rangking Prioritas Antara Standar dengan Pengaruh Tingkat Sensitivitas Perpaduan Metode AHP-TOPSIS | 89 |
| Tabel 4.20 | Biaya Pemakaian <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> PLTU Belitung Tahun 2017 | 90 |
| Tabel 4.21 | Biaya <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> PLTU Belitung Dosis 60% | 92 |
| Tabel 4.22 | Biaya <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> PLTU Belitung Dosis 40% | 92 |
| Tabel 5.1 | Perbandingan Standar Kualitas Air PLTU dengan Kondisi <i>Riil</i> di <i>Pre-Treatment Water System</i> di Musim Hujan | 93 |
| Tabel 5.2 | Perbandingan Rangking Prioritas Metode AHP dan Perpaduan AHP-TOPSIS | 96 |

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada Bab I diuraikan hal-hal yang meliputi: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kontribusi dan manfaat penelitian.

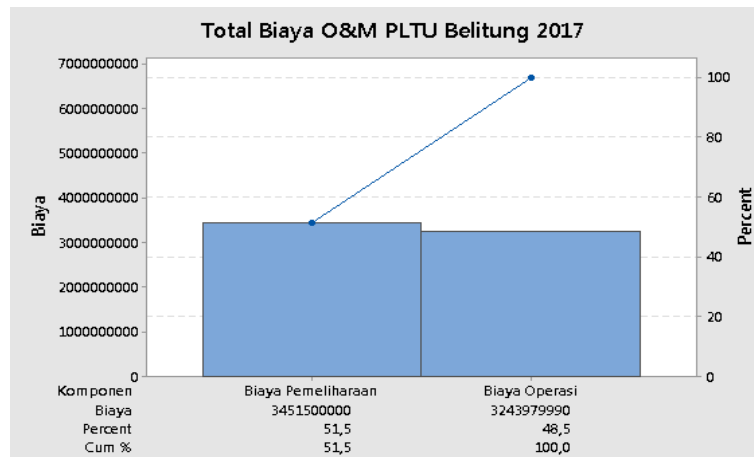
1.1 Latar Belakang

PLTU Belitung adalah salah satu pembangkit listrik dengan tipe *circulating fluidized boiler* (CFB) berkapasitas 2x16,5 MW milik PT PLN (persero) yang terletak di Desa Suge, Tanjung pandan, Kepulauan Bangka-Belitung. PT PLN (persero) selaku *asset owner* menugaskan operasional pembangkit ke anak perusahaan yaitu PT PJB untuk mengelola jasa *operation and maintenance* (O&M) dan bersama PT PJB Services selaku *asset operator*.

Terdapat 3 sistem utama di PLTU yaitu sistem *water treatment plant* (WTP), sistem *boiler* dan sistem *turbin-generator*. WTP sebagai sistem pengolahan air terdiri dari beberapa tahapan meliputi tahap *pre-treatment*, *desalination* dan *demineralization*. Permasalahan yang muncul selama pengoperasian PLTU Belitung adalah besarnya biaya operasional dibandingkan unit lain yang dikelola oleh manajemen perusahaan (PJB Group).

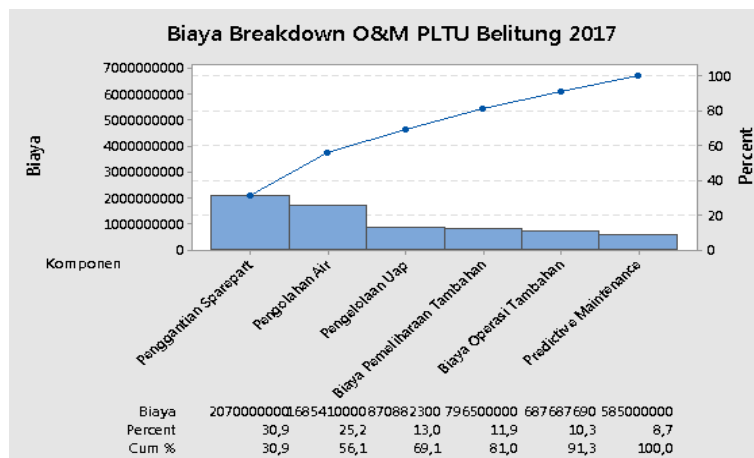
Struktur pembiayaan di PLTU Belitung terbagi menjadi beberapa komponen yang meliputi: (i) komponen A untuk *fixed cost* seperti biaya konstruksi awal PLTU; (ii) komponen B untuk *fixed variable cost* yang umumnya disebut *fixed operation and maintenance* (O&M) *cost* seperti gaji pegawai dan biaya operasional; (iii) komponen C untuk *fuel cost* seperti biaya bahan bakar yang dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar, jenis bahan bakar, lama penyalaan dan peraturan pemerintah; (iv) komponen D untuk *variable O&M cost* seperti biaya *maintenance*.

PT PJB dan PT PJB Services selaku pemegang jasa O&M di PLTU Belitung mengendalikan beberapa komponen seperti: (i) komponen biaya operasi seperti biaya pengolahan air, pengelolaan uap dan sumber daya manusia (SDM) bidang operasi; (ii) komponen biaya pemeliharaan seperti biaya penggantian *spare part*, *predictive maintenance* dan SDM bidang pemeliharaan.



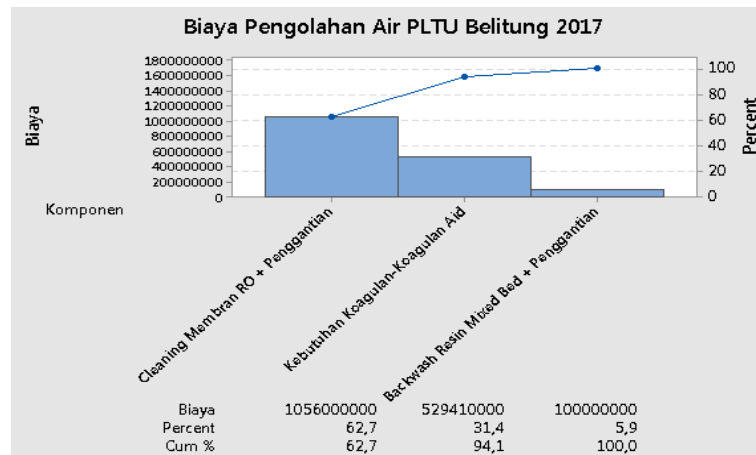
Gambar 1.1 Total Biaya Jasa O&M PLTU Belitung Tahun 2017

Berdasarkan Gambar 1.1 tersebut didapatkan informasi data untuk komponen biaya PLTU Belitung tahun 2017 yaitu biaya pemeliharaan sebesar ±3,45 milyar sedangkan biaya operasi sebesar ±3,24 milyar. Biaya O&M dilakukan *breakdown* lagi sehingga lebih spesifik biaya yang dikeluarkan oleh kegiatan operasional, seperti tersaji di Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Biaya *Breakdown* O&M PLTU Belitung Tahun 2017

Berdasarkan Gambar 1.2 didapatkan data untuk biaya pemeliharaan penggantian *spare part* adalah pengeluaran yang tertinggi sebesar ±2,07 milyar dan diikuti biaya operasi pengolahan air sebesar ±1,685 milyar. Ruang lingkup *sparepart* untuk bahan kajian sulit dilakukan karena ketergantungan terhadap *supplier* tunggal terhadap peralatan *existing* sehingga dilakukan pemilihan permasalahan pengolahan air untuk analisa mendalam lebih lanjut. Tahap selanjutnya *breakdown* pengeluaran biaya untuk pengolahan air, seperti tersaji di Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Biaya *Breakdown* Pengolahan Air PLTU Belitung Tahun 2017

Berdasarkan Gambar 1.3 untuk biaya pengolahan air didapatkan data bahwa biaya *cleaning* dan penggantian *membran RO* adalah pengeluaran yang tertinggi sebesar ±1,056 milyar kemudian diikuti biaya *koagulan* dan *koagulan-aid* sebesar ±530 milyar dan biaya pengelolaan *resin mixed bed* sebesar ±100 juta.

Sistem pengolahan air di PLTU terdiri dari *pre-treatment water (koagulasi-flokulasi)*, *desalination* dan *demineralization*. *Pre-treatment water* adalah sistem paling awal dari pengolahan air berupa bak sedimentasi yang dikenal dengan istilah sistem *koagulasi-flokulasi*. *Desalination* adalah sistem pengikatan kadar garam air laut keluaran *koagulasi-flokulasi* menggunakan sistem *membran reverse-osmosis (RO)* sedangkan *demineralization* adalah sistem pengikatan kadar mineral air keluaran RO.

Penyebab *membran RO* dilakukan periodik *cleaning* lebih pendek dan membutuhkan penggantian adalah karena tingkat kejenuhan *membran* yang cukup tinggi kemungkinan disebabkan terikutnya partikel lumpur (*suspended solid*) dari sistem *koagulasi-flokulasi*. Sistem yang mengolah *suspended solid* tahap awal adalah *pre-treatment water system (koagulasi-flokulasi)* sehingga jika melihat potensi yang mengakibatkan dampak tersebut maka diperkirakan kinerja sistem *koagulasi-flokulasi* kurang optimal.

Berdasarkan uraian serangkaian proses *root cause analysis* tersebut, maka objek penelitian ini difokuskan di tahap sistem *koagulasi-flokulasi*. Sistem ini membutuhkan bantuan zat kimia yaitu *koagulan* dan *koagulan-aid* dalam pengendapan lumpur dan untuk mengukur kinerja sistem tersebut maka dilakukan

pengukuran kualitas air secara periodik sebanyak $2x/shift$. Sesuai data yang didapatkan di tahun 2017 terdapat perbedaan kualitas air di musim hujan dan kemarau. Berikut data hasil pengukuran untuk 2 musim yang berbeda.

Tabel 1.1 Hasil Pengukuran Kualitas Air Laut pada Musim Kemarau dan Musim Hujan

| Parameter | Satuan | Nilai Ukur | |
|-----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | Musim Kemarau ^(*) | Musim Hujan ^(**) |
| Turbidity | NTU | 6,6 – 8,5 | 30 - 40 |
| Conductivity | $\mu\text{S/cm}$ | ± 47.000 | ± 47.000 |
| pH | value | ± 8 | ± 8 |
| Total Suspended Solid (TSS) | mg/L | ± 20 | ± 30 |

Sumber : PLTU Belitung pada 01 Agustus 2017^(*) dan 22 januari 2018^(**)

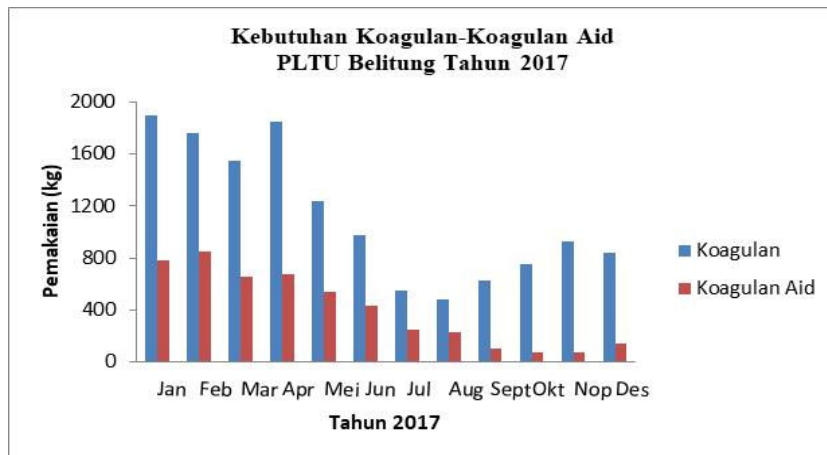
Berdasarkan Tabel 1.1 tersebut, terdapat perbedaan kualitas air umpan ke sistem *koagulasi-flokulasi* namun target standar kualitas air keluaran sistem tersebut untuk 2 musim yang berbeda adalah sama seperti disajikan di Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Standar Nilai Kualitas Air untuk Produk Keluaran Sistem *Koagulasi-Flokulasi*

| Parameter Operasi | Satuan | Standar Nilai |
|-----------------------------|------------------|---------------|
| Turbidity | NTU | <5 |
| Conductivity | $\mu\text{S/cm}$ | <48.900 |
| pH | Nilai | 7-8 |
| Total Suspended Solid (TSS) | mg/L | <10 |
| Total Dissolved Solid (TDS) | g/L | <24,2 |

Sumber : PLTU Belitung (2015)

Kebutuhan *koagulan* dan *koagulan-aid* yang bervariasi cukup signifikan untuk 2 musim yang berbeda adalah normal karena kualitas air umpan yang masuk juga bervariasi nilainya. Berikut disajikan di Gambar 1.4 kebutuhan *koagulan* dan *koagulan-aid* untuk 2 musim yang berbeda.



Gambar 1.4 Kebutuhan *Koagulan* dan *Koagulan-aid* PLTU Belitung Tahun 2017

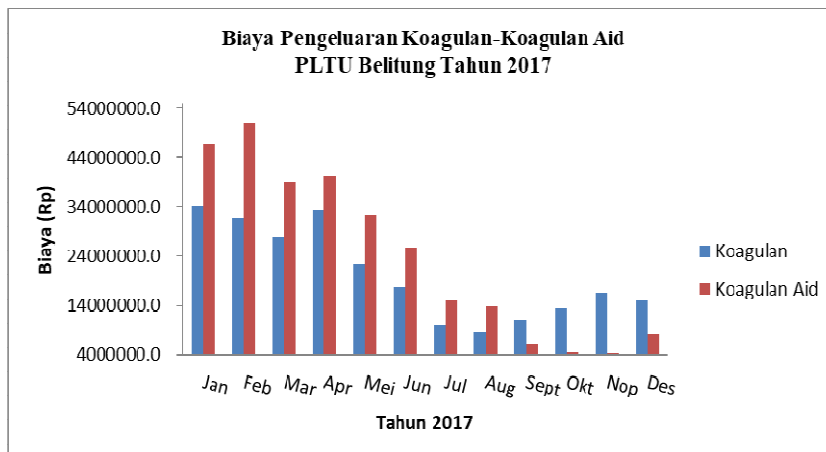
Sesuai Gambar 1.4 diatas dapat diketahui bahwa kebutuhan *koagulan* dan *koagulan-aid* di musim hujan yaitu Bulan Januari-Mei cenderung lebih tinggi dibandingkan musim kemarau yaitu Bulan Juni-Desember. Produk keluaran sistem *koagulasi-flokulasi* untuk musim kemarau secara umum masih sesuai standar kualitas air PLTU namun sebaliknya untuk musim hujan. Berikut *sampling* pengukuran yang telah dilakukan oleh analis kimia PLTU Belitung saat musim hujan.

Tabel 1.3 Kualitas Produk Keluaran Sistem *Koagulasi-Flokulasi* di Musim Hujan

| Parameter Operasi | Satuan | Hasil Ukur |
|-------------------|------------------|------------|
| Turbidity | NTU | 8,43 |
| Conductivity | $\mu\text{S/cm}$ | 48.700 |
| pH | Nilai | 7,497 |
| TSS | mg/L | 10 |
| TDS | g/L | 24,2 |

Sumber : PLTU Belitung Kondisi Musim Hujan (2018)

Berdasarkan Tabel 1.3 didapatkan data bahwa hasil ukur yang dilakukan di musim hujan untuk nilai *turbidity*, *TSS* dan *TDS* tidak masuk standar kualitas air PLTU padahal penggunaan dosis saat kondisi tersebut telah disesuaikan sesuai rekomendasi *supplier* bahan kimia. Biaya operasional untuk konsumsi *koagulan* dan *koagulan-aid* di musim hujan dan musim kemarau disajikan di Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Biaya Pengeluaran *Koagulan* dan *Koagulan-aid* PLTU Belitung Tahun 2017

Dari Gambar 1.5 didapatkan data bahwa untuk musim hujan yaitu Bulan Januari-Mei biaya konsumsi *koagulan* dan *koagulan-aid* cukup besar dibandingkan musim kemarau. Biaya konsumsi ini berhubungan dengan dosis yang digunakan sehingga jika diurutkan ke masalah paling dasar maka dosis adalah variabel yang memerlukan evaluasi mendalam terhadap kinerja *koagulan* dan *koagulan-aid*.

Kajian *empiris* dalam skala laboratorium diusulkan untuk digunakan dalam meneliti keefektifan penggunaan dosis *koagulan* dan *koagulan-aid*. Penggunaan dosis dalam sistem *koagulasi-flokulasi* akan bekerja efektif jika diikuti pola proses dan operasi yang tepat dan menurut Boughou et al. (2016) faktor yang mempengaruhi adalah waktu tinggal dan putaran pengaduk. Untuk mendapatkan data keefektifan sistem *koagulasi-flokulasi* tersebut maka dilakukan pengukuran air keluaran seperti *turbidity*, *conductivity*, *pH*, *TSS* dan *TDS*.

Teknik yang umum digunakan untuk mendapatkan data informasi dengan percobaan yang menggunakan variabel yang berubah-ubah adalah *jar test*. Teknik tersebut dilakukan dalam skala laboratorium dengan prinsip kondisi operasi dibuat sedemikian rupa mirip dengan *riil* di lapangan. Penelitian ini menggunakan variabel yang bermacam-macam seperti: (i) variabel proses dan operasi untuk %dosis, waktu tinggal dan putaran pengaduk; (ii) variabel kriteria untuk parameter ukur kualitas seperti *turbidity*, *conductivity*, *pH*, *TSS* dan *TDS*.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* dan menurut (Ciptomulyono, 2010), pemilihan

alternatif terbaik sulit dilakukan, karena dalam sistem pengambilan keputusan bukan selalu memilih yang benar tetapi yang diperlukan adalah memastikan hasil keputusan yang dicapai melalui serangkaian aktifitas yang menganalisis alternatif solusi keputusan, parameter serta kendala yang ada dan kemudian memilih “*terbaik*”.

Pemilihan kombinasi terbaik dalam penelitian ini banyak menemui situasi yang bertentangan (*conflicting*) seperti pilihan alternatif kemungkinan diterima dalam penurunan *turbidity* dan *TSS* namun di sisi lain ditolak karena berdampak menaikkan *conductivity* maupun *TDS*. Pada situasi tersebut, diperlukan suatu pembobotan kriteria (parameter) berdasarkan tingkat relatif kepentingan (*relative importance*) sehingga pilihan yang ditetapkan dapat memberikan kepuasan bagi pengambil keputusan sesuai dengan tingkat aspirasi yang diinginkan dan percaya pada proses tersebut (Ciptomulyono, 2010).

Penelitian terdahulu yang memiliki persamaan objek tentang proses *koagulasi-flokulasi* dan menggunakan analisa sistem keputusan pernah dilakukan oleh Angreni (2002) untuk penelitian optimasi *koagulasi-flokulasi* di perusahaan daerah air minum (PDAM) dengan pengolahan data menggunakan pendekatan metode *dynamic programming*. Pendekatan metode tersebut didasarkan pada batasan (*constraints*) yaitu bertujuan memaksimalkan prosentase (%) peningkatan reduksi kekeruhan air dengan sistem *resirkulasi* lumpur *alum* dan meminimalkan penggunaan dosis *koagulan* (*tawas*).

Beltran et al. (2009) dalam penelitiannya di bidang pengolahan limbah tekstil untuk mencari dosis optimal dari beberapa *koagulan* yang setiap percobaan diukur menggunakan beberapa parameter kualitas air menggunakan pendekatan metode MCDM tipe *analytic hierarchy process* (AHP) untuk pembobotan dan *preference ranking organization method for enrichment evaluations* (PROMETHEE II) untuk perangkingan prioritas.

Zak et al. (2015) menggunakan pendekatan metode AHP dan *elimination et choix traduisant la realite* (ELECTREE) tipe III/IV dalam mengevaluasi proyek transportasi kota dengan banyak tingkatan level dan banyak kriteria. Pendekatan metode AHP digunakan untuk memberikan pembobotan setiap level sedangkan ELECTREE III/IV digunakan untuk sistem perangkingan.

Pendekatan metode *goal programming*, AHP dan *technique for order preference by similarity to ideal solution* (TOPSIS) digunakan oleh Ozcan et al. (2017) dengan tujuan menentukan kombinasi strategi pemeliharaan yang tepat untuk setiap grup peralatan. Pendekatan metode AHP digunakan untuk pemberian pembobotan sedangkan TOPSIS untuk perangkingan prioritas.

Pemodelan sistem pengambilan keputusan yang dipertimbangkan untuk diusulkan dipilih di penelitian ini dilatarbelakangi oleh keberadaan *constraints* terhadap tujuan penelitian, struktur permasalahan dan sasaran/objektif yang ingin dicapai. Model yang diusulkan adalah berdasarkan faktor *preferensi* pengambil keputusan dengan subjektifitasnya terkait dalam pemilihan bobot kriteria yang dipergunakan dalam proses keputusan (Ciptomulyono, 2010).

Penelitian ini menurut penulis penting untuk dilakukan karena dengan mendapatkan hasil kombinasi terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* khususnya penggunaan dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* dengan mempertimbangkan aspek *multikriteria* maka usulan tersebut bisa digunakan untuk memberikan beberapa rekomendasi yang berguna untuk manajemen perusahaan seperti penggunaan dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* yang lebih efisien di PLTU Belitung, sedangkan untuk unit PLTU lain bisa menerapkan sistem operasi yang didapatkan dari penelitian seperti waktu tinggal dan putaran pengaduk yang efektif. Rekomendasi tersebut jika dijalankan, diharapkan berpotensi terhadap penurunan biaya operasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah usulan pemilihan kombinasi terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* khususnya penggunaan dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* di proses *pre-treatment water system* PLTU dengan mempertimbangkan aspek *multikriteria* ?
2. Bagaimanakah analisis dari model keputusan yang diperoleh terhadap potensi penurunan biaya operasional ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dipaparkan tersebut maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan pilihan kombinasi terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* khususnya penggunaan dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* di proses *pre-treatment water system* PLTU dengan mempertimbangkan aspek *multikriteria*.
2. Melakukan analisis dari model keputusan yang diperoleh terhadap potensi penurunan biaya operasional.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. *Koagulan* yang digunakan tipe *aluminium based (aluminium hydroxychloride)* dan *koagulan-aid* tipe *poly-acrylamide-anionic (PAM)*.
2. Percobaan dilakukan di laboratorium PLTU Belitung dengan kondisi air laut pada musim hujan dan pasang.

1.5 Kontribusi dan Manfaat Penelitian

Kontribusi dan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan rekomendasi ke manajemen unit PLTU Belitung dalam penggunaan dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* di musim hujan dan rekomendasi ke semua unit PLTU yang dikelola oleh manajemen perusahaan untuk memperbaiki pola operasi *koagulasi-flokulasi* di *pre-treatment water system* sehingga diharapkan beroptensi pada penurunan biaya operasional.
2. Mengembangkan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya penelitian terhadap proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* pada pengolahan air di *pre-treatment water system* serta penerapan ilmu pengetahuan tentang pendekatan metode *multicriteria decision analysis (MCDA)*.

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

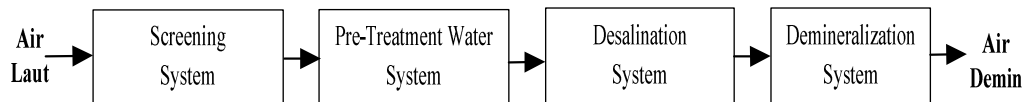
BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI

Pada bab kajian pustaka dan teori ini diuraikan konsep yang berkaitan dengan topik yang diambil dalam penelitian ini untuk menentukan kerangka logis dan tahapan penelitian yang relevan. Uraian tersebut meliputi: pengolahan air di PLTU, proses *koagulasi-flokulasi* di PLTU, penelitian skala laboratorium, proses pengambilan keputusan, pengambilan keputusan *multikriteria*, analisa ekonomi teknik dan posisi penelitian.

2.1 Pengolahan Air di PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan uap sebagai penggerak *turbine* kemudian *turbine* terhubung dengan poros *generator* dan hasil putaran *generator* menghasilkan medan magnet sehingga menghasilkan medan listrik. Bahan baku produksi yang utama di PLTU Belitung adalah bahan bakar berupa batu bara dan umpan produksi berupa air yang berasal dari air laut. Penelitian ini dilakukan di PLTU Belitung dengan urutan proses pengolahan air laut di area *water treatment plant (WTP)* sebagai berikut :



Gambar 2.1 Skema Sistem Proses Pengolahan Air Laut di PLTU Belitung

Screening system adalah proses penyaringan kotoran air laut yang terikut menuju ke saluran *intake water* PLTU. Kotoran yang terikut seperti sampah plastik, kayu dan sampah-sampah besar lainnya dan *screening* menggunakan tipe *strainer* dan *travelling grate*.



Gambar 2.2 *Sea Water Intake* PLTU Belitung

Pre-treatment water system adalah pengolahan air yang meliputi pembubuhan *koagulan* untuk membantu proses pengendapan lumpur, pembubuhan *koagulan-aid* untuk membantu kerja *koagulan* yang bersifat *optional* artinya jika kondisi *koagulan* sudah mampu dalam penurunan lumpur maka *koagulan aid* tidak digunakan. Manfaat dari penggunaan *koagulan-aid* adalah gumpalan (*flok*) menjadi lebih besar dan mempercepat proses *sedimentasi* (pengendapan lumpur) ke dasar bejana karena pengaruh gaya gravitasi. Tipe *pre-treatment water system* di PLTU Belitung adalah *lamella clarifier*.



Gambar 2.3 *Pre-Treatment Water System Tipe Lamella Clarifier* PLTU Belitung

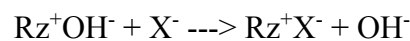
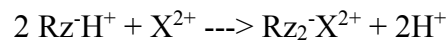
Tahapan proses *pre-treatment water system* meliputi proses *koagulasi*, *flokulasi* dan *sedimentasi* yang terjadi di bak pengendapan tipe *clarifier lamella*. Di *inlet clarifier* dibubuhkan zat kimia untuk mempercepat permulaan pengikatan *suspended solid* yaitu *koagulan* sedangkan *koagulan-aid* dibubuhkan di *inlet clarifier lamella*.

Desalination system adalah proses penurunan kadar garam air laut dengan metode membran *reverse osmosis* (RO). PLTU Belitung menggunakan 2 sistem RO yaitu *sea water reverse osmosis* (SWRO) yang digunakan untuk menurunkan kadar garam pada tahap-1 dan *brackish water reverse osmosis* (BWRO) pada tahap-2. Parameter kualitas air produk *outlet RO* adalah *conductivity* dengan standar nilai di PLTU Belitung $<20 \mu\text{S/cm}$. *Conductivity* adalah jumlah ion yang terlarut dalam *dissolved solid* yang menggambarkan banyaknya kandungan mineral terkandung di dalam larutan, satuannya $\mu\text{S/cm}$. Kedua sistem RO tersebut menghasilkan 2 keluaran yaitu *permeate* (kandungannya banyak air dan produknya diharapkan) dan *concentrate* (kandungannya banyak garam dan produknya akan dibuang).



Gambar 2.4 *Desalination System Tipe Reverse-Osmosis* PLTU Belitung

Deminerализation system adalah proses penurunan kandungan mineral air laut dengan metode *mixed bed* (*resin kation-anion* bercampur dalam satu tangki). Sistem kerjanya adalah ion positif (+) air laut (Ca^{2+} dan Mg^{2+}) terikat oleh *resin kation* sedangkan ion negatif (-) air laut (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , SiO_2^-) terikat oleh *resin anion*. Sesuai reaksi berikut :



keterangan :

Rz^- : *resin kation*

Rz^+ : *resin anion*

X^{2+} : ion positif (+) air laut

X^- : ion negatif (-) air laut

Standar parameter *outlet mixed bed* PLTU Belitung adalah *conductivity* <1 $\mu\text{S/cm}$.



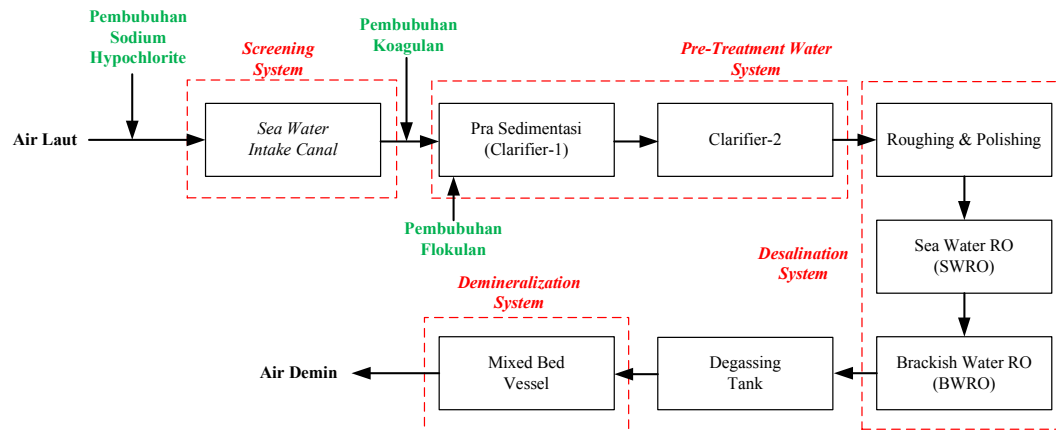
Gambar 2.5 *Deminerализation System Tipe Mixed Bed* PLTU Belitung

Produk dari *water treatment plant (WTP)* berupa air *deminerализation* dan di PLTU Belitung air ini ditampung di *deminerализation tank*. Umpan *boiler* memanfaatkan air ini untuk produksi uap sehingga kualitas air harus terjaga seperti

conductivity <1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan pH antara 7-8. Pengecekan kualitas air dilakukan setiap 2 jam sekali dengan mengambil sampel langsung di lokal PLTU dan disamping itu juga terdapat monitor otomatis pembacaan kualitas air yang terhubung dengan operator di *central control room (CCR)*.

2.2 Proses Koagulasi-Flokulasi di PLTU

Proses *koagulasi-flokulasi* di PLTU adalah tahapan *pre-treatment water system*, sehingga di sistem ini terdapat proses *sedimentasi* dengan penambahan zat kimia pembantu pengendapan seperti *koagulan* dan *koagulan-aid*. Berikut skema detail urutan proses pengolahan air di PLTU Belitung :



Gambar 2.6 Skema Sistem dan Peralatan Proses Pengolahan Air di PLTU Belitung

Air laut masuk melewati *sea water intake canal* yang melewati beberapa *screen* untuk menyaring kotoran berupa sampah dan kayu yang terikut air laut dan ditempat tersebut juga dilakukan pembubuhan *sodium hypochlorite* (NaOCl) untuk melemahkan perkembangbiakan *biota* laut agar tidak hidup di sepanjang peralatan pengolahan air. Setelah air mengumpul di saluran tersebut, kemudian dipompa menuju *pra-sedimentasi pond* yang terdiri dari 2 buah *clarifier* yang tersusun secara seri dan sistem tersebut dikenal dengan istilah *pre-treatment water system*.

Perlakuan di *pre-treatment water system* adalah pembubuhan *koagulan* dan *koagulan-aid* untuk membantu proses *sedimentasi* dan produknya kemudian dilakukan *filterisasi* di *roughing-polishing tank* untuk meminimalisir *dissolved solid* dan bau yang tidak sedap dari umpan air laut. Keluaran dari *roughing-polishing* dipompa menuju ke *desalination system* yang terdiri dari 2 buah *pressure vessel* yaitu *sea water reverse osmosis* (SWRO) dan *brackish water reverse osmosis*

(BWRO). Produk dimasukkan ke *degassing tank* dengan bantuan *blower* untuk dikurangi kandungan gas terlarut yang mengganggu proses operasi dan kemudian dilewatkan di *mixed bed vessel* yang menggunakan *resin kation-anion* dalam satu tangki untuk diturunkan kandungan mineralnya dengan standar *conductivity* $<1 \mu\text{S/cm}$.

Pembubuhan *koagulan* di PLTU Belitung dilakukan di sepanjang perpipaan sebelum masuk *inlet clarifier* yang umum dikenal dengan istilah *static mixer pipe* yaitu perpipaan yang didalamnya dipasang *baffle* umumnya *spiral* yang ditujukan untuk membuat *turbulensi* aliran sehingga *koagulan* memiliki waktu berhenti untuk proses reaksi kimia dengan air laut dan terjadi *homogenisasi*.



Gambar 2.7 *Static Mixer Pipe* di *Inlet Clarifier* PLTU Belitung

Menurut Engelhardt (2014), *koagulasi* adalah proses menetralkan potensial ion dan kemudian membentuk massa seperti *gelatin* untuk menangkap atau menjembatani partikel kemudian membentuk *massa* yang cukup besar untuk mengendap, sedangkan *flokulasi* adalah pengadukan lambat untuk membantu partikel membentuk *massa* yang lebih besar sehingga bisa mengendap. Partikel di air laut berukuran sangat kecil yaitu antara 1 sampai 10 mikron sehingga sulit dipisahkan dengan pengendapan sederhana atau proses *filtrasi* dan membutuhkan media khusus untuk mengikat partikel tersebut seperti *koagulan*. *Koagulan* yang umum dipakai untuk proses pengolahan air adalah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (*tawas*), FeCl_3 (*ferric chloride*), *poly aluminium chloride* (PAC), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (*ferric sulphate*) dan $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ (*sodium aluminat*).

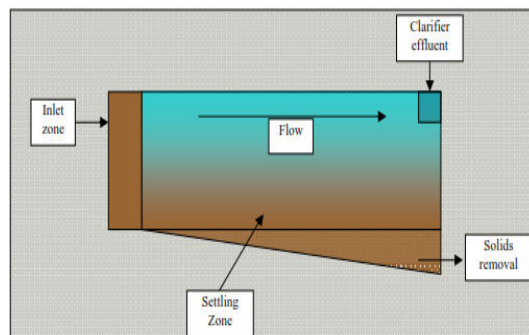
PLTU Belitung menggunakan *koagulan* jenis *aluminium hydroxychloride* dan *koagulan-aid* jenis *poly-acrylamide-anionic* (PAM). *Poly-acrylamide* (PAM) adalah polimer yang terbentuk dari beberapa ikatan *monomer acrylamide*

(-CH₂CHCONH₂-) yang memiliki karakteristik tak berbentuk (*amorphous*) dan larut dalam air. PAM banyak digunakan dalam proses pengendapan lumpur, penjernihan air, industri sabun dan tekstil (Norli, 2010).



Gambar 2.8 Injeksi *Koagulan-aid* di *Inlet Clarifier* PLTU Belitung

Sedimentasi adalah tujuan dari proses *koagulasi-flokulasi* dengan menggunakan peralatan yaitu bak *sedimentasi* atau *clarifier pond* yang didesain agar padatan dan cairan bisa terpisahkan secara alami dengan bantuan gaya gravitasi.



Gambar 2.9 Desain Bejana Sedimentasi, dikutip dari Engelhardt (2014)



Gambar 2.10 *Clarifier* Tipe *Lamella*, dikutip dari Engelhardt (2014)

Suspended solid (padatan tersuspensi) adalah *massa* (satuan mg) atau konsentrasi (satuan mg/L) dari bahan organik maupun non-organik pada aliran air baik dari sungai, danau atau laut yang dipengaruhi oleh *turbulensi* (Bilotta, 2008). *Suspended solid* tersebut jika banyak yang lolos dari *pre-treatment water system* maka akan merusak *membran reverse osmosis (RO)* sehingga kinerja *pre-treatment water system* harus efektif agar *life time membran* meningkat.

Menurut Pangarkar et al. (2011), RO adalah sistem aliran air umpan bertekanan yang melewati *membran semipermeabel* yang memisahkan dua aliran yaitu *permeate* (banyak air) dan *concentrate* (banyak garam). *Membran semipermeabel* adalah *membran* yang hanya bisa dilewati oleh zat tertentu (*solvent/air*) namun tidak untuk *solute/ion* terlarut. Bahan *membran RO* pada umumnya adalah *cellulose acetate*, *polyamides* dan berbagai macam *polimer* (Kore, 2011). RO adalah salah satu bentuk dari *desalination system* selain *Multi Stage Flash Evaporator (MSFE)* dan *Multi Effect Distillation (MED)* dimana keduanya menggunakan sistem *thermal* untuk penguapan dengan prinsip *distilasi*.

Reaksi *koagulan* berlangsung sangat cepat dengan *pra-syarat* kondisinya adalah kecepatan air membentuk *turbulensi* dengan waktu efektif reaksi zat dengan air laut antara 10 sampai 60 detik tergantung jenis *koagulan*. Jika kondisi pengendapan belum maksimal pada umumnya dibubuhkan zat kimia penambah yaitu *koagulan aid* yang berfungsi untuk membantu kerja *koagulan* sehingga gumpalan-gumpalan halus yang sudah terbentuk menjadi lebih besar, mengumpul dan *massa* menjadi lebih besar akan mengendap secara gravitasi di dasar bak pengendapan.

Penambahan zat *koagulan* dalam sistem *koloid* terkadang kurang mampu mengendapkan *suspended solid* dan menurut Blake (1975) diperlukan penambahan zat pembantu untuk menambah konsentrasi muatan pada sistem *koloid*, zat tersebut umum diberi nama *koagulan-aid*. Penambahan *koagulan-aid* akan mempermudah terjadinya penggabungan partikel *koloid* untuk membentuk *flok*. Waktu efektif pertumbuhan gumpalan yang semakin besar adalah bervariasi tergantung jenis *koagulan-aid*. PLTU Belitung menggunakan jenis *poly-acrylamide-anionic (PAM)* dan sesuai percobaan *jar test* yang sudah dilakukan oleh laboratorium PLTU Belitung tahun 2017 didapatkan data waktu tinggal efektif antara 20 sampai dengan

60 menit dan persyaratan lainnya adalah kondisi alirannya berbentuk *laminer* yang bertujuan agar pertumbuhan *flok* tidak pecah.

Reaksi *koagulasi-flokulasi* adalah proses pengikatan antara muatan ion *koagulan-koagulan aid* dengan muatan ion dari air keruh (padatan ter-*suspensi*) sehingga gumpalan mengumpul. Di PLTU Belitung, ion Al^{3+} dari *koagulan* akan mengikat ion negatif air laut sehingga terjadi *stabilisasi* muatan ion dan partikel menjadi rapat, mengumpul dan bisa terendapkan. Penggunaan *koagulan* dan *koagulan-aid* tidak harus bersamaan karena tergantung tingkat kesulitan pengendapan lumpur yang ditandai dengan *outlet clarifier* memiliki rentang *turbidity* yang tinggi yaitu >5 NTU sesuai standar *manual book* operasi di PLTU Belitung. *Turbidity* adalah derajat kejernihan di dalam suatu larutan dengan satuan *Nephelometric Turbidity Unit (NTU)*.

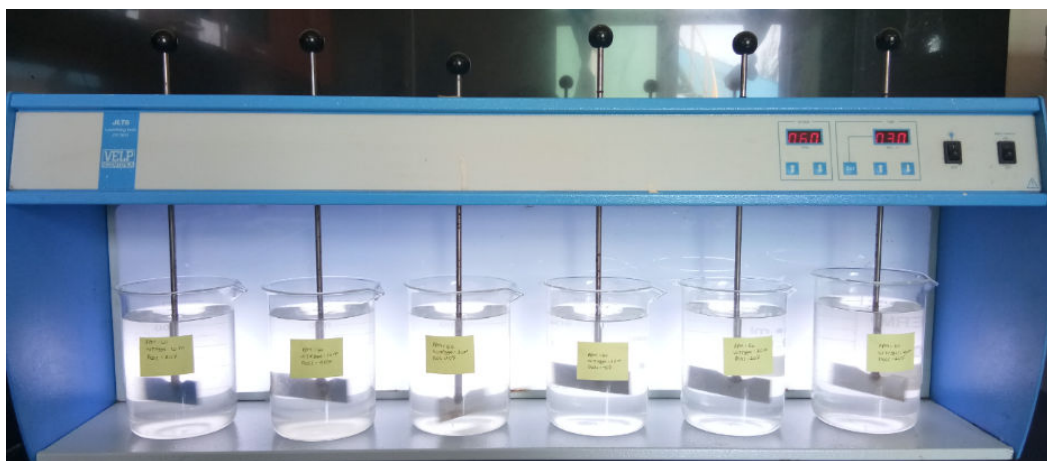
Air laut memiliki karakteristik kualitas yang berubah-ubah tergantung musim dan pasang surut air laut. Tingkat kekeruhan tertinggi adalah pada saat musim hujan dan air laut sedang pasang. Di PLTU Belitung, kemampuan *koagulan* dengan dosis yang disarankan oleh *supplier* pada kondisi lingkungan tersebut masih kurang efektif dalam penurunan *turbidity* sesuai standar sehingga harus ditambahkan zat kimia pembantu pengendapan yaitu *koagulan-aid*. Disisi lain, menurut penelitian Culp et al. (1974) dalam tesis Angreni (2002) dipaparkan bahwa pada saat kekeruhan air tidak terlalu tinggi yaitu musim kemarau akan mengalami kesulitan dalam proses pembentukan gumpalan dibandingkan musim hujan. Dari kedua pernyataan diatas, terdapat pernyataan yang kontras sehingga perlu dilakukan pengumpulan data untuk kondisi lingkungan yang berbeda dan dilakukan percobaan skala laboratorium menggunakan teknik *jar test*. Pernyataan tersebut bisa untuk menarik kesimpulan bahwa masing-masing *koagulan* memiliki karakteristik yang berbeda dalam kemampuan pengikatan *suspended solid*.

Menurut Blake (1975) dan Kawamura (1976) didalam laporan penelitian Angreni (2002) menyatakan bahwa, proses *koagulasi-flokulasi* merupakan salah satu tahapan pada pengolahan air yang bertujuan untuk mengubah partikel-partikel penyebab kekeruhan air (*colloid*) menjadi gumpalan (*flok*) agar lebih mudah diendapkan pada proses *sedimentasi* melalui pembubuhan zat *koagulan*.

Menurut Culp (1974), partikel *koloid* mempunyai ukuran yang sangat kecil yaitu antara 1 *milimikron* sampai 1 *mikron* serta memiliki sifat muatan listrik negatif sejenis sehingga membentuk suatu keadaan stabil yang saling tolak menolak satu sama lain. Kondisi seperti itu menyebabkan antara partikel terjadi ikatan tolak menolak sehingga sulit dalam penggabungan partikel untuk membentuk *flok*. Penambahan *elektrolit* muatan positif yang berasal dari zat *koagulan* diperlukan untuk *stabilisasi* sistem *koloid* sehingga terjadi gaya tarik menarik dan *massa* menjadi lebih besar akhirnya secara gravitasi mengendap di dasar bejana.

2.3 Penelitian Skala Laboratorium

Penelitian skala laboratorium diperlukan untuk analisa *empiris* permasalahan yang ada di lapangan yang menggunakan proses dan operasi yang berubah-ubah sehingga membutuhkan beberapa percobaan untuk mengetahui pilihan kombinasi dari beberapa proses dan operasi yang menjadi variabel dari kondisi di lapangan. Teknik yang sudah umum digunakan adalah *jar test* yaitu teknik percobaan skala laboratorium menggunakan sampel air umumnya 1 liter atau 2 liter menggunakan *automatic paddle motor* yang dilakukan secara bersamaan.



Gambar 2.11 Peralatan *Jar Test* di PLTU Belitung

Pada umumnya terdapat dua tipe *jar test* berdasarkan volume sampel yang diuji yaitu 1 liter dan 2 liter. Kedua tipe memiliki karakteristik berbeda dan menurut Grevile (1997) keterbatasan tipe *jar test* volume *beaker glass* 1 liter adalah:

- i. Volume sampel yang kecil akan menambah jarak *error* yang lebih besar ketika dilakukan pada uji nyata di lapangan

- ii. Air akan berputar secepat putaran pengaduk sehingga mengurangi keefektifan laju pengadukan
- iii. Sulit dalam pengamatan waktu pengendapan (*settling time*)
- iv. Sangat sedikit endapan yang dihasilkan

Karakteristik tipe *jar test* volume *beaker glass* 2 liter adalah :

- i. Volume yang besar mengurangi jarak *error* ketika dilakukan uji nyata di lapangan
- ii. Kecepatan pengendapan mudah diamati
- iii. Banyak dihasilkan endapan sehingga mempermudah pengamatan

Rumus perhitungan dosis dan waktu tinggal yang dipakai di *jar test* adalah:

(Grevile, 1997)

- (i) Larutan (*solution*) 1% didefinisikan sebagai 1% berat (1% w/w) yang artinya terdapat 1 gram atau 1000 miligram zat terlarut (*solute/chemical*) di dalam 99 gram zat pelarut (*solvent/water*) untuk total larutan 100 gram. Jadi jika terdapat pengambilan sampel 1 mL di 1% larutan tersebut maka kandungannya sebagai berikut :

$$(1 \text{ mL}/100 \text{ mL}) \times 1000 \text{ mg} = 10 \text{ mg}$$

Jika 10 mg dilarutkan dalam air 1 liter maka didapatkan 10 mg/L setara dengan 10 ppm

- (ii) Menentukan waktu tinggal (*residence time*) dengan rumusnya :

$$T_d = V/Q \quad \text{(Pers. 2.1)}$$

keterangan :

T_d : *detention time* (menit)

V : volume bejana (m^3)

Q : laju alir (m^3 /menit)

Variabel parameter ini sesuai standar umum *manual book* PLTU dan studi literatur jurnal penelitian terdahulu seperti Beltran et al. (2009) menggunakan parameter *COD*, *turbidity*, *pH*, *conductivity*, *warna*, *TSS* dan biaya untuk mengukur kualitas air limbah sesudah dilakukan pambubuhan beberapa jenis *koagulan*.

Boughou et al. (2016) menggunakan parameter *TSS*, temperatur, *pH*, *turbidity*, *conductivity*, *BOD* dan *COD* untuk mengukur keefektifan penggunaan koagulan FeCl_3 yang digunakan pada sampel air limbah pemukiman.

Greville (1997) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa kualitas air umpan dipengaruhi oleh *alkalinity*, *pH*, *turbidity*, warna, temperatur, *hardness*, rasa dan bau. Daud et al. (2015) menggunakan parameter *COD*, *TSS*, warna, minyak dan *pH* untuk mengukur keefektifan koagulasi-flokulasi pada limbah *biodiesel*.

Berdasarkan beberapa data yang telah dipaparkan diatas, percobaan *jar test* untuk koagulasi-flokulasi mengacu ke 2 variabel utama yaitu variabel kriteria (parameter kualitas air) serta variabel proses dan operasi. Berikut penjelasan lebih detailnya.

Tabel 2.1 Penjelasan Variabel Kriteria Percobaan *Jar Test Koagulasi-Flokulasi*

| Variabel Kriteria | Keterangan |
|------------------------------------|--|
| <i>Turbidity</i> | Tingkat kekeruhan yang mengindikasikan partikel padatan banyak yang terikut air umpan. Satuan yang umum digunakan adalah <i>Nephelometric Turbidity Unit (NTU)</i> dan pengukuran menggunakan sistem <i>spectrofotometri</i> |
| <i>Conductivity</i> | Kandungan ion mineral pada air umpan. Satuan yang umum digunakan adalah $\mu\text{S/cm}$ dan pengukuran menggunakan sistem <i>sensor probe</i> |
| <i>pH</i> | Tingkat keasaman umpan air yang mengindikasikan banyak kandungan ion H^+ di air. <i>pH</i> tidak memiliki satuan dan pengukuran bisa menggunakan kertas <i>pH</i> , titrasi dan <i>sensor probe</i> |
| <i>Total Suspended Solid (TSS)</i> | Kandungan partikel yang tidak terlarut (<i>suspensi</i>) di air umpan. Satuan yang umum digunakan adalah mg/L dan pengukuran menggunakan sistem <i>gravimetri</i> dan <i>spectrofotometri</i> |
| <i>Total Dissolved Solid (TDS)</i> | Kandungan partikel yang terlarut di air umpan. Satuan yang umum digunakan adalah g/L dan pengukuran menggunakan sistem <i>spectrofotometri</i> |

Tabel 2.2 Penjelasan Variabel Alternatif Percobaan *Jar Test Koagulasi-Flokulasi*

| Variabel Proses dan Operasi | Keterangan |
|-----------------------------|--|
| %Dosis | Menurut Daud et al. (2015) bahwa dosis yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan menurunkan performa <i>koagulasi-flokulasi</i> dan membutuhkan dosis yang optimum untuk penggunaan yang efektif yaitu ditandai dengan tidak bertambahnya efisiensi secara signifikan ketika penambahan dosis |
| Waktu Tinggal | Waktu reaksi efektif antara <i>koagulan</i> dan <i>koagulan-aid</i> dengan partikel <i>suspensi</i> air umpan sehingga pertumbuhan <i>flok</i> awal dan lanjutan berjalan optimal sampai terjadi pengendapan |
| Putaran Pengadukan | Kecepatan aliran air umpan setelah pembubuhan <i>koagulan</i> dan <i>koagulan-aid</i> dengan syarat keefektifan <i>koagulan</i> adalah <i>turbulen</i> sedangkan <i>koagulan-aid</i> adalah <i>laminer</i> |

2.4 Proses Pengambilan Keputusan

Ciptomulyono (2010) dalam “*pidato prngukuhan untuk jabatan guru besar dalam bidang ilmu pengambilan keputusan multikriteria*” memaparkan bahwa pengambilan keputusan bukan selalu memilih yang benar tetapi apa yang diperlukan adalah memastikan hasil keputusan dicapai melalui suatu proses yang transparan. Proses ini berupa serangkaian aktivitas yang menganalisis alternatif solusi keputusan, parameter, serta kendala yang ada dan kemudian memilih “*terbaik*”. Tidak ada pengambilan keputusan yang benar atau salah, karena waktulah yang akan menentukan kebenaran itu. Tetapi yang lebih penting adalah pilihan yang ditetapkan harus dapat memberikan kepuasan bagi pengambil keputusan sesuai dengan tingkat aspirasi yang diinginkan dan percaya pada hasil proses itu.

Tidak ada pemahaman yang definitif, tetapi dapat dikatakan secara singkat bahwa proses pengambilan keputusan adalah proses pemilihan alternatif tindakan yang dipilih dengan proses melalui mekanisme tertentu dalam suatu keterbatasan sumber daya dengan harapan memperoleh solusi keputusan yang terbaik.

Suatu pengambilan keputusan bisa *rasional*, *non-rasional* atau *irrasional*. Keputusan *rasional* bilamana dasar pengambilan keputusan tersebut didasari pendekatan dan dianalisis secara ilmiah. Dalam konteks pengambilan keputusan yang *rasional*, model keputusan dikonstruksikan sebagai suatu *representasi* hubungan-hubungan logis yang mendasari permasalahan keputusan itu kedalam suatu model matematika.

Pengambilan keputusan *non-rasional* didasarkan hanya pada *intuisi*, perasaan dan emosinya serta pengalaman pengambil keputusan saat melakukan proses keputusan, tanpa memanfaatkan hasil analisis ilmiah. Sehingga acap kali sulit menjelaskan mengapa mereka membuat keputusan seperti itu. Permasalahannya, pengambilan keputusan menjadi sesuatu yang formal dalam organisasi karena keputusan tersebut harus dipertanggung-jawabkan.

Bagi pengambil keputusan yang *rasional*, mereka menerapkan suatu prosedur sistematis dan *scientific* dalam mengambil keputusan (Turban et al., 2005). Prosedur itu mengikuti tahapan sebagai berikut: **(i)** melakukan identifikasi situasi keputusan yang terkait dengan masalah yang akan diselesaikan, **(ii)** membuat klarifikasi tujuan yang diinginkan oleh pengambil keputusan, **(iii)** membangkitkan berbagai alternatif untuk mencapai tujuan yang diinginkan, **(iv)** mendapatkan solusi yang tepat dari model dan melakukan evaluasi berdasarkan kriteria penilaian yang ditetapkan, **(v)** memilih dan merekomendasikan implemmentasi alternatif solusi keputusan kedalam problem nyata.

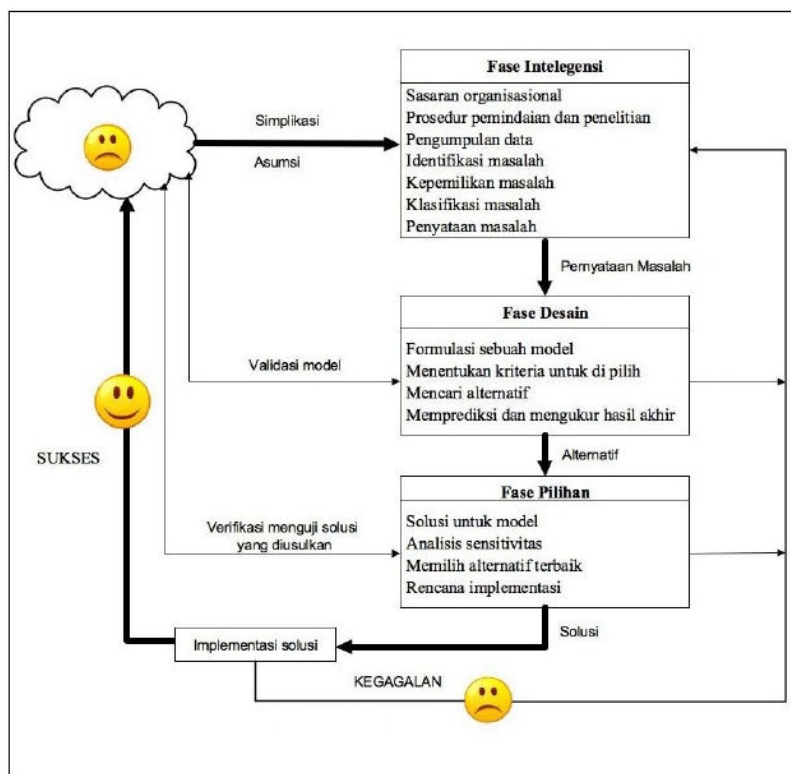
Penggambaran proses pengambilan keputusan *rasional* menurut model Simon (Turban et al., 2005) dalam alur pikir seperti ditampilkan dalam Gambar 2.13 yang terdiri dari tiga tahapan utama.

(i) Fase Intelligence: pengambil keputusan melakukan proses identifikasi atas semua lingkup masalah yang harus diselesaikan. Tahap ini pengambilan keputusan harus memahami *realitas* dan mendefinisikan masalah dengan menguji data yang diperoleh.

(ii) Fase Design: melakukan pemodelan *problem* yang didefinisikan dengan terlebih dahulu menguraikan elemen keputusan, alternatif variabel keputusan, kriteria evaluasi yang dipilih. Perlu dipaparkan asumsi yang menyederhanakan *realitas* dan diformulasikan semua hubungan elemennya. Model kemudian

divalidasi serta berdasarkan kriteria yang ditetapkan untuk melakukan evaluasi terhadap alternatif keputusan yang akan dipilihnya. Penentuan solusi merupakan proses mendesain dan mengembangkan alternatif keputusan, menentukan sejumlah tindakan yang akan diambil sekaligus penetapan konsekuensi atas pilihan dan tindakan yang diambil sesuai dengan *problem* yang sudah didefinisikan. Pada tahap ini juga menetapkan nilai dan bobot yang diberikan kepada setiap alternatif.

(iii) **Fase Pemilihan**: merupakan tahapan pemilihan terhadap solusi yang dihasilkan dari model. Bilamana solusi bisa diterima pada fase terakhir ini lalu *implementasi* solusi keputusan pada dunia nyata.



Gambar 2.12. Tahapan Proses Pengambilan Keputusan Rasional (Model Simon), sumber : Turban et al. (2005)

Pengambilan keputusan sebagai domain bidang keilmuan memiliki aspek *ontologi*, *epistemologi* maupun *axiologi* memiliki kaidah pendekatan ilmiah tertentu yang sistematis, spesifik, teratur dan terarah. Dari ranah paradigma pengambilan keputusan, pendekatan yang banyak dikaji di masa sekarang adalah pengambilan keputusan *rasional* yaitu bentuk pengambilan keputusan yang

diperhitungkan secara matematis atau statistik, ini bukan berarti pengambilan keputusan “*non-rasional*” tidak penting.

Menyadari bahwa dalam proses pengambilan keputusan informasi sebagai dasar pembuatan keputusan tidak sempurna, adanya kendala waktu, biaya serta keterbatasan pengambil keputusan yang *rasional* untuk mengerti dan memahami masalah, maka keputusan diarahkan pada konsep keputusan dengan *rasional* terbatas (*bounded rationality*). *Rasionalitas* terbatas ini berupa proses penyederhanaan model pengambil keputusan tanpa melibatkan seluruh masalah (Suryadi dan Ramdhani, 1998). Sehingga model keputusan yang dihasilkan dari pendekatan ini hanya berupa “*satisficing model*”. Salah satu *representasi* model dan teknik keputusan yang mendasarkan pada konsep *rasional* terbatas ini adalah metode pengambil keputusan *multikriteria*.

2.5 Pengambilan Keputusan Multikriteria

Metode MCDA adalah teknik yang digunakan untuk analisa sistem keputusan yang memiliki banyak kriteria/variabel. Ciptomulyono (2010) memaparkan bahwa metode MCDA adalah suatu metode proses pemilihan alternatif untuk mendapatkan solusi optimal dari beberapa alternatif keputusan dengan memperhitungkan kriteria atau objektif yang lebih dari satu yang berada dalam situasi yang bertentangan (*conflicting*). Paradigma ini berbeda dengan cara pandang tradisional *problem* pencarian solusi optimal suatu keputusan. *Problem* keputusan yang kompleks dimodelkan hanya sebagai *problem* sederhana dari model optimasi keputusan berobjektif tunggal, sehingga terjadi *simplikasi realitas problem* yang berlebihan dan akhirnya solusi keputusan gagal mencari solusi permasalahan yang sebenarnya. Artinya pendekatan model optimasi pendekatan tunggal gagal mengakomodasikan “*heterogenitas*”, dinamika dan kondisi kriteria yang mengalami konflik tersebut.

Dalam situasi keputusan objektif tunggal proses evaluasi mendapatkan solusi optimal dari satu set alternatif solusi dapat dilakukan dengan relatif mudah, karena solusi keputusan adalah solusi yang unik ditinjau dari satu objektif saja, artinya keputusan tersebut tanpa menemui suatu situasi “*trade off*” dengan pencapaian objektif lain (Ciptomulyono, 2010). Menurut Hwang dan Yoon (1981) didalam pidato pengukuhan untuk jabatan guru besar Ciptomulyono (2010) *taksonomi*

keilmuan pengambilan keputusan *multikriteria* terbagi menjadi 2 pendekatan yang berbeda yaitu *multiple objective decision making* (MODM) dan *multiple attribute decision making* (MADM). Masing-masing memiliki karakter, atribut dan sifat serta aplikasi penyelesaian ragam persoalan keputusan yang berbeda seperti berikut.

Tabel 2.3 Perbandingan Metode MADM dan MODM

| Elemen Keputusan | Metode Multi Atribut (MADM) | Metode Multiple Objektif (MODM) |
|-------------------------|---|---|
| Kriteria | <i>Atribut</i> | Objektif |
| Objektif | <i>Implisit</i> | <i>Eksplisit</i> |
| Atribut | <i>Eksplisit</i> | <i>Implisit</i> |
| Kendala | Pasif | Aktif |
| Alternatif | Jumlah terbatas | Jumlah tidak terbatas dan kontinyu (<i>integer</i>) |
| Interaksi | Jarang | Lebih sering |
| Pemakaian | <i>Problem</i> seleksi dan pemilihan alternatif | <i>Problem</i> konsepsi dan rekayasa |

Sumber : Hwang dan Yoon (1981)

Pendekatan MODM berkenaan dengan penyelesaian model optimasi yang memiliki objektif majemuk dan objektifnya bersifat saling mengalami konflik. Keberadaan adanya solusi optimal untuk objektif yang majemuk ini akan menjadi pembeda dengan pendekatan optimasi klasik objektif tunggal semacam *linear programming*. Proses penyelesaian model *multiobjektif* ini secara teknis memerlukan informasi mengenai *preferensi* subjektif dari pengambil keputusan (dalam bentuk pembobotan) sehingga persoalan pembobotan dan *preferensi*-nya menjadi peranan kunci dalam pengembangan dan *riset* penyelesaian. Contoh metode pendekatan MODM adalah *global criteria method*, *compromise programming*, *goal programming* dan masih banyak lainnya (Ciptomulyono, 2010).

Pendekatan MADM adalah teknik penyelesaian *multikriteria* untuk persoalan pemilihan atau seleksi, tidak diperlukan pendekatan program matematik klasik. Variabel keputusan dipertimbangkan sebagai variabel *diskrit* yang terbatas. Pendekatan ini hanya ditujukan sebagai alat bantu keputusan supaya bisa

mempelajari dan memahami problem yang dihadapi, menentukan prioritas, *values*, objektif melalui eksplorasi komponen keputusan itu sehingga mempermudah bagi pengambil keputusan nantinya untuk mengidentifikasi mana pilihan terbaik yang disukai. Karena mendasarkan pada faktor *preferensi* pengambil keputusan, maka subjektivitas selalu terkait khususnya dalam pemilihan serta pemberian bobot kriteria yang dipergunakan dalam proses keputusan, juga *judgment* subjektif dalam menurunkan kriteria yang dipertimbangkan dalam proses keputusan yang jelas. Contoh metode pendekatan MADM adalah *AHP*, *ANP*, *ELECTREE*, *PROMTHEE*, *TOPSIS* dan masih banyak lagi lainnya (Ciptomulyono, 2010). Berikut dipaparkan beberapa metode MADM yang umum digunakan oleh peneliti dalam pengambilan keputusan.

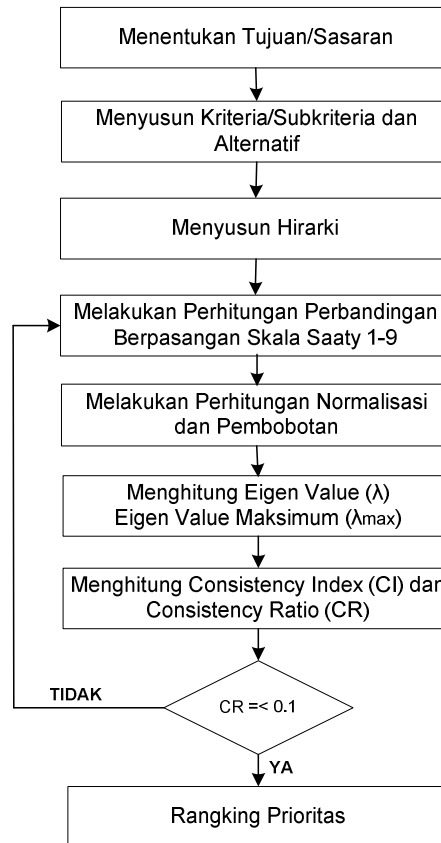
2.5.1 Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Analytic Network Process* (ANP)

Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) atau *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) adalah cabang keilmuan *riset* operasi yang digunakan untuk menemukan keputusan optimal didalam permasalahan yang kompleks seperti variasi indikator, sasaran objektif dan kriteria (Kumar et al, 2017) sedangkan menurut Beltran et al. (2014), MCDM adalah kesatuan konsep, metode dan teknik yang dikembangkan untuk membantu dalam pengambilan keputusan untuk menyelesaikan keputusan yang kompleks dengan cara sistematis dan terstruktur.

Metode MCDM yang umum dipakai adalah *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Analytic Network Process* (ANP) yang digagas oleh Thomas L. Saaty (1996). AHP yaitu teori pengukuran dengan perbandingan berpasangan dan didasarkan pada keputusan para ahli untuk menyusun skala prioritas (Saaty, 2008). Dalam menyelesaikan masalah *multicriteria*, metode AHP digunakan untuk memperoleh prioritas berdasarkan penilaian *preferensi* pembuat keputusan dengan teknik perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang mewakili kemampuan hakiki manusia untuk menyusun persepsinya secara bertingkat, membandingkan sepasang solusi setara terhadap kriteria yang diberikan (Ciptomulyono, 2008). Struktur permasalahan AHP diberikan dalam bentuk

tingkatan (*hirarki*) dari atas ke bawah dimulai dari tujuan, kriteria, sub-kriteria dan alternatif.

Tahapan metode AHP bisa digambarkan sesuai *flowchart* berikut :



Gambar 2.13 Standar Pembentukan Metode AHP (Saaty, 1996)

Berikut uraian dari *flowchart* standar pembentukan AHP tersebut :

- i. Mendefinisikan permasalahan dan menentukan tujuan/pengetahuan yang ingin dicapai
- ii. Menyusun struktur *hirarki* dengan urutan paling atas adalah tujuan yang diharapkan (*goal decision*), kemudian diikuti kriteria (bisa dilanjutkan ke sub-kriteria) dan level terbawah adalah alternatif
- iii. Menyusun matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk setiap kriteria/sub-kriteria dan alternatif yang telah ditentukan. Teknik perbandingan berpasangan menggunakan skala prioritas untuk kriteria terpilih menggunakan *Skala Saaty 1-9* berikut

Tabel 2.4 Skala Saaty untuk Perbandingan Berpasangan

| Intensitas Kepentingan | Keterangan |
|---------------------------|--|
| 1 | Kedua elemen SAMA PENTING |
| 3 | Elemen yang satu SEDIKIT LEBIH PENTING daripada elemen lain |
| 5 | Elemen yang satu LEBIH PENTING daripada elemen lain |
| 7 | Satu elemen JELAS LEBIH PENTING daripada elemen lain |
| 9 | Satu elemen SANGAT (MUTLAK) PENTING daripada elemen lain |
| 2, 4, 6, 8 | Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan |

Matriks untuk elemen a_{ij} mendapat nilai x sehingga untuk elemen a_{ji} (kebalikannya) mendapat nilai $1/x$ sehingga bersifat *reciprocal*

- iv. Melakukan proses normalisasi yaitu operasi baris dengan membagi nilai matriks a_{ij} dengan nilai total matriks dalam satu kolom (n) dan operasi kolom untuk mendapatkan nilai pembobotan (w_i)

$$w_i = \sum_{i=1}^n a_{ij} / n \quad \text{(Pers. 2.2)}$$

keterangan:

w_i : nilai pembobotan

a_{ij}/n : matriks normalisasi baris

- v. Menghitung *eigen value* (λ) dan *eigen value maximum* (λ_{\max})

$$\lambda_i = \sum_{i=1}^n a_{ij} / w_i \quad \text{(Pers. 2.3)}$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n (a_{ij} / w_i) / n \quad \text{(Pers. 2.4)}$$

- vi. Menguji konsistensinya dengan menggunakan *consistency index* (CI).

Rumus yang dipakai adalah:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{(Pers. 2.5)}$$

keterangan:

λ_{\max} : *eigen value maximum*

n : jumlah matriks

- vii. Menghitung *Consistency Ratio* (CR)

Saaty (2008) menetapkan nilai $CR \leq 10\%$ untuk standar data konsistensi bisa diterima dan jika $CR > 10\%$ maka data tidak konsisten sehingga dilakukan ulang pengambilan data untuk perbandingan berpasangan.

Rumus yang dipakai adalah :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{(Pers. 2.6)}$$

keterangan:

CR : *Consistency Ratio*

RI : *Random Consistency Index*

Tabel 2.5 Random Consistency Index

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Sumber : Saaty (2008)

viii. Menyusun rangking prioritas

Rangking prioritas didasarkan pada nilai terbobot (*weighted score*) tertinggi

Menurut Ciptomulyono (2001), kelebihan AHP antara lain:

- i. Kesederhanaan, *fleksibilitas* dan memungkinkan pemakaian *intuitif* personal dari pengambil keputusan persoalan *multikriteria* secara lebih sistematis
- ii. Mampu membahas permasalahan kompleks dan tak terstruktur secara detail
- iii. Memadukan intuisi, pikiran, perasaan dan penginderaan dalam menganalisis pengambilan keputusan
- iv. Memiliki kemampuan melakukan sintesa pemikiran berbagai sudut pandang responden
- v. Memperhitungkan konsistensi dari penilaian yang telah dilakukan dalam memperbandingkan faktor-faktor untuk memvalidasi keputusan
- vi. Kemudahan dalam pengukuran elemennya
- vii. Memungkinkan untuk melakukan perencanaan ke depan (*forward*) atau sebaliknya, menjabarkan masa depan yang ingin dicapai ke masa kini (*backward*)

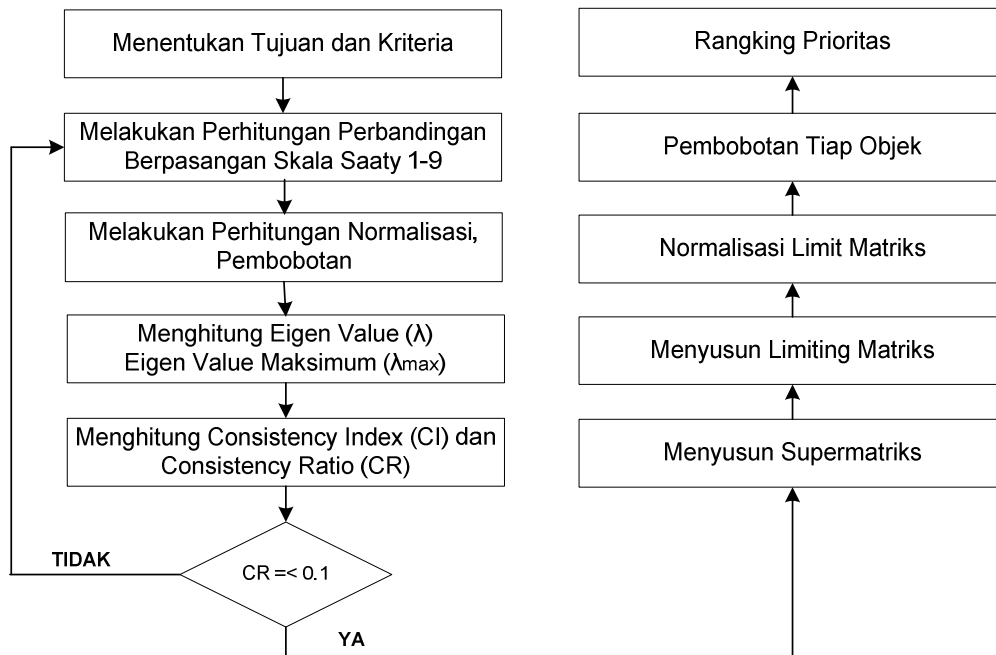
- viii. Dapat mengakomodasi kriteria keputusan yang bersifat kualitatif dari penyederhanaan struktur *hirarki* dari problem yang kompleks

Sedangkan kelemahan AHP yaitu: (Ciptomulyono, 2001)

- i. Dalam penerapannya, harus melibatkan orang-orang yang memiliki pengetahuan yang cukup tentang permasalahan dan tentang metode AHP itu sendiri
- ii. Untuk melakukan perbaikan keputusan walaupun kecil maka harus dimulai lagi dari tahap awal dan memakan waktu yang relatif lama
- iii. AHP tidak dapat diterapkan pada suatu perbedaan sudut pandang yang sangat tajam atau ekstrim di kalangan responden
- iv. Tidak mengarahkan solusi yang memberi hasil optimal tetapi hanya berupa solusi "*satisfied*" (konsisten) yang memaksimumkan *preferensi* pengambil keputusannya.

Metode pengembangan dari AHP adalah ANP yaitu metode untuk pengambilan keputusan yang mengatasi permasalahan yang antar kriterianya saling keterkaitan dan tidak dapat distrukturkan secara hirarki (Saaty, 1996). Pengembangan metode ini didasarkan karena dalam metode ANP permasalahan tidak bisa distrukturkan kedalam bentuk hirarki dan antar kriteria tidak terdapat hubungan keterkaitan satu sama lain. Keterkaitan pada metode ANP ada 2 jenis yaitu keterkaitan dalam satu set elemen (*inner dependence*) dan antar elemen yang berbeda (*outer dependence*). Metode ANP merupakan perluasan dari metode AHP dengan mempertimbangkan ketergantungan antara unsur-unsurnya. Metode ANP memiliki struktur *non-linear*/jaringan bukan *hirarki* dan membutuhkan teknik AHP sebagai langkah awal untuk proses di ANP.

Langkah-langkah pembentukan ANP sesuai *flowchart* berikut:



Gambar 2.14 Standar Pembentukan Metode ANP (Saaty, 1996)

Uraian *flowchart* standar pembentukan ANP sebagai berikut:

- i. Perhitungan sesuai langkah metode AHP sudah menghasilkan $CR \leq 10\%$ dan *eigenvector* hasil observasi dari matriks perbandingan berpasangan menghasilkan bobot untuk setiap kriteria dan hasilnya digunakan untuk menyusun *supermatriks*
- ii. Menyusun dan menyelesaikan *unweighted supermatriks*
Unweighted supermatriks disusun dengan cara memasukkan semua *eigenvector* yang telah dihitung
- iii. Menyusun dan menyelesaikan *weighted supermatriks*
Melakukan perkalian setiap nilai *unweighted supermatriks* terhadap matriks perbandingan kriteria/sub-kriteria
- iv. Menyusun dan menyelesaikan *limiting supermatriks*
Limiting supermatriks diselesaikan dengan cara memangkatkan *supermatriks* secara terus-menerus sehingga angka di setiap kolom dalam satu baris sama besar
- v. Melakukan pembobotan setiap objek
- vi. Menentukan rangking prioritas

Metode ANP sudah banyak digunakan oleh peneliti dalam membuat keputusan *multikriteria* yang saling berkaitan seperti yang dilakukan oleh Ciptomulyono et al. (2008) dalam pengukuran kinerja perusahaan yang diantara variabel kriterianya terdapat hubungan saling keterkaitan seperti *perspektif financial, persepektif customer, perspektif internal business process, perspektif learning and growth*. Metode ANP digunakan untuk penilaian pembobotan beberapa perspektif.

Beltran et al. (2014) menggunakan pendekatan AHP/ANP untuk pemilihan investasi proyek pada pembangkit tenaga surya. Terdapat 3 level kriteria yang dipakai yaitu *tahap identify and analyze criteria*, tahap *feasibility study* dan tahap *project portfolio*. Setiap level kriteria dilakukan pembobotan menggunakan pendekatan AHP/ANP dan analisa sensitifitas. Konsep perhitungan yaitu jika diterima di level pertama maka lanjut ke level berikutnya dan level terakhir adalah penentuan ranking prioritas.

2.5.2 Metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS)

TOPSIS dikemukakan oleh Hwang dan Yoon (1981) yang digunakan untuk menentukan solusi ideal positif (A_i^+) dan solusi ideal negatif (A_i^-). Pemilihan alternatif terbaik adalah data yang memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif.

Langkah - langkah dalam perhitungan metode TOPSIS sebagai berikut: (Chang et al, 2015)

1. Menyusun matriks keputusan yang sudah dinormalkan. Nilai penormalan (r_{ij}) dihitung sesuai rumus:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad \text{(Pers. 2.7)}$$

2. Menyusun bobot matriks keputusan yang sudah dinormalkan. Nilai bobot normalisasi matriks (v_{ij}) dihitung sesuai rumus:

$$V_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad \text{(Pers. 2.8)}$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \text{(Pers. 2.9)}$$

w_j adalah bobot dari kriteria atau atribut j^{th} .

3. Menentukan solusi ideal positif dan negatif

$$A_i^+ = \{(v_i^+, v_2^+, \dots, v_n^+)\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in S_b), (\min_i v_{ij} | j \in S_c)\} \quad \text{(Pers. 2.10)}$$

$$A_i^- = \{(v_i^-, v_2^-, \dots, v_n^-)\} = \{(\min_i v_{ij} | j \in S_b), (\max_i v_{ij} | j \in S_c)\} \quad \text{(Pers. 2.11)}$$

4. Menghitung jarak *Euclidean* antara solusi ideal positif dan negatif untuk setiap kriteria/alternatif

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i \in I \quad \text{(Pers. 2.12)}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i \in I \quad \text{(Pers. 2.13)}$$

5. Menghitung *relative closeness* terhadap solusi ideal positif untuk setiap alternatif

$$CC_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{(Pers. 2.14)}$$

6. Membuat ranking prioritas dengan memilih maksimum CC_i^+

Penggunaan TOPSIS banyak digunakan oleh peneliti untuk menyempurnakan proses perankingan metode AHP atau ANP. Pendekatan metode TOPSIS tetap membutuhkan metode AHP/ANP sebagai *input* bobot dan umumnya aplikasi perhitungan menggunakan metode ini adalah dengan perpaduan antara AHP/ANP-TOPSIS.

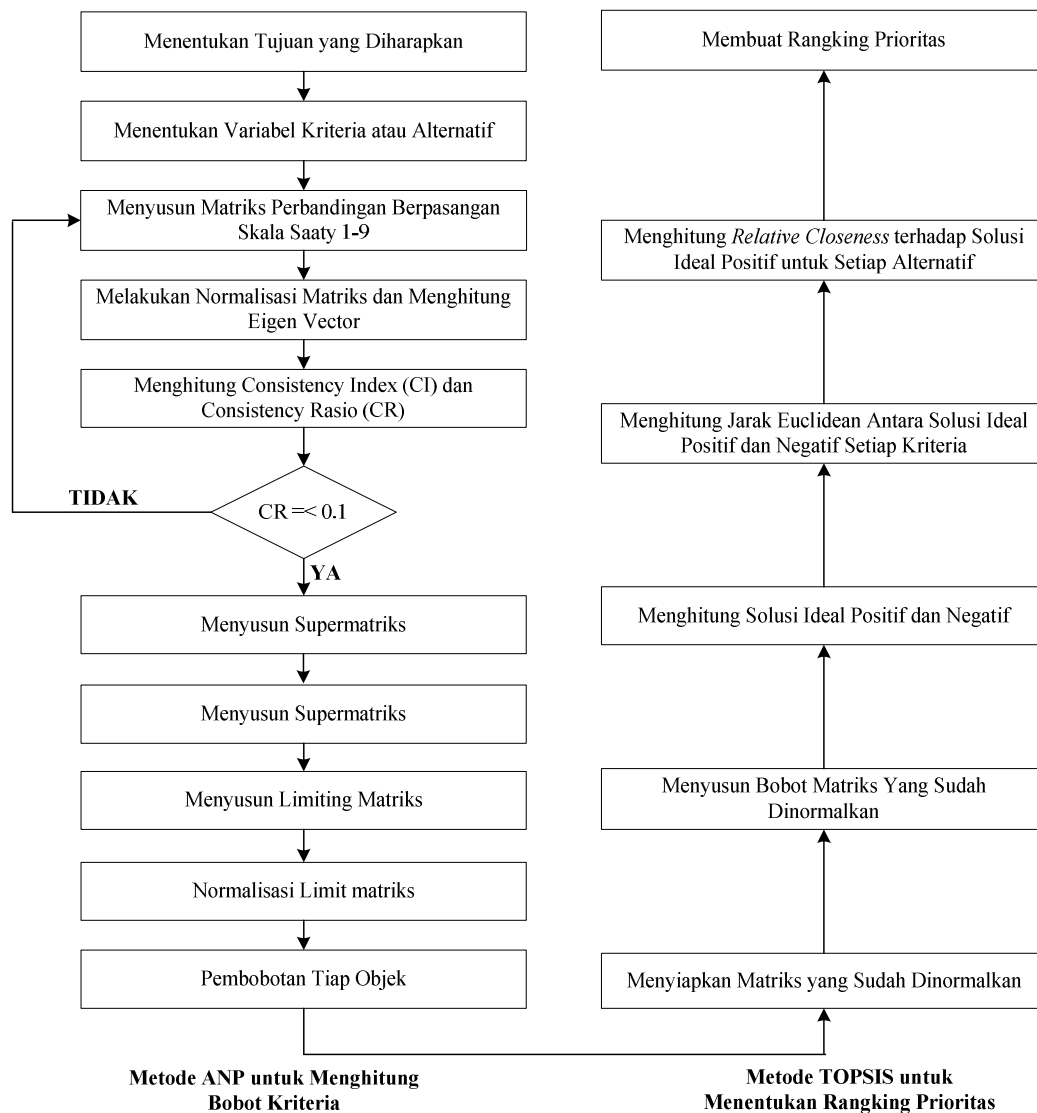
2.5.3 Perpaduan Metode AHP/ANP-TOPSIS

Perpaduan metode pengambilan keputusan antara AHP/ANP dan TOPSIS sudah sering dilakukan oleh peneliti untuk menyederhanakan proses dan memperbaiki kelemahan yang terdapat pada masing-masing metode MCDM. Sakthivel et al. (2014) melakukan penelitian dan menggunakan metode ANP dan TOPSIS untuk menentukan campuran terbaik membentuk *biodiesel* yang digunakan untuk mesin pembakaran dalam. Dalam penelitiannya digunakan metode

ANP karena antar variabel kriterianya terdapat hubungan saling ketergantungan dan metode ini untuk mendapatkan pembobotan kriteria. Sedangkan metode TOPSIS digunakan untuk melengkapi kelemahan metode ANP dalam sistem perankingan.

Suparno et al. (2015) melakukan penelitian pengembangan model *performance measurement* dengan integrasi metode *balance scorecard*, ANP dan TOPSIS. Metode ANP digunakan untuk penentuan bobot kriteria dimana antar kriteria terdapat hubungan saling ketergantungan yaitu *perspektif financial*, *persepektif customer*, *perspektif internal business process*, *perspektif learning and growth* dan TOPSIS digunakan untuk penentuan ranking prioritas.

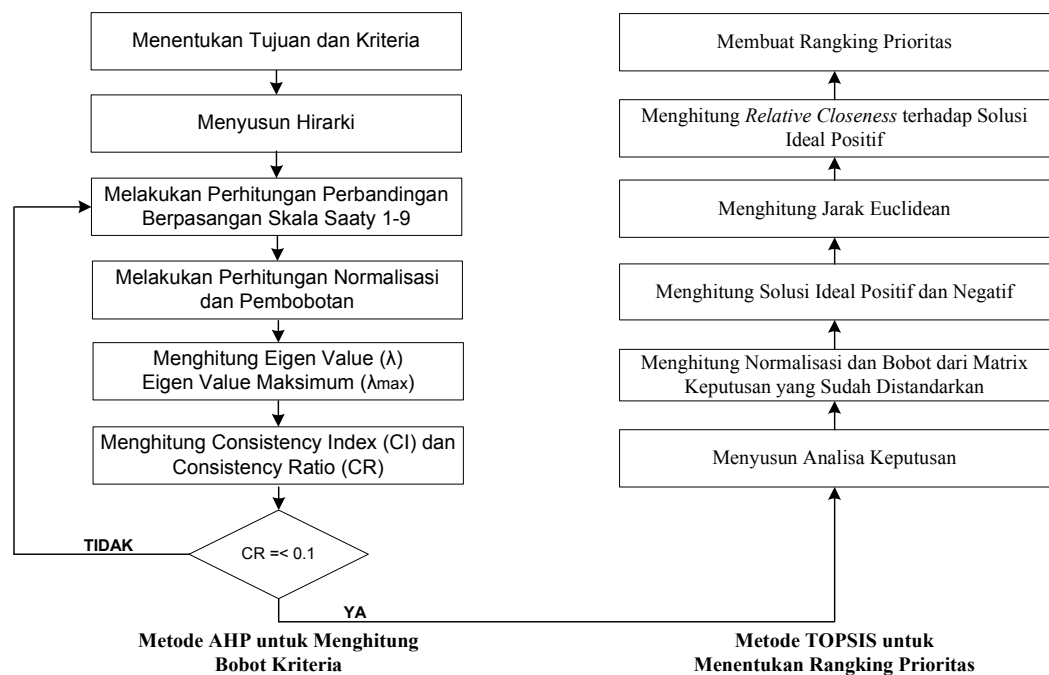
Ciptomulyono et al. (2010) menggunakan metode *fuzzy ANP* dan TOPSIS dalam pemilihan *logistic service provider* dengan mempertimbangkan kriteria *benefit*, *opportunities* dan *risk*. Metode *fuzzy ANP* digunakan karena antar kriteria terdapat hubungan saling ketergantungan seperti kriteria *flexibility in operation and delivery* mempengaruhi *delivery performance and operational performance*, kriteria *experience in similar product* mempengaruhi *fleksibilitas operational and delivery*, kriteria *health and safety environment* mempengaruhi *delivery performance and operational performance* sedangkan untuk penentuan bobot digunakan pendekatan metode TOPSIS untuk perankingan prioritas.



Gambar 2.15 Standar Pembentukan Metode ANP-TOPSIS

Metode AHP-TOPSIS digunakan oleh Ozcan (2017) dengan tujuan menentukan kombinasi strategi pemeliharaan yang tepat untuk setiap grup peralatan. Dipilih 3 kriteria yaitu *occurence*, *severity* dan *detectability* dengan 4 alternatif strategi pemeliharaan seperti *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, *predictive maintenance* dan *revision maintenance*. Metode AHP digunakan untuk penentuan bobot kriteria karena dalam variabel kriteria tidak terdapat hubungan saling ketergantungan dan untuk menyempurnakan sistem perankingan digunakan metode TOPSIS.

Armon et al. (2016) menggunakan metode AHP-TOPSIS untuk pemilihan teknologi *liquid lifting* di *gas field*. AHP digunakan untuk pembobotan karena dalam variabel kriteria dan sub-kriteria terdapat hubungan yang tidak saling berkaitan. Sistem AHP memiliki sedikit kekurangan dalam penentuan sistem perankingan sehingga dipilih metode TOPSIS yang berprinsip prioritas ranking yang terpilih adalah yang memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif.



Gambar 2.16 Standar Pembentukan Metode AHP-TOPSIS

Pemilihan perpaduan 2 metode ini berdasarkan hubungan saling keterkaitan antar kriteria, dimana ANP digunakan untuk mendapatkan nilai pembobotan jika antar kriteria terdapat hubungan saling ketergantungan baik di dalam sub-kriteria (*inner dependence*) maupun antar kriteria (*outer dependence*) sedangkan AHP digunakan jika bentuk permasalahan bisa distrukturkan secara hirarki dan antar kriteria/sub-kriteria tidak terdapat hubungan saling keterkaitan.

2.6 Analisa Ekonomi Teknik

Berdasarkan analisa data penelitian yang menghasilkan potensi penurunan biaya operasional maka diperlukan rancangan teknis dan biaya untuk mengkaji kelayakan penerapannya pada operasional kondisi *riil* di lapangan. Rancangan biaya tersebut dilakukan terhadap beberapa pilihan alternatif yang diusulkan menggunakan pendekatan metode AHP dan AHP-TOPSIS.

Keputusan atas pilihan alternatif terbaik di penelitian ini diharapkan untuk manajemen unit PLTU selain efektif dari segi teknis juga sisi biaya diharapkan bisa menambah efisiensi. Dalam hal ini, secara keseluruhan pendekatan analisa ekonomi teknik ditekankan pada optimasi rancangan biaya yang antara lain melalui tinjauan atas konsep-konsep sebagai berikut:

- i. Biaya siklus hidup (*life cycle cost*)
- ii. Optimasi rancangan yang digerakkan biaya (*cost-driven design optimization*)
- iii. Metode estimasi biaya (*cost estimating method*)
- iv. Analisa efektivitas biaya (*cost effectiveness analysis*)

2.6.1 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup mengandung pengertian atas penjumlahan semua biaya-biaya baik yang berulang maupun yang tidak berulang, sehubungan dengan produk, struktur atau sistem selama jangka waktu hidupnya, Degarmo et al. (1997). Biaya siklus hidup secara garis besar meliputi komponen biaya pada fase *akuisisi* dan fase operasi.

Fase *akuisisi* mengandung komponen biaya, penaksiran kebutuhan, rancangan konseptual, rancangan terinci, perencanaan produksi dan konstruksi serta pengadaan fasilitas dan sumber daya. Sedangkan komponen biaya pada fase operasi meliputi: produksi dan konstruksi, pemanfaatan, operasi dan pemeliharaan serta pembuangan.

Berdasarkan konsep biaya siklus hidup tersebut, maka dalam proses perancangan desain sistem atau produk perlu mempertimbangkan upaya penghematan yang optimal secara tepat. Potensi terbesar untuk mencapai penghematan biaya siklus hidup adalah secara dini pada fase *akuisisi*. Dalam hal ini perancangan teknik dan analisis ekonomis yang efektif merupakan suatu upaya

meminimalkan biaya siklus hidup. Secara garis besar biaya siklus hidup dibagi menjadi 3 kategori (Degarmo et al., 1997):

- i. Biaya investasi (*investment cost*)
- ii. Biaya operasi dan pemeliharaan (*operation and maintenance cost*)
- iii. Biaya pembuangan (*disposal cost*)

Pertimbangan secara konsisten atas biaya-biaya tersebut serta kaitannya dengan faktor-faktor lain yang memungkinkan menghasilkan biaya siklus hidup minimum merupakan tujuan utama dalam hal tahap awal perancangan.

2.6.2 Optimasi Rancangan yang Digerakkan Biaya (*Cost-Driven Design Optimization*)

Optimasi rancangan yang digerakkan biaya adalah model rancangan yang dimaksudkan untuk menggambarkan pentingnya biaya dalam proses perancangan. Prinsip pokok untuk mengoptimalkan rancangan yang digerakkan biaya adalah:

- i. Menentukan nilai optimal untuk variabel rancangan alternatif tertentu
- ii. Memilih alternatif terbaik variabel perancangan

Secara umum terdapat 3 jenis biaya yang dikembangkan yaitu:

- i. Biaya tetap
- ii. Biaya yang bervariasi langsung terhadap variabel perancangan
- iii. Biaya yang bervariasi tidak langsung terhadap variabel perancangan

Penentuan biaya-biaya tersebut dipengaruhi oleh prosedur penentuan rancangan optimal. Pada masalah optimasi dengan variabel rancangan tunggal, dimana variabel ini disebut sebagai penggerak biaya primer (*primary cost driver*), maka perilakunya akan mempengaruhi perilaku biaya total.

Formulasi model matematis biaya dengan satu variabel perancangan adalah: (Degarmo, 1997)

$$\mathbf{Biaya = aX + b/X + k} \qquad \mathbf{(Pers. 2.15)}$$

Keterangan:

- a** : parameter atas biaya-biaya yang bervariasi secara langsung
b : parameter atas biaya-biaya yang bervariasi secara tidak langsung
k : parameter yang menyatakan biaya-biaya tetap
X : variabel perancangan

Langkah pendekatan umum untuk mengoptimalkan perancangan terhadap biaya meliputi:

- i. Identifikasi variabel perancangan yang merupakan penggerak biaya primer
- ii. Penyusunan model biaya terhadap bentuk variabel rancangan
- iii. Perhitungan nilai model biaya untuk mendapatkan nilai optimal (minimalisasi biaya dengan perancangan terbaik)

2.6.3 Metode Estimasi Biaya (*Cost Estimating Method*)

Estimasi biaya adalah suatu pandangan yang berdasarkan pada analisa dan kebijakan biaya produksi, sistem, struktur atau pelayanan (Thuesen et al., 1993). Pada prinsipnya estimasi biaya disusun berdasarkan pengalaman merupakan basis yang baik untuk prediksi pada masa yang akan datang. Metode estimasi biaya meliputi beberapa cara sebagai berikut:

1. *Estimasi dengan Prosedur Engineering*

Estimasi ini dilakukan dengan merinci biaya pada setiap elemen sampai tingkat terendah secara detail yang kemudian dikombinasikan menjadi total biaya produk. Hal ini menuntut upaya untuk mendapatkan data yang lengkap dalam suatu pengembangan sistem atau proyek. Di lain pihak, metode ini relatif sangat sensitif terhadap terjadinya variasi atau perubahan kondisi yang terjadi pada berlangsungnya sistem atau produksi.

2. *Estimasi dengan Analogi*

Estimasi ini dilakukan pada kondisi apabila proses produksi memasuki sistem baru, sementara telah ada sistem lain yang serupa. Kelemahan utama sistem ini adalah membutuhkan *justifikasi* yang tinggi dan kompleks.

3. *Estimasi Statistik*

Estimasi ini menggunakan teknik *range* statistik untuk suatu grafik yang sederhana sampai dengan analisa *korelasi* yang kompleks. Metode ini dapat digunakan pada sebagian besar kondisi situasi dan sangat berguna untuk perencanaan jangka panjang.

Pada beberapa kasus *estimasi* biaya, hubungan antara pengalaman yang lalu dan manfaat pada saat mendatang memiliki kaitan langsung, namun pada kasus lain kurang jelas terlihat. Dengan demikian tantangan yang utama adalah

memproyeksikan dari sesuatu yang diketahui terhadap yang tidak diketahui dengan menggunakan pengalaman dari kondisi/*item existing*. Dalam hal ini, teknologi yang dipakai untuk *estimasi* biaya mencakup *range* antara *intuisi* sampai dengan analisa matematis yang detail.

2.6.4 Analisa Efektifitas Biaya (*Cost-Effectiveness Analysis*)

Efektivitas biaya merupakan basis evaluasi ekonomi pada suatu ruang lingkup sistem yang kompleks. Sebagian besar filosofi dan metodologi pada pendekatan efektifitas biaya berasal dari analisa manfaat biaya (*benefit cost analysis*) sehingga secara teknis ada beberapa kesamaan diantara kedua metode tersebut. Namun demikian, Djajadiningrat (1983) menyatakan bahwa terhadap kondisi dan konteks permasalahan yang sulit untuk dapat disusun *estimasi* manfaat/*benefit* secara terinci (misalnya masalah peningkatan kualitas lingkungan), maka penggunaan analisa efektifitas biaya dipandang lebih tepat daripada analisa manfaat-biaya.

Sedangkan menurut Hufschmidt et al. (1981), konsep efektifitas biaya dapat diaplikasikan dalam 2 cara yaitu:

- i. Efektifitas biaya dapat menggambarkan efisiensi secara ekonomis untuk mencapai suatu tujuan (peningkatan kualitas lingkungan) yang telah ditentukan
- ii. Dalam hal memberikan suatu besaran alokasi dana pada perbaikan (kualitas lingkungan untuk publik), maka analisa efektifitas biaya dapat mengindikasikan target peningkatan maksimum yang bisa dicapai

Menurut Thuesen et al. (1979), penggunaan analisa efektifitas biaya terhadap suatu sistem yang kompleks, dibutuhkan 3 hal yang perlu dipenuhi yaitu:

- i. Sistem yang akan dievaluasi harus mempunyai tujuan dan sasaran yang jelas
- ii. Adanya alat pembanding untuk mencapai sasaran
- iii. Adanya batasan yang jelas atas ruang lingkup permasalahan

Langkah-langkah dalam pendekatan evaluasi efektifitas biaya berguna untuk dapat mendefinisikan sistematika metodologi pada evaluasi sistem yang kompleks khususnya dari aspek ekonomis meliputi: (Thuesen et al., 1979)

- i. Penentuan tujuan dan sasaran
- ii. Pengembangan konsep sistem pembandingan dan rancangan
- iii. Perumusan kriteria sistem evaluasi untuk aspek efektifitas dan aspek biaya
- iv. Pemilihan pendekatan biaya tetap (*fixed cost*) atau pendekatan efektifitas tetap (*fixed effectiveness*)
- v. Mendokumentasikan sasaran, asumsi, metodologi dan kesimpulan dari analisa

Selanjutnya hasil analisa efektifitas biaya pada beberapa sistem dapat digambarkan dalam hubungan *korelatif* secara grafis pada kurva dengan sumbu X menyatakan biaya dan sumbu Y menyatakan efektifitas.

2.7 Posisi Penelitian

Didasari pada penelitian terdahulu dengan persamaan objek bahasan dan metode yang dipakai, maka penelitian ini memerlukan perbandingan sehingga posisi penelitian bisa mengembangkan ilmu pengetahuan. Berikut data perbandingan tersebut.

Tabel 2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian di Laporan

| NO | JUDUL PENELITIAN | TAHUN | PENULIS | OBJEK BAHASAN | | | METODE | | |
|----|---|-------|---|---------------|------|-----------|---------|--------|-----------|
| | | | | WTP | WWTP | LAIN-LAIN | AHP/ANP | TOPSIS | LAIN-LAIN |
| 1 | <i>Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes</i> | 2015 | Daud, Z., Awang, H., Latif, A., Nasir, N., Ridzuan dan M., dan Ahmad, Z | | √ | | | | √ |
| 2 | <i>Application of Multicriteria Decision Analysis to Jar Test Result for Chemicals Selection in the Physical-Chemical Treatment of Textile Wastewater</i> | 2009 | Beltran, P., Roca, J., Pia, A. Melon, M., dan Ruiz, E. | | √ | | | | √ |
| 3 | Aplikasi Pendekatan Metoda Programa Dinamis dan Analisa Efektifitas Biaya untuk Optimasi Koagulasi-Flokulasi pada Proses Produksi Pengolahan Air Bersih di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) | 2002 | Angreni, Endah | √ | | | | | √ |
| 4 | <i>Optimisation of Coagulation/Flocculation for Pre-treatment of High Strength and Saline Wastewater : Performance Analysis with Different Coagulant Doses</i> | 2014 | Bella, G., Giustra, M., dan Freni, G | | √ | | | | √ |

Tabel 2.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian di Laporan (*lanjutan*)

| NO | JUDUL PENELITIAN | TAHUN | PENULIS | OBJEK BAHASAN | | | METODE | | |
|----|---|-------|---|---------------|------|-----------|---------|--------|-----------|
| | | | | WTP | WWTP | LAIN-LAIN | AHP/ANP | TOPSIS | LAIN-LAIN |
| 5 | <i>Effect of pH on Separation of Solid Content from Pain Contained wastewater by Coagulant-Flocculant Compound</i> | 2014 | Rahbar, M., Alipour, E., Sedighi, R., Sajad, S., dan Mohamadiani, | | √ | | | | √ |
| 6 | <i>An ANP Based TOPSIS Approach for Taiwanese Service Apartment Location Selection</i> | 2015 | Chang, K., Liao, S., Tseng, T., dan Liao, C | | | √ | √ | √ | |
| 7 | <i>The Physico-Chemical Treatment by Coagulation-Flocculation Releases of Slaughterhouse Wastewater in the City of Rabat (Morocco)</i> | 2016 | Boughou, N., Majdy, I., Cherkaoul, E., Khamar, M., dan Nounah, A | | √ | | | | √ |
| 8 | <i>Selection of the Optimal Tourism Site using the ANP and Fuzzy TOPSIS in the Framework of Integrated Coastal Zone Management : A Case of Qeshm Island</i> | 2016 | Morteza, Z., Reza, F., Seddiq, M., Sharareh, P., dan Jamal, G | | | √ | √ | √ | |
| 9 | <i>Influence of Variation Dosage of Chemical Reagents in the Turbidity of Overflow from Sedimentation Process at Dewatering Plant of PT. Freeport Indonesia</i> | 2013 | Butarbutar, I., Varianemil, D., dan Sanwani, E | | √ | | | | √ |

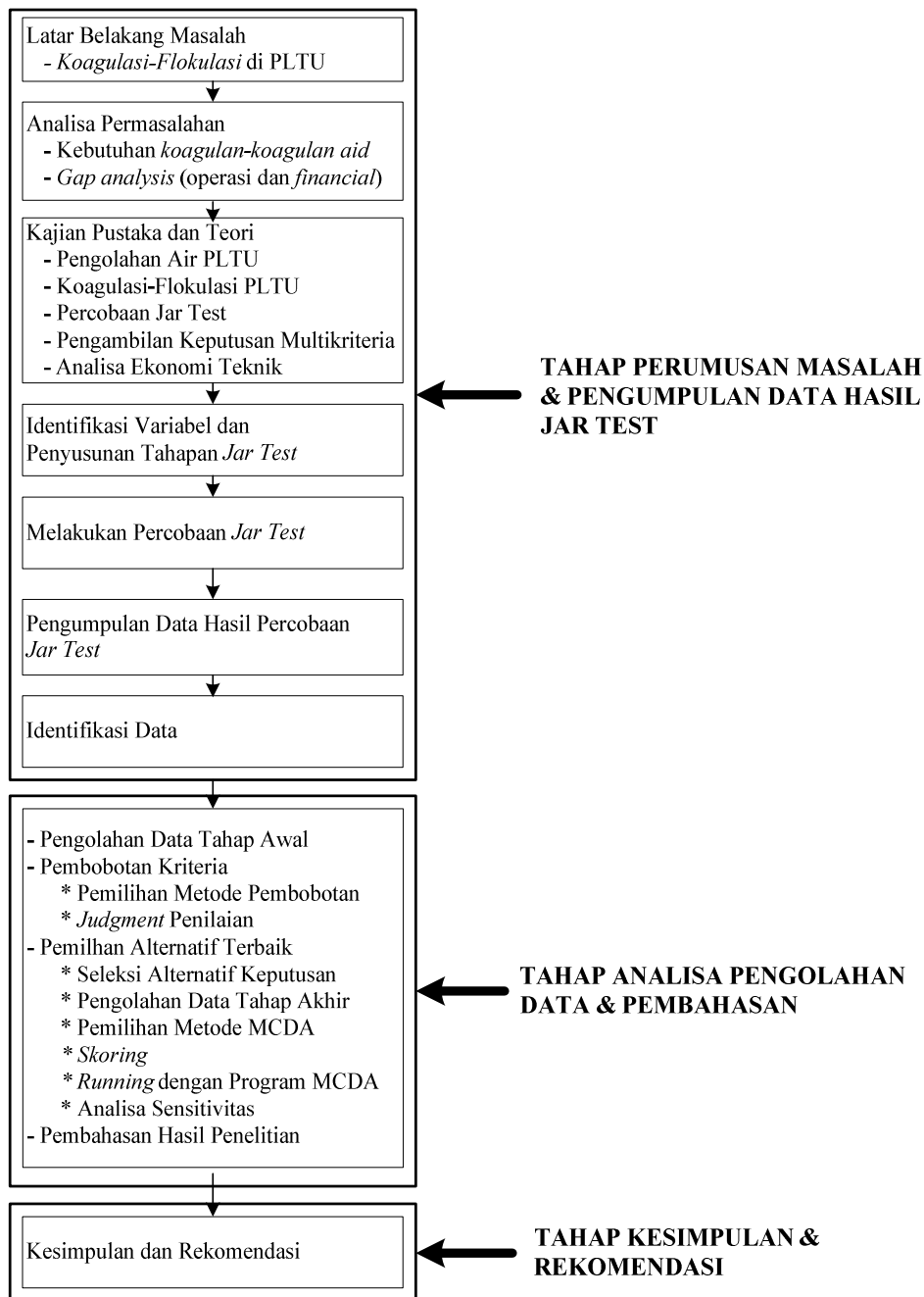
Tabel 2.7 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian di Laporan (*lanjutan*)

| NO | JUDUL PENELITIAN | TAHUN | PENULIS | OBJEK BAHASAN | | | METODE | | |
|----|--|-------------|---|---------------|------|-----------|---------|--------|-----------|
| | | | | WTP | WWTP | LAIN-LAIN | AHP/ANP | TOPSIS | LAIN-LAIN |
| 10 | <i>A Hybrid Multi-Criteria Decision Modelling Approach for the Best Biodiesel Blend Selection Based on ANP-TOPSIS Analysis</i> | 2014 | Sakhtivel, G., Ilangkumaran, M., dan Gaikwad, A | | | √ | √ | √ | |
| 11 | Pengembangan Model <i>Performance Measurement</i> dengan Integrasi Metode <i>Balance Scorecard</i> , ANP dan TOPSIS | 2015 | Suparno., dan Yuli, M | | | √ | √ | √ | |
| 12 | Integrasi Pendekatan Fuzzy ANP dan TOPSIS dalam Permasalahan Pemilihan <i>Logistic Service Provider</i> dengan Mempertimbangkan <i>Benefit, Opportunities, Cost, dan Risk</i> | 2010 | Ciptomulyono, U., Suparno., dan Yayin, Y | | | √ | √ | √ | |
| 13 | <i>An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-Based Multi-Criteria Decision Approach for the Selection of Solar-Thermal Power Plant Investment Projects</i> | 2014 | Beltran, P., Gonzalez, F., Ferrando, J., dan Rubio, A | | | √ | √ | | |
| | Aplikasi <i>Multi Criteria Decision Analysis</i> Untuk Pemilihan Proses dan Operasi <i>Koagulasi-Flokulasi</i> Terbaik pada <i>Pre-Treatment Water System</i> di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) | 2018 | Feriyanto, Yuni Eko | √ | | | √ | √ | |

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB III METODE PENELITIAN

Pada Bab III ini diuraikan beberapa hal yang berkaitan dengan rangkaian proses penelitian dan analisa sistem pengambilan keputusan yang digunakan. Sistem pembahasan mengacu ke skema tahapan penelitian sesuai Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Skema Tahapan Penelitian

3.1 Tahap Perumusan Masalah dan Pengumpulan Data Hasil *Jar Test*

Pada tahap ini dijelaskan latar belakang masalah yang diangkat menjadi topik untuk penelitian dan mencoba menemukan solusi dari permasalahan tersebut melalui beberapa pendekatan analisa sistem keputusan *multikriteria*. Tahapan tersebut terbagi menjadi beberapa bagian seperti identifikasi masalah dan variabel penelitian, penyusunan tahapan *jar test*, percobaan *jar test*, pengumpulan dan identifikasi data hasil *jar test*.

3.1.1 Identifikasi Masalah dan Variabel Penelitian

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya pemakaian *koagulan* dan *koagulan-aid* di musim hujan dan kondisi pasang di PLTU Belitung namun kualitas air produk keluaran *lamella clarifier* (*koagulasi-flokulasi*) masih belum memenuhi standar PLTU. Dalam operasinya, *koagulan* dan *koagulan-aid* dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti proses dan operasi yang kualitasnya diukur menggunakan parameter tertentu. Berikut identifikasi masalah dan variabel penelitian.

3.1.1.1 Latar Belakang Masalah

Latar belakang masalah yang diangkat di penelitian ini adalah pemakaian *koagulan* dan *koagulan-aid* di musim hujan dan air laut pasang cukup tinggi di PLTU Belitung namun kualitas air produk keluaran *lamella clarifier* masih belum memenuhi standar PLTU.

3.1.1.2 Identifikasi Percobaan *Jar Test*

Identifikasi percobaan di penelitian ini meliputi hal-hal yang berkaitan selama percobaan *jar test* seperti berikut.

Tabel 3.1 Identifikasi Percobaan *Jar Test*

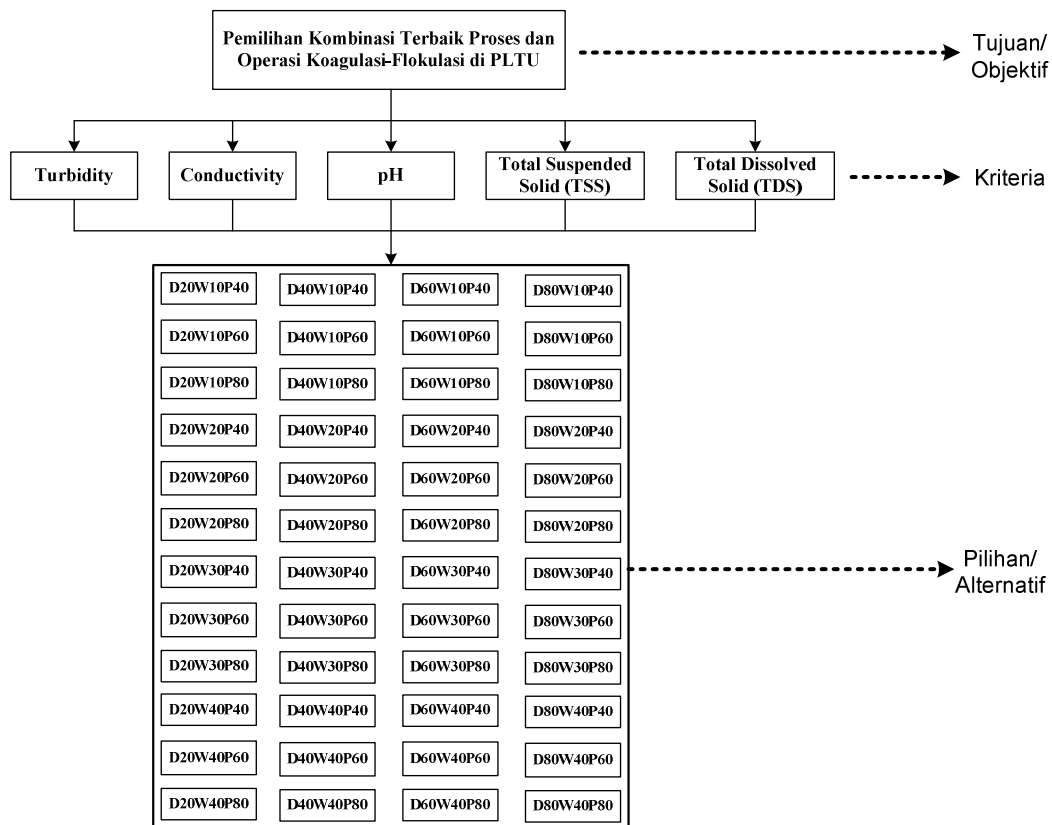
| Item | Keterangan |
|-------------------------|--|
| Jenis Percobaan | Percobaan tentang proses dan operasi <i>koagulasi-flokulasi</i> dengan teknik <i>jar test</i> menggunakan 6 buah <i>automatic paddle motor</i> |
| Tempat | Laboratorium kimia dan air PLTU Belitung |
| Waktu | Pertengahan Bulan Februari 2018 |
| Lokasi | PLTU 3 BaBel 2x16,5 MW - Desa Suge, Provinsi Belitung |
| Jumlah Percobaan | 48 buah percobaan dengan masing-masing 10 kali pengukuran |

3.1.1.3 Tujuan/Objektif Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah pemilihan kombinasi terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* di *Pre-Treatment Water System* PLTU.

3.1.1.4 Struktur Permasalahan Tahap Awal

Permasalahan di penelitian ini disusun strukturnya agar bisa diketahui pola penyelesaiannya dan tahap awal mengindikasikan bahwa permasalahan adalah untuk struktur percobaan *jar test* dan belum dilakukan seleksi pemilihan alternatif. Berikut disajikan bentuk struktur masalahnya.



Gambar 3.2 Struktur *Hirarki* Percobaan *Jar Test* Tahap Awal

3.1.1.5 Variabel Kriteria Percobaan *Jar Test*

Variabel kriteria di penelitian ini adalah parameter kualitas air yang digunakan untuk mengukur sampel air sebelum dan sesudah *treatment koagulan* dan *koagulan-aid*. Berikut penjelasan dari macam-macam variabel kriteria tersebut.

Tabel 3.2 Variabel Kriteria Percobaan *Jar Test*

| Variabel Kriteria | Keterangan |
|---|---|
| <i>Turbidity</i> | Tingkat kekeruhan umpan air laut dan diharapkan <i>outlet koagulasi-flokulasi</i> bernilai rendah <5 NTU karena produk keluaran mempengaruhi kinerja <i>membran RO</i> dalam hal tingkat kejenuhan yang selaras dengan <i>periodic cleaning</i> |
| <i>Conductivity</i> | Kandungan ion mineral pada umpan air laut dan diharapkan <i>outlet koagulasi-flokulasi</i> bernilai rendah <48,900 $\mu\text{S/cm}$ karena produk akan mempengaruhi kinerja <i>demineralization system (mixed bed vessel)</i> |
| <i>pH</i> | Tingkat keasaman umpan air laut dan diharapkan <i>outlet koagulasi-flokulasi</i> bernilai standar dalam range 7-8 karena akan mempengaruhi kinerja <i>membran RO</i> dalam hal <i>life time</i> |
| <i>Total Suspended Solid (TSS)</i> | Kandungan partikel padatan yang tidak terlarut (<i>suspensi</i>) di air laut dan diharapkan <i>outlet koagulasi-flokulasi</i> bernilai rendah <10 mg/L. Dampak terhadap unit PLTU sama dengan <i>turbidity</i> |
| <i>Total Dissolved Solid (TDS)</i> | Kandungan partikel yang terlarut di air laut dan diharapkan <i>outlet koagulasi-flokulasi</i> bernilai rendah <24,2 g/L. Dampak terhadap unit PLTU sama dengan <i>conductivity</i> |

3.1.1.6 Variabel Alternatif Percobaan *Jar Test*

Variabel alternatif untuk penelitian adalah kombinasi variabel proses dan operasi *koagulasi-flokulasi*. Berikut disajikan penjelasan masing-masing variabel alternatif tersebut.

Tabel 3.3 Variabel Alternatif Percobaan *Jar Test*

| Variabel Alternatif | Keterangan |
|-------------------------|---|
| %Dosis | Dosis yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan menurunkan performa <i>koagulasi-flokulasi</i> dan membutuhkan dosis yang optimum untuk penggunaan yang efektif yaitu ditandai dengan tidak bertambahnya efisiensi secara signifikan ketika penambahan dosis. Variabel %penurunan dosis ditujukan untuk mengetahui titik optimal penggunaan di sistem <i>koagulasi-flokulasi</i> PLTU Belitung |
| Waktu Tinggal | Data waktu reaksi efektif antara <i>koagulan</i> dan <i>koagulan-aid</i> dengan partikel <i>suspensi</i> air laut. Waktu tinggal ini di unit PLTU ada 2 yaitu waktu tinggal <i>koagulan</i> (jarak antara tempat injeksi <i>koagulan</i> sampai <i>inlet clarifier</i>) sedangkan waktu tinggal <i>koagulan-aid</i> (jarak antara <i>inlet clarifier</i> sampai <i>outlet clarifier</i>) |
| Putaran Pengaduk | Tingkat <i>turbulensi</i> aliran air umpan yang membuat <i>homogenisasi koagulan</i> dan <i>koagulan-aid</i> dengan air laut dalam pertumbuhan <i>flok</i> . Di PLTU, putaran pengaduk dibedakan menjadi 2 yaitu untuk <i>koagulan</i> adalah besarnya tingkat <i>turbulensi</i> di <i>static mixer pipe</i> dan untuk <i>koagulan-aid</i> adalah aliran <i>laminar</i> di <i>inlet clarifier</i> |

3.1.2 Penyusunan Tahapan *Jar Test*

Penelitian ini dilakukan di laboratorium PLTU Belitung dengan teknik *jar test* dan berikut tahapan percobaan tersebut.

3.1.2.1 Tahap Persiapan *Jar Test*

Tahap persiapan *jar test* adalah serangkaian aktifitas yang dilakukan untuk mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan *jar test* di laboratorium PLTU Belitung, memastikan peralatan *jar test* dan alat ukur parameter berfungsi normal serta memastikan bahan untuk percobaan tersedia di laboratorium PLTU.

3.1.2.2 Tahap Percobaan *Jar Test*

Melakukan percobaan *jar test* di laboratorium PLTU Belitung pada waktu musim hujan dan air laut sedang pasang sehingga kondisi air laut yang diambil dan dilakukan percobaan bisa mewakili permasalahan sesuai tujuan penelitian.

3.1.2.3 Pengukuran Hasil Percobaan

Mengukur kualitas air setiap percobaan sebelum dan sesudah *treatment* dengan ketentuan lima parameter utama yang berpengaruh terhadap sistem pengolahan air yaitu *turbidity*, *TSS*, *conductivity*, *pH* dan *TDS*. Pemilihan parameter tersebut berdasarkan pengaruh kualitas air di tahap berikutnya seperti *desalination system* dan *demineralization system*

3.1.2.4 Pencatatan Data Percobaan

Melakukan pencatatan data hasil ukur kualitas air sebagai bahan olahan pada tahap analisa dan pembahasan data.

3.1.3 Percobaan *Jar Test*

Tahap inti penelitian ini adalah melakukan percobaan *jar test* sesuai variabel yang sudah ditentukan. Berikut proses-prosesnya.

3.1.3.1 Tahap Pengukuran Sebelum *Treatment*

Air laut sebelum dilakukan percobaan dilakukan pengukuran menggunakan lima parameter kualitas air. Data ini digunakan untuk mengetahui data awal kualitas air sebelum pemberian *koagulan* dan *koagulan-aid*.

3.1.3.2 Tahap *Running Jar Test*

Melakukan *running jar test* sesuai kombinasi variabel proses dan operasi yang telah ditentukan yaitu %dosis, waktu tinggal dan putaran pengaduk. Mengatur putaran pengaduk awal sebelum pembubuhan *koagulan* dan mengatur ulang putaran pengaduk sesuai variabel penelitian untuk pembubuhan *koagulan-aid*.

3.1.3.3 Tahap Pengukuran Kualitas Air Sesudah *Treatment*

Pengukuran kualitas air dilakukan sesudah *running jar test* berjalan sesuai variabel waktu tinggal. Pengukuran ini akan menghasilkan data kualitas air sesudah *treatment koagulan* dan *koagulan-aid*.

3.1.3.4 Tahap Pencatatan Hasil Pengukuran

Data berupa pengukuran sebelum dan sesudah *treatment* dilakukan pencatatan dan selanjutnya data tersebut digunakan untuk bahan olahan dalam proses pengolahan data.

3.1.4 Tahap Pengumpulan dan Identifikasi Data Hasil Percobaan

Data hasil percobaan *jar test* berupa data hasil ukur kualitas air sebelum dan sesudah *treatment koagulan* dan *koagulan-aid*. Percobaan ini terdiri dari 48 variabel alternatif dengan masing-masing variabel diukur kualitas airnya sebelum dan sesudah *treatment* sehingga dihasilkan 10 data untuk setiap variabel alternatif. Data yang didapatkan dilakukan identifikasi dan jika terdapat penyimpangan yang jauh berbeda untuk variabel yang hampir mendekati maka dilakukan percobaan ulang *jar test*.

3.2 Tahap Analisa Pengolahan Data dan Pembahasan

Tahap ini berisi penjelasan detail tentang analisa pengolahan dan pembahasan data hasil *jar test* dengan diuraikan beberapa bagian seperti pembobotan kriteria dan pemilihan alternatif terbaik. Berikut disajikan poin-poin lebih detailnya.

3.2.1 Pengolahan Data Awal

Data hasil *jar test* yang didapatkan berupa hasil ukur masing-masing kriteria dengan satuan yang berbeda-beda. Dari 48 buah percobaan maka pengolahan data awal yaitu melakukan penyetaraan satuan dengan menghitung %kenaikan/penurunan nilai parameter kualitas air sesuai rumus di Pers. 3.1.

$$\% \text{Kenaikan/Penurunan} = \frac{(\text{Nilai Sebelum Treatment} - \text{Nilai Sesudah Treatment})}{(\text{Nilai Sebelum Treatment})}$$

(Pers. 3.1)

3.2.2 Pembobotan Kriteria

Pembobotan kriteria adalah tahapan memberikan bobot penilaian terhadap variabel kriteria yang sudah ditentukan yaitu *turbidity*, *conductivity*, *TSS*, *pH* dan *TSS*. Sistem pembobotan menggunakan pendekatan metode AHP dengan *preferensi* pengambil keputusan sesuai ketentuan yang disyaratkan. Berikut uraian lebih detailnya.

3.2.2.1 Tahap Pemilihan Metode Pembobotan Kriteria

Pendekatan metode yang digunakan untuk sistem pembobotan adalah AHP dengan pertimbangan sistem yang sederhana., mudah diaplikasikan dan banyak penelitian terdahulu menggunakan metode tersebut. Metode AHP menggunakan pendekatan teknik tingkat *preferensi* pengambil keputusan berdasarkan relatif kepentingan dengan pemberian skor 1-9 (skala Saaty). Perhitungan menggunakan bantuan *software expert choice v11*.

3.2.2.2 Tahap *Judgment* Penilaian

Pengambilan keputusan berdasarkan tingkat *preferensi* pengambil keputusan ini harus dilakukan terhadap orang yang mengerti terhadap permasalahan tujuan/objektif penelitian sehingga mengurangi kesalahan tafsir dari tingkat relatif kepentingan kriteria di proses *koagulasi-flokulasi* PLTU. Berikut disajikan persyaratan pengambil keputusan ini.

Tabel 3.4 Kriteria *Judgment* Penilaian Sistem Keputusan

| Kriteria | Keterangan |
|--------------------|--|
| Peran | Pengambil keputusan dalam <i>skoring</i> relatif kepentingan variabel kriteria <i>koagulasi-flokulasi</i> PLTU |
| Posisi | <i>Staff</i> atau <i>engineer</i> air dan uap PLTU |
| Kualifikasi | Memahami permasalahan dan cara penyelesaian air di PLTU dari tahap awal (bahan baku air laut) sampai tahap akhir (terbentuk uap) |
| Pengalaman | Minimal 4 tahun bekerja di PLTU |
| Kompetensi | Memiliki sertifikat minimal di bidang <i>water treatment plant (WTP)</i> PLTU yang diakui oleh perusahaan jasa <i>operation & maintenance (O&M)</i> pembangkit |

3.2.3 Pemilihan Alternatif Terbaik

Tahapan ini adalah tujuan dari penelitian dalam pemilihan alternatif terbaik dari beberapa kombinasi proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* kemudian diputuskan menggunakan pendekatan metode *multikriteria* dengan melewati beberapa tahapan sebagai berikut.

3.2.3.1 Tahap Seleksi Alternatif Keputusan

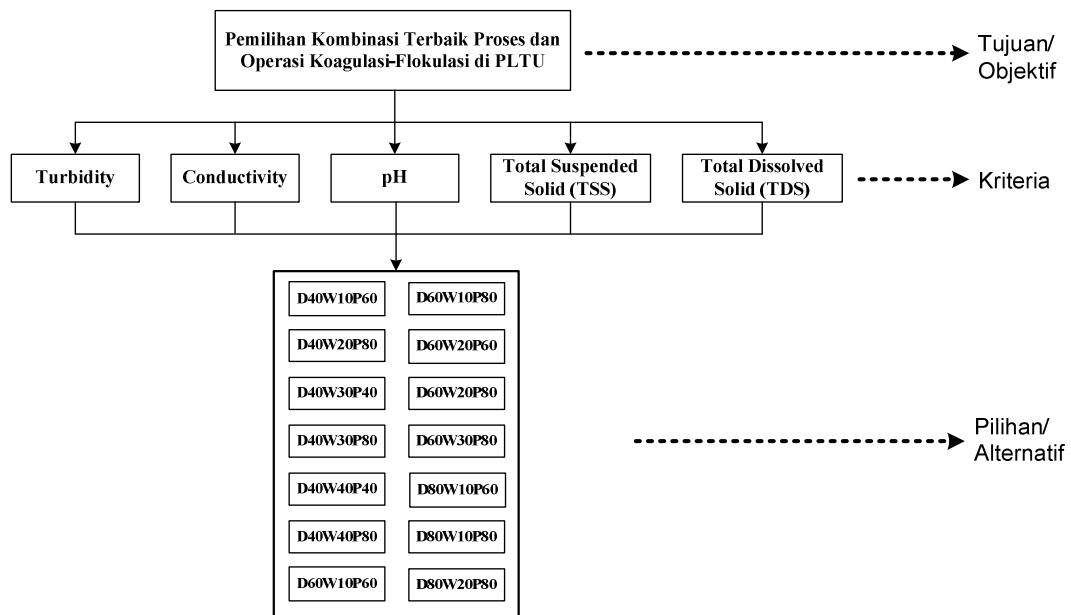
Data hasil *jar test* dilakukan perhitungan untuk menyetarakan satuan parameter yang berbeda dan untuk penelitian ini ditentukan %penurunan/kenaikan parameter kualitas air sesuai Pers. 3.1. Perhitungan diaplikasikan untuk data *riil* dan data hasil *jar test* sehingga terdapat perbandingan antara variabel dosis bervariasi dari *jar test* dengan dosis *riil* di lapangan 100%.

Tahapan selanjutnya adalah seleksi alternatif keputusan yang dilakukan untuk tujuan men-*sortir* beberapa pilihan kombinasi proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* yang menyimpang jauh sesuai prinsip pengolahan air di PLTU. Teknik yang digunakan untuk seleksi alternatif keputusan mengacu kepada hal-hal sebagai berikut:

- i. Memprioritaskan parameter kualitas air paling vital di pengolahan air *riil* PLTU dan melihat bobot terbesar penilaian kriteria sebagai penentu *sortir* alternatif
- ii. Men-*sortir* data hasil *jar test* yang bernilai negatif (-) karena nilai negatif mengindikasikan terjadi peningkatan nilai parameter dan ini tidak diharapkan di pengolahan air PLTU

3.2.3.2 Pengolahan Data Tahap Akhir

Struktur permasalahan tahap akhir adalah struktur data alternatif keputusan yang sudah terseleksi sehingga data akhir inilah yang akan digunakan sebagai bahan olahan data dan pembahasan. Berikut disajikan strukturnya.



Gambar 3.3 Struktur *Hirarki Percobaan Jar Test* Tahap Akhir

3.2.3.3 Tahap Pemilihan Metode MCDA

Pendekatan metode MCDA yang dipilih didasarkan pada pola/struktur permasalahan, ada atau tidaknya batasan tujuan dan sasaran yang ingin dicapai. Berdasarkan penjelasan yang sudah ada di penelitian ini maka diusulkan digunakan 2 pendekatan metode sebagai berikut.

- i. **Pendekatan Metode AHP** yang digunakan untuk pembobotan kriteria dan pemilihan ranking prioritas
- ii. **Pendekatan Metode AHP-TOPSIS** dengan pembagian yaitu metode AHP untuk pembobotan kriteria sedangkan metode TOPSIS untuk pemilihan ranking prioritas

3.2.3.4 Tahap *Skoring*

Tahapan ini adalah tahap menyetarakan satuan parameter yang dari hasil *jar test* memiliki satuan yang berbeda-beda. Sistem penentuan *skor*/nilai untuk data olahan hasil *jar test* adalah pemberian *skor* berdasarkan nilai *riil* hasil *jar test*. *Skoring* ini digunakan untuk tahapan awal dalam pemilihan alternatif pendekatan metode AHP.

3.2.3.5 Tahap *Running* dengan Program MCDA

Pendekatan analisa sistem keputusan *multikriteria* yang digunakan ada 2 sebagai berikut.

➤ Pendekatan Metode AHP

Tahapan untuk pendekatan metode AHP adalah:

- i. *Skoring* data hasil *jar test*
- ii. *Pairwise* skala Saaty 1-9 oleh *expert judgment* dengan perhitungan menggunakan bantuan *software expert choice v11*
- iii. Perhitungan normalisasi matriks
- iv. Perhitungan bobot kriteria
- v. Penentuan tingkat *consistency*
- vi. Penentuan rangking prioritas

➤ Pendekatan Metode AHP-TOPSIS

Tahapan ini terbagi menjadi 2 pembagian proses perhitungan seperti penggunaan metode AHP untuk perhitungan bobot kriteria dan metode TOPSIS dengan tahapan sebagai berikut:

- i. Perhitungan standarisasi matriks
- ii. Perhitungan normalisasi matriks metode TOPSIS
- iii. Perhitungan bobot normalisasi matriks
- iv. Perhitungan solusi ideal positif dan negatif
- v. Perhitungan jarak solusi ideal positif dan negatif
- vi. Perhitungan *relative closeness*
- vii. Penentuan rangking prioritas

3.2.3.6 Tahap Analisa Sensitivitas

Melakukan analisa sensitivitas perubahan bobot variabel kriteria (parameter) untuk menguji tingkat kepekaan rangking prioritas terhadap perubahan tingkat *preferensi* pengambil keputusan. Analisa sensitivitas dilakukan menggunakan *software expert choice v11*. Perubahan bobot variabel terhadap urutan rangking prioritas dilakukan perekapan data dan dilakukan pembahasan.

3.2.4 Pembahasan Hasil Penelitian

Pembahasan hasil penelitian mengacu terhadap tujuan penelitian dan sesuatu yang didapatkan selama proses penelitian, berikut poin-poinnya.

- i. Membahas hasil ranking prioritas yang didapatkan sebelum dan sesudah dilakukan perubahan bobot kriteria (sensitivitas)
- ii. Membahas pengaruh hubungan antara alternatif terpilih dengan potensi kenaikan/penurunan biaya operasional.

3.3 Tahap Kesimpulan dan Rekomendasi

Didalam penelitian ini dilakukan tahap kesimpulan dan rekomendasi dengan penjelasan sebagai berikut.

3.3.1 Tahap Kesimpulan

Tahap kesimpulan berisi hal-hal yang didapatkan selama proses penelitian dan menjawab tujuan penelitian sebagai berikut.

- Pemilihan ranking prioritas kombinasi terbaik yang diusulkan untuk dipilih pada proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* adalah hasil dari analisa sistem keputusan *multikriteria* dengan nilai terbesar pada pendekatan metode AHP dan perpaduan metode AHP-TOPSIS
- Menentukan alternatif yang memiliki tingkat sensitivitas rendah dan dengan kedua pendekatan memiliki ranking yang sama
- Menentukan analisis pengaruh model keputusan terpilih terhadap potensi kenaikan/penurunan biaya operasional

3.3.2 Tahap Rekomendasi

Rekomendasi atas usulan proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* diarahkan untuk memberikan alternatif pola penggunaan dosis di PLTU Belitung saat musim hujan dan juga diarahkan ke semua unit yang dikelola oleh perusahaan untuk mengoperasikan pola operasi sesuai usulan hasil penelitian. Selain itu juga berisi hal-hal yang seharusnya dilakukan oleh peneliti selanjutnya untuk memperbaiki kekurangan yang ada di penelitian ini.

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

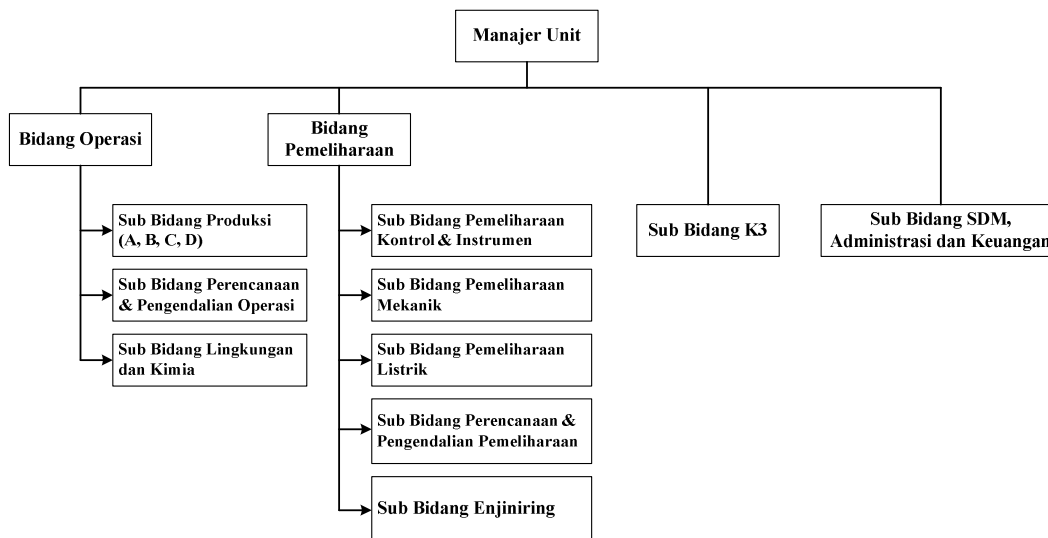
Pada Bab IV ini dipaparkan tentang pengumpulan data penelitian dan pengolahan data lanjutan yang meliputi informasi umum PLTU Belitung, tahapan persiapan dan percobaan *jar test*, pengumpulan data dan pengolahan data.

4.1 Informasi Umum PLTU Belitung

PLTU Belitung adalah pembangkit listrik berkapasitas 2x16,5 MW yang terletak di Desa Suge Kepulauan Bangka-Belitung aset milik PT PLN (persero) dengan jasa *operation & maintenance* (O&M) oleh PT PJB dan PT PJB Services. Berikut diuraikan beberapa hal seperti struktur organisasi jasa O&M dan posisi penelitian di PLTU Belitung.

4.1.1 Struktur Organisasi Jasa O&M PLTU Belitung

PLTU Belitung dipimpin oleh seorang manager unit (MU) yang bertugas mengawal unit PLTU beroperasi sesuai kontrak yang sudah ditanda tangani antara PT PLN (persero) dengan PT PJB Services. Manager unit dibantu oleh dua deputy manager (DM) yaitu operasi dan pemeliharaan. Setiap DM membawahi beberapa bidang seperti perencanaan dan pengendalian operasi (RENDAL OP) dan perencanaan dan pengendalian pemeliharaan (RENDAL HAR). Bidang RENDAL OP membawahi beberapa sub-bidang seperti produksi, kimia, lingkungan, dan gudang sedangkan bidang RENDAL HAR membawahi beberapa bidang seperti mekanik, listrik, enjiniring, instrumen dan kontrol. Disamping itu, terdapat bidang yang langsung dibawah manajer unit sendiri yaitu bidang K3, SDM, administrasi, dan keuangan. Setiap bidang menjalankan pekerjaan sesuai tugas dan tanggung jawab dalam upaya menjalankan bisnis usaha tetap berjalan dan menjaga produksi listrik tetap berjalan normal karena dalam kontraknya PT PJB Services dibayar oleh PT PLN (persero) berdasarkan jumlah *megawatt* (MW) listrik yang dihasilkan. Berikut disajikan bagan struktur organisasi PLTU Belitung.



Gambar 4.1 Struktur Organisasi Jasa O&M PLTU Belitung

4.1.2 Posisi Penelitian di PLTU Belitung

Listrik yang disalurkan oleh PT PLN (persero) merupakan hasil suatu proses produksi yang cukup panjang mulai dari pengolahan air laut sampai menjadi listrik bertegangan yang siap di distribusikan. Air laut dilakukan proses pengolahan di WTP yang terdiri dari empat sistem utama yaitu *screening*, *pre-treatment*, *desalination* dan *demineralization*. Setelah air yang diproduksi di WTP sudah sesuai standar PLTU kemudian dipanaskan di *water tube boiler* dengan pembakaran dalam menggunakan bahan bakar batu bara. Konsep *boiler* adalah bertipe *circulating fluidized bed* (CFB) yaitu batu bara dibakar dan bersamaan dengan itu hembusan udara ke *boiler* terus dijalankan oleh *primary air fan* dan *secondary air fan*. Didasar *boiler* telah dimasukkan pasir yang difungsikan sebagai *transfer* panas antara batu bara yang terbakar di awal dengan batu bara yang diumpankan selanjutnya. *Sirkulasi* terjadi terus-menerus melewati *cyclone separator* untuk memisahkan debu halus sisa pembakaran (*fly ash*) dengan pasir yang terikut atau batu bara yang belum terbakar untuk dibawa kembali ke zona pembakaran lagi (*furnace*). Panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara akan kontak dengan *water tube* sehingga seiring berjalannya air sepanjang *tube* maka terjadilah proses pendidihan air.

Boiler didesain unik dengan prinsip memaksimalkan efisiensi mulai dari tahap pemanfaatan panas gas buang (*economizer*), pemisahan uap dan air (*steam*

drum) serta *recycle* uap basah (*saturated*) sehingga targetnya adalah uap kering (*superheated steam*). Uap kering inilah yang digunakan untuk memutar sudu *turbine* pada tekanan $\pm 160 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur $\pm 500 \text{ }^\circ\text{C}$. Boiler memiliki tiga zona yaitu pembakaran (*furnace*), pemisahan (*cyclone separator*) dan pembuangan sisa pembakaran (*backpass*). Air yang dididihkan di *boiler* harus benar-benar air yang memiliki kualitas bagus dengan parameter utamanya adalah nilai *conductivity* $<1 \text{ } \mu\text{S/cm}$. Air tersebut didapatkan dari pengolahan di WTP yang sangat ketat perlakuannya seperti pembubuhan injeksi kimia dengan tujuan meningkatkan kualitas air. Proses di WTP sangat dipengaruhi oleh sistem paling awal dari unit PLTU yaitu *pre-treatment water* dan di PLTU Belitung berupa bak sedimentasi *lamella clarifier* dengan pambubuhan *koagulan-koagulan aid*. Posisi penelitian ini yaitu pada tahap paling awal dari unit PLTU sehingga memiliki peran vital dan dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memperbaiki proses dan operasi sehingga air yang diproses ke tahap sistem berikutnya sudah lebih baik kualitasnya.

4.2 Tahapan Persiapan Percobaan

Pada sub-bab ini dipaparkan beberapa tahapan proses untuk mendapatkan data mulai dari persiapan dan percobaan *jar test*.

4.2.1 Tahap Persiapan Alat dan Bahan

Pada percobaan *jar test* dilakukan tahap persiapan alat dan bahan untuk memastikan seluruh komponen siap untuk dilakukan percobaan. Berikut peralatan percobaan yang digunakan untuk penelitian ini.

- i. *Jar test kit*: merk VELP JLT6 dengan 6 *paddle motor* dan kapasitas *beaker glass* 1 liter
- ii. *Beaker glass*, botol sampel jenis plastik
- iii. *Analytic pipet volume*: merk M100 *mikropipet* 10-100 μL
- iv. *TSS meter*: merk HACH DR 6000 *digital spectrofotometer*
- v. *Neraca analytic*: merk KERN ABS 220-4 *automatic balancing*
- vi. *TDS meter* dan *pH meter*: merk LAQUA HORIBA *digital portable*
- vii. *Conductivity meter*: merk METTLER TOLEDO *digital portable*

viii. *Turbidity meter*: merk HACH 2100Q *digital portable* dan ORION AQ3010

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini sebagai berikut:

i. Sampel air laut

Langkah-langkah persiapan sampel air laut sebagai berikut: **(1.1)** mengambil sampel air laut di *sea water intake kanal* menggunakan wadah jerigen, **(1.2)** melakukan pengukuran sampel awal (sebelum *treatment*) sesuai parameter kualitas air, **(1.3)** melakukan pencatatan data hasil pengukuran

ii. Air *demineralization*

Air ini diambil dari produksi unit PLTU sendiri yaitu keluaran dari *mixed bed system*

iii. *Koagulan-koagulan aid* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel. 4.1 Spesifikasi *Koagulan* dan *Koagulan-aid* di PLTU Belitung

| Reagent | <i>Koagulan</i> | <i>Koagulan Aid</i> |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Produk | N3279 | N9901 |
| Produsen/Supplier | Nalco | Nalco |
| Komposisi | <i>Aluminium Hydroxychloride</i> | <i>Poly-acrylamide-anionic (PAM)</i> |
| Bentuk | Cair | Serbuk |
| Target Konsentrasi | 25% | 0,2-0,3% |
| Kemasan | Jerigen @25 kg | Karung plastik @25 kg |

Sumber : Laboratorium PLTU Belitung (2017)

4.2.2 Tahap Persiapan *Koagulan* dan *Koagulan-aid*

Koagulan dan *koagulan-aid* adalah bahan kimia pembantu pengendapan di proses *pre-treatment water system* dan berikut langkah-langkah dalam persiapan bahan tersebut:

- i. Mengambil *koagulan* dan *koagulan aid* dari *dozing pump* PLTU
- ii. Melakukan penimbangan menggunakan *neraca analytic* untuk *setting* konversi antara volume *pipet analitik* dengan berat zat kimia (*koagulan* dan *koagulan-aid*)

- iii. Melakukan perhitungan *scale down* untuk dosis yang dipakai di PLTU untuk dilakukan percobaan *jar test* laboratorium
- iv. Melakukan perhitungan untuk %penurunan dosis sebesar 80%, 60%, 40% dan 20%
 - Dosis *koagulan* sebagai berikut:
 - **100% dosis** : **30 ppm (dosis riil di PLTU Belitung)**
 - 80% dosis : 24 ppm
 - 60% dosis : 18 ppm
 - 40% dosis : 12 ppm
 - 20% dosis : 6 ppm
 - Dosis *koagulan aid* sebagai berikut:
 - **100% dosis** : **2000 ppm (dosis riil di PLTU Belitung)**
 - 80% dosis : 1600 ppm
 - 60% dosis : 1200 ppm
 - 40% dosis : 800 ppm
 - 20% dosis : 400 ppm
- v. Melakukan pencatatan volume *pipet analytic* (*representasi* dosis *koagulan* dan *koagulan-aid*) yang didapatkan dari perhitungan

4.2.3 Tahap Percobaan *Jar Test* di Laboratorium

Percobaan *jar test* di laboratorium adalah penelitian secara *scale down* dari permasalahan yang terdapat di lapangan dengan variabel proses dan operasi dibuat sama dengan kondisi *riil*-nya. Berikut langkah-langkah dalam percobaan *jar test* tersebut:

- i. Menyiapkan *jar test kit 6 paddle motor* dan peralatan ukur parameter kualitas air
- ii. Melakukan pengukuran sampel awal sesuai parameter kualitas air dan didapatkan data hasil kualitas air sebelum *treatment*
- iii. Meletakkan sampel pada *beaker glass* 1 liter sebanyak 6 buah secara bersamaan
- iv. Mengatur putaran pengaduk 150 rpm dan membubuhkan *koagulan* sesuai dosis di variabel percobaan. Proses ditunggu sampai 30 detik

- v. Melanjutkan proses dengan menurunkan putaran pengaduk sesuai variabel operasi penelitian (40/60/80 rpm) dan membubuhkan *koagulan-aid* sesuai variabel %penurunan dosis (20/40/60/80%). Proses ditunggu sesuai variabel waktu tinggal (10/20/30/40 menit)
- vi. Setelah tercapai waktu tinggalnya lalu mendinginkan sampel ± 5 menit
- vii. Mengambil sampel ± 2 cm dari permukaan air dan mengukur kualitasnya sesuai variabel parameter kualitas air
- viii. Melakukan pencatatan hasil ukur percobaan dan didapatkan data hasil kualitas air sesudah *treatment*
- ix. Mengulangi setiap langkah percobaan seperti diatas sesuai variabel lain
- x. Jika data percobaan menunjukkan ketidaknormalan yang sangat berbeda jauh dengan variabel lain yang mendekati sama maka percobaan diulang sebanyak dua kali.

4.3 Tahapan Pengumpulan Data

Pada tahap ini dikumpulkan data-data yang diperoleh dari hasil pengukuran yang meliputi data *riil* di lapangan dan data hasil *jar test*.

4.3.1 Data *Riil* di Lapangan

Pengukuran kualitas air *riil* di lapangan tepatnya pada air keluaran dari sistem *koagulasi-flokulasi* yaitu sesudah peralatan *lamella clarifier*. Titik ini mengindikasikan kualitas air sesudah *treatment koagulan* dan *koagulan-aid*. Sedangkan titik sebelum *treatment* adalah di *sea water intake*.

Tabel 4.2 Hasil Ukur Data *Riil* di Lapangan

| Parameter Operasi | Satuan | Pengukuran SEBELUM <i>Koagulasi-Flokulasi</i> | Pengukuran SESUDAH <i>Koagulasi-Flokulasi</i> |
|---------------------|------------------|--|--|
| <i>Turbidity</i> | NTU | 22,5 | 8,43 |
| <i>Conductivity</i> | $\mu\text{S/cm}$ | 47.600 | 48.700 |
| <i>pH</i> | Nilai | 7,958 | 7,497 |
| <i>TSS</i> | mg/L | 27,4 | 10 |
| <i>TDS</i> | g/L | 23,8 | 24,2 |

Sumber : Laboratorium Kimia dan Air PLTU Belitung Kondisi Musim Hujan (2018)

*Note : Tanda plus (+) berarti nilai sesuai yang diharapkan PLTU dan minus (-) berarti kebalikannya

4.3.2 Data Hasil Jar Test

Variabel alternatif adalah kombinasi dari proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* yang digunakan dalam percobaan *jar test* dan data yang dihasilkan sebanyak 48 buah alternatif. Setiap alternatif dilakukan pengukuran menggunakan standar ukur parameter kualitas air yaitu *turbidity*, *conductivity*, *pH*, *TSS* dan *TDS*. Setiap variabel percobaan dilakukan pengukuran sebelum dan sesudah *treatment* sebagai pembanding hasil awal dan akhir sistem *koagulasi-flokulasi*. Berikut data hasil percobaan tersebut.

Tabel 4.3 Hasil Ukur Kualitas Air Jar Test

| Variabel Alternatif | Hasil Pengukuran Jar Test | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------|------|-----------|------|
| | Turbidity (NTU) | | Conductivity ($\mu\text{S/cm}$) | | pH | | TSS (mg/L) | | TDS (g/L) | |
| | A(*) | B(*) | A(*) | B(*) | A(*) | B(*) | A(*) | B(*) | A(*) | B(*) |
| D ₂₀ W ₁₀ P ₄₀ | 13,7 | 13,3 | 47500 | 47200 | 8,004 | 7,847 | 21 | 16 | 23,7 | 23,6 |
| D ₂₀ W ₁₀ P ₆₀ | 27,0 | 10,9 | 47900 | 47700 | 8,001 | 7,864 | 33 | 20 | 23,9 | 23,8 |
| D ₂₀ W ₁₀ P ₈₀ | 10,3 | 6,87 | 48700 | 47100 | 8,045 | 7,935 | 13 | 10 | 24,3 | 23,7 |
| D ₂₀ W ₂₀ P ₄₀ | 17,8 | 12,6 | 47500 | 47100 | 7,988 | 7,864 | 21 | 16 | 23,7 | 23,6 |
| D ₂₀ W ₂₀ P ₆₀ | 26,2 | 12,4 | 47900 | 47600 | 7,939 | 7,851 | 31 | 21 | 24,0 | 23,9 |
| D ₂₀ W ₂₀ P ₈₀ | 17,5 | 12,0 | 47700 | 47400 | 7,925 | 7,855 | 27 | 16 | 23,9 | 23,7 |
| D ₂₀ W ₃₀ P ₄₀ | 44,5 | 19,4 | 47400 | 47100 | 7,901 | 7,893 | 42 | 19 | 23,7 | 23,6 |
| D ₂₀ W ₃₀ P ₆₀ | 29,6 | 14,9 | 47700 | 47100 | 7,807 | 7,763 | 32 | 24 | 23,8 | 23,5 |
| D ₂₀ W ₃₀ P ₈₀ | 19,1 | 12,9 | 47600 | 47300 | 7,962 | 7,899 | 29 | 17 | 23,8 | 23,7 |
| D ₂₀ W ₄₀ P ₄₀ | 43,2 | 16,5 | 47400 | 47100 | 8,008 | 7,886 | 40 | 17 | 23,8 | 23,7 |
| D ₂₀ W ₄₀ P ₆₀ | 29,6 | 14,3 | 48000 | 47300 | 7,884 | 7,872 | 30 | 22 | 24,0 | 23,7 |
| D ₂₀ W ₄₀ P ₈₀ | 9,14 | 7,73 | 48900 | 48000 | 8,066 | 7,923 | 13 | 10 | 24,4 | 24,1 |
| D ₄₀ W ₁₀ P ₄₀ | 14,4 | 10,5 | 47400 | 47400 | 8,006 | 7,963 | 21 | 19 | 23,7 | 23,7 |
| D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 26,0 | 8,55 | 47900 | 47600 | 8,005 | 7,885 | 33 | 20 | 23,9 | 23,8 |
| D ₄₀ W ₁₀ P ₈₀ | 19,3 | 7,33 | 47500 | 47400 | 7,957 | 7,942 | 29 | 15 | 23,8 | 23,7 |
| D ₄₀ W ₂₀ P ₄₀ | 17,7 | 10,8 | 47700 | 47400 | 7,939 | 7,931 | 21 | 17 | 23,8 | 23,7 |
| D ₄₀ W ₂₀ P ₆₀ | 25,8 | 11,3 | 48000 | 47600 | 8,022 | 7,893 | 30 | 24 | 24,0 | 23,8 |
| D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 29,2 | 5,44 | 47500 | 47400 | 7,958 | 7,922 | 36 | 13 | 23,8 | 23,7 |
| D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 41,7 | 11,4 | 47400 | 47300 | 7,981 | 7,897 | 40 | 16 | 23,7 | 23,6 |
| D ₄₀ W ₃₀ P ₆₀ | 26,8 | 12,4 | 47900 | 47800 | 7,927 | 7,898 | 32 | 25 | 23,9 | 23,8 |
| D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 28,7 | 5,72 | 47600 | 47400 | 7,908 | 7,829 | 30 | 18 | 23,8 | 23,7 |
| D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 40,6 | 11,9 | 47600 | 47600 | 8,013 | 7,887 | 41 | 18 | 23,7 | 23,7 |
| D ₄₀ W ₄₀ P ₆₀ | 27,3 | 13,0 | 47900 | 47600 | 7,930 | 7,869 | 32 | 25 | 23,9 | 23,8 |
| D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 24,3 | 5,65 | 47700 | 47600 | 7,893 | 7,777 | 30 | 21 | 23,8 | 23,7 |

Sumber : Hasil *jar test* (2018)

*Note : "A" adalah data sebelum *treatment* dan "B" adalah data sesudah *treatment*

Tabel 4.3 Hasil Ukur Kualitas Air Jar Test (*lanjutan*)

| Variabel Alternatif | Hasil Pengukuran Jar Test | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Turbidity (NTU) | | Conductivity ($\mu\text{S/cm}$) | | pH | | TSS (mg/L) | | TDS (g/L) | |
| | A ^(*) | B ^(*) | A ^(*) | B ^(*) | A ^(*) | B ^(*) | A ^(*) | B ^(*) | A ^(*) | B ^(*) |
| D ₆₀ W ₁₀ P ₄₀ | 17,4 | 8,54 | 47700 | 47500 | 7,993 | 7,977 | 21 | 19 | 23,9 | 23,7 |
| D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 25,9 | 6,20 | 47900 | 47700 | 7,976 | 7,877 | 32 | 19 | 24,0 | 23,9 |
| D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 21,8 | 6,21 | 47600 | 47500 | 7,913 | 7,883 | 32 | 21 | 23,8 | 23,7 |
| D ₆₀ W ₂₀ P ₄₀ | 35,8 | 10,8 | 47600 | 47700 | 7,968 | 7,963 | 40 | 14 | 23,8 | 23,8 |
| D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 27,9 | 9,04 | 47900 | 47900 | 7,953 | 7,938 | 31 | 22 | 23,9 | 23,9 |
| D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 26,9 | 4,59 | 47600 | 47500 | 7,891 | 7,880 | 32 | 18 | 23,8 | 23,7 |
| D ₆₀ W ₃₀ P ₄₀ | 39,8 | 10,9 | 47500 | 47600 | 8,002 | 7,910 | 43 | 18 | 23,9 | 23,9 |
| D ₆₀ W ₃₀ P ₆₀ | 35,5 | 10,7 | 47800 | 47900 | 7,961 | 7,891 | 32 | 23 | 23,9 | 23,9 |
| D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 27,8 | 5,44 | 47700 | 47300 | 7,898 | 7,821 | 35 | 13 | 23,8 | 23,8 |
| D ₆₀ W ₄₀ P ₄₀ | 16,9 | 9,08 | 47500 | 47400 | 7,996 | 7,902 | 21 | 15 | 23,8 | 23,7 |
| D ₆₀ W ₄₀ P ₆₀ | 16,6 | 9,99 | 47300 | 47300 | 8,009 | 7,864 | 22 | 17 | 23,7 | 23,7 |
| D ₆₀ W ₄₀ P ₈₀ | 20,9 | 4,95 | 47500 | 47700 | 7,868 | 7,821 | 32 | 19 | 23,7 | 23,8 |
| D ₈₀ W ₁₀ P ₄₀ | 4,39 | 3,57 | 47500 | 48000 | 7,980 | 7,918 | 11 | 7 | 23,8 | 24,0 |
| D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 27,1 | 6,44 | 47900 | 47900 | 7,973 | 7,916 | 32 | 15 | 23,9 | 23,9 |
| D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 20,0 | 5,08 | 47700 | 47700 | 7,941 | 7,919 | 37 | 17 | 23,8 | 23,8 |
| D ₈₀ W ₂₀ P ₄₀ | 6,05 | 4,11 | 46400 | 47700 | 7,947 | 7,914 | 13 | 9 | 23,3 | 23,8 |
| D ₈₀ W ₂₀ P ₆₀ | 15,8 | 7,24 | 47100 | 47500 | 7,986 | 7,901 | 21 | 13 | 23,6 | 23,8 |
| D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 14,5 | 4,37 | 47700 | 47600 | 7,948 | 7,928 | 20 | 11 | 23,9 | 23,8 |
| D ₈₀ W ₃₀ P ₄₀ | 6,95 | 4,06 | 46700 | 48000 | 7,919 | 7,828 | 15 | 9 | 23,2 | 24,0 |
| D ₈₀ W ₃₀ P ₆₀ | 16,6 | 6,77 | 47100 | 47500 | 8,011 | 7,906 | 22 | 15 | 23,6 | 23,7 |
| D ₈₀ W ₃₀ P ₈₀ | 9,22 | 6,79 | 48800 | 47800 | 7,961 | 7,924 | 12 | 11 | 24,4 | 23,8 |
| D ₈₀ W ₄₀ P ₄₀ | 7,41 | 3,81 | 47300 | 47800 | 7,943 | 7,903 | 13 | 9 | 23,4 | 23,9 |
| D ₈₀ W ₄₀ P ₆₀ | 16,9 | 7,57 | 47000 | 47600 | 7,949 | 7,896 | 23 | 16 | 23,5 | 23,7 |
| D ₈₀ W ₄₀ P ₈₀ | 10,4 | 4,96 | 47700 | 47800 | 7,945 | 7,910 | 16 | 13 | 23,8 | 23,9 |

Sumber : Hasil *jar test* (2018)*Note : "A" adalah data sebelum *treatment* dan "B" adalah data sesudah *treatment*

4.4 Tahapan Pengolahan Data

Pada tahapan ini data-data yang diperoleh dari hasil *jar test* dilakukan pengolahan data dan terdapat beberapa perhitungan yang meliputi beberapa tahapan seperti pengolahan data awal, seleksi alternatif keputusan, pembobotan variabel kriteria, penentuan ranking prioritas dan analisa sensitivitas.

4.4.1 Tahap Pengolahan Data Awal

Pengolahan data awal digunakan untuk mengolah data hasil *jar test* yang memiliki satuan yang berbeda-beda karena dengan hal tersebut jika digabungkan menjadi kesatuan kualitas air untuk menentukan alternatif terbaik sulit dilakukan sehingga dibutuhkan metode untuk menyetarakan satuan yaitu menggunakan sistem perhitungan penyetaraan satuan sesuai Pers. 3.1.

4.4.1.1 Pengolahan Data Awal Riil di Lapangan

Data *riil* di lapangan berarti penggunaan dosis 100%, waktu tinggal dan putaran pengaduk sesuai kondisi operasi lapangan yang tidak terukur. Berikut hasil penyetaraan satuan data *riil* di lapangan.

Tabel 4.4 Hasil Penyetaraan Satuan Data *Riil* di Lapangan

| Parameter Operasi | Satuan | Kenaikan/Penurunan Nilai Parameter (%) ^(*) |
|---------------------|--------|---|
| <i>Turbidity</i> | NTU | +62,5 |
| <i>Conductivity</i> | μS/cm | -2,26 |
| <i>pH</i> | Nilai | +5,79 |
| <i>TSS</i> | mg/L | +63,5 |
| <i>TDS</i> | g/L | -1,68 |

Sumber : Laboratorium kimia dan air PLTU Belitung kondisi musim hujan (2018)

*Note : Tanda *plus* (+) berarti nilai sesuai yang diharapkan PLTU dan *minus* (-) berarti kebalikannya

4.4.1.2 Pengolahan Data Awal *Jar Test*

Hasil ukur *jar test* sebanyak 48 buah alternatif percobaan dan berikut hasil penyetaraan datanya.

Tabel 4.5 Hasil Penyetaraan Satuan Data Hasil *Jar Test*

| No. | Variabel Alternatif | %Kenaikan/Penurunan Parameter Operasi ^(*) | | | | |
|-----|---|--|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| 1 | D ₂₀ W ₁₀ P ₄₀ | 2,9 | 0,63 | 1,96 | 23,8 | 0,42 |
| 2 | D ₂₀ W ₁₀ P ₆₀ | 59,6 | 0,42 | 1,71 | 39,4 | 0,42 |
| 3 | D ₂₀ W ₁₀ P ₈₀ | 33,5 | 3,29 | 1,37 | 23,1 | 2,47 |
| 4 | D ₂₀ W ₂₀ P ₄₀ | 29,2 | 0,84 | 1,55 | 23,8 | 0,42 |
| 5 | D ₂₀ W ₂₀ P ₆₀ | 52,7 | 0,63 | 1,11 | 32,3 | 0,42 |
| 6 | D ₂₀ W ₂₀ P ₈₀ | 31,4 | 0,63 | 0,88 | 40,7 | 0,84 |
| 7 | D ₂₀ W ₃₀ P ₄₀ | 56,4 | 0,63 | 0,10 | 54,8 | 0,42 |
| 8 | D ₂₀ W ₃₀ P ₆₀ | 49,7 | 1,26 | 0,56 | 25,0 | 1,26 |
| 9 | D ₂₀ W ₃₀ P ₈₀ | 32,5 | 0,63 | 0,79 | 41,4 | 0,42 |
| 10 | D ₂₀ W ₄₀ P ₄₀ | 61,8 | 0,63 | 1,52 | 57,5 | 0,42 |
| 11 | D ₂₀ W ₄₀ P ₆₀ | 51,7 | 1,46 | 0,15 | 26,7 | 1,25 |
| 12 | D ₂₀ W ₄₀ P ₈₀ | 15,4 | 1,84 | 1,77 | 23,1 | 1,23 |
| 13 | D ₄₀ W ₁₀ P ₄₀ | 27,1 | 0,00 | 0,54 | 9,5 | 0,00 |
| 14 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 67,1 | 0,63 | 1,50 | 39,4 | 0,42 |
| 15 | D ₄₀ W ₁₀ P ₈₀ | 62,0 | 0,21 | 0,19 | 48,3 | 0,42 |
| 16 | D ₄₀ W ₂₀ P ₄₀ | 39,0 | 0,63 | 0,10 | 19,0 | 0,42 |
| 17 | D ₄₀ W ₂₀ P ₆₀ | 56,2 | 0,83 | 1,61 | 20,0 | 0,83 |
| 18 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 81,4 | 0,21 | 0,45 | 63,9 | 0,42 |
| 19 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 72,7 | 0,21 | 1,05 | 60,0 | 0,42 |
| 20 | D ₄₀ W ₃₀ P ₆₀ | 53,7 | 0,21 | 0,37 | 21,9 | 0,42 |
| 21 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 80,1 | 0,42 | 1,00 | 40,0 | 0,42 |
| 22 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 70,7 | 0,00 | 1,57 | 56,1 | 0,00 |
| 23 | D ₄₀ W ₄₀ P ₆₀ | 52,4 | 0,63 | 0,77 | 21,9 | 0,42 |
| 24 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 76,7 | 0,21 | 1,47 | 30,0 | 0,42 |

Sumber : Hasil *jar test* (2018)

*Note : Tanda *plus* (+) berarti nilai sesuai yang diharapkan PLTU dan *minus* (-) berarti kebalikannya

Tabel 4.5 Hasil Penyetaraan Satuan Data Hasil *Jar Test* (*lanjutan*)

| No. | Variabel Alternatif | %Kenaikan/Penurunan Parameter Operasi ^(*) | | | | |
|-----|---|--|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| 25 | D ₆₀ W ₁₀ P ₄₀ | 50,9 | 0,42 | 0,20 | 9,5 | 0,84 |
| 26 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 76,1 | 0,42 | 1,24 | 40,6 | 0,42 |
| 27 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 71,5 | 0,21 | 0,38 | 34,4 | 0,42 |
| 28 | D ₆₀ W ₂₀ P ₄₀ | 69,8 | -0,21 | 0,06 | 65,0 | 0,00 |
| 29 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 67,6 | 0,00 | 0,19 | 29,0 | 0,00 |
| 30 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 82,9 | 0,21 | 0,14 | 43,8 | 0,42 |
| 31 | D ₆₀ W ₃₀ P ₄₀ | 72,6 | -0,21 | 1,15 | 58,1 | 0,00 |
| 32 | D ₆₀ W ₃₀ P ₆₀ | 69,9 | -0,21 | 0,88 | 28,1 | 0,00 |
| 33 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 80,4 | 0,84 | 0,97 | 62,9 | 0,00 |
| 34 | D ₆₀ W ₄₀ P ₄₀ | 46,3 | 0,21 | 1,18 | 28,6 | 0,42 |
| 35 | D ₆₀ W ₄₀ P ₆₀ | 39,8 | 0,00 | 1,81 | 22,7 | 0,00 |
| 36 | D ₆₀ W ₄₀ P ₈₀ | 76,3 | -0,42 | 0,60 | 40,6 | -0,42 |
| 37 | D ₈₀ W ₁₀ P ₄₀ | 18,7 | -1,05 | 0,78 | 36,4 | -0,84 |
| 38 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 76,2 | 0,00 | 0,71 | 53,1 | 0,00 |
| 39 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 74,6 | 0,00 | 0,28 | 54,1 | 0,00 |
| 40 | D ₈₀ W ₂₀ P ₄₀ | 32,1 | -2,80 | 0,42 | 30,8 | -2,15 |
| 41 | D ₈₀ W ₂₀ P ₆₀ | 54,2 | -0,85 | 1,06 | 38,1 | -0,85 |
| 42 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 69,9 | 0,21 | 0,25 | 45,0 | 0,42 |
| 43 | D ₈₀ W ₃₀ P ₄₀ | 41,6 | -2,78 | 1,15 | 40,0 | -3,45 |
| 44 | D ₈₀ W ₃₀ P ₆₀ | 59,2 | -0,85 | 1,31 | 31,8 | -0,42 |
| 45 | D ₈₀ W ₃₀ P ₈₀ | 26,4 | 2,05 | 0,46 | 8,3 | 2,46 |
| 46 | D ₈₀ W ₄₀ P ₄₀ | 48,6 | -1,06 | 0,50 | 30,8 | -2,14 |
| 47 | D ₈₀ W ₄₀ P ₆₀ | 55,2 | -1,28 | 0,67 | 30,4 | -0,85 |
| 48 | D ₈₀ W ₄₀ P ₈₀ | 52,3 | -0,21 | 0,44 | 18,8 | -0,42 |

Sumber : Hasil *jar test* (2018)

*Note : Tanda *plus* (+) berarti nilai sesuai yang diharapkan PLTU dan *minus* (-) berarti kebalikannya

4.4.2 Tahap Seleksi Alternatif Keputusan

Percobaan *jar test* menghasilkan 48 buah alternatif percobaan dan menghasilkan data yang bervariasi. Dari hasil tersebut diperlukan seleksi alternatif keputusan untuk mensortir dari beberapa pilihan alternatif yang secara teori

keilmuan tentang pengolahan air di PLTU tidak mungkin untuk dipilih sehingga menghindari pemilihan alternatif yang kurang sesuai. Beberapa teknik yang digunakan untuk seleksi alternatif keputusan adalah:

- i. Membandingkan nilai %kenaikan/penurunan parameter data hasil *jar test* dengan data *riil* di lapangan menggunakan parameter yang paling berpengaruh di proses *pre-treatment water system* yaitu *turbidity*. Sistem acuan pemilihan seperti Pers 4.2 berikut.

Turbidity Hasil Jar Test Terpilih \geq Turbidity Data Riil Lapangan

(Pers. 4.1)

- ii. Men-*sortir* data hasil *jar test* yang bernilai negatif (-) karena nilai negatif mengindikasikan terjadi peningkatan nilai parameter dan ini tidak diharapkan di pengolahan air PLTU.

Berikut disajikan data yang sudah terseleksi yang akan digunakan untuk pengolahan data lanjutan.

Tabel 4.6 Alternatif Keputusan Terseleksi untuk Data Hasil *Jar Test*

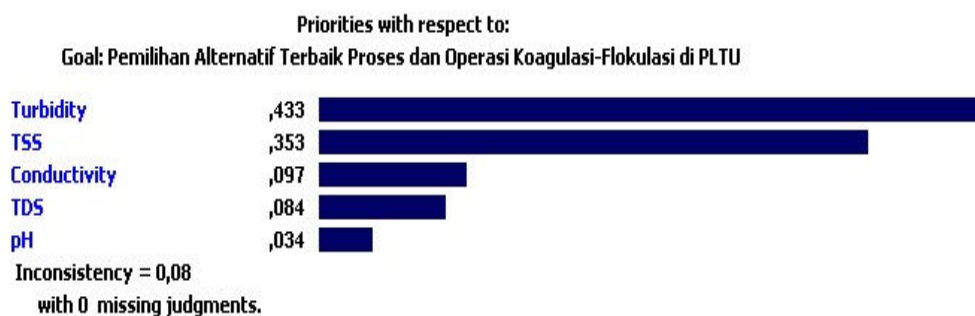
| No. | Variabel Alternatif | %Kenaikan/Penurunan Parameter Operasi ^(*) | | | | |
|-----|---|--|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| 1 | D₄₀W₁₀P₆₀ | 67,1 | 0,63 | 1,50 | 39,4 | 0,42 |
| 2 | D₄₀W₂₀P₈₀ | 81,4 | 0,21 | 0,45 | 63,9 | 0,42 |
| 3 | D₄₀W₃₀P₄₀ | 72,7 | 0,21 | 1,05 | 60,0 | 0,42 |
| 4 | D₄₀W₃₀P₈₀ | 80,1 | 0,42 | 1,00 | 40,0 | 0,42 |
| 5 | D₄₀W₄₀P₄₀ | 70,7 | 0,00 | 1,57 | 56,1 | 0,00 |
| 6 | D₄₀W₄₀P₈₀ | 76,7 | 0,21 | 1,47 | 30,0 | 0,42 |
| 7 | D₆₀W₁₀P₆₀ | 76,1 | 0,42 | 1,24 | 40,6 | 0,42 |
| 8 | D₆₀W₁₀P₈₀ | 71,5 | 0,21 | 0,38 | 34,4 | 0,42 |
| 9 | D₆₀W₂₀P₆₀ | 67,6 | 0,00 | 0,19 | 29,0 | 0,00 |
| 10 | D₆₀W₂₀P₈₀ | 82,9 | 0,21 | 0,14 | 43,8 | 0,42 |
| 11 | D₆₀W₃₀P₈₀ | 80,4 | 0,84 | 0,97 | 62,9 | 0,00 |
| 12 | D₈₀W₁₀P₆₀ | 76,2 | 0,00 | 0,71 | 53,1 | 0,00 |
| 13 | D₈₀W₁₀P₈₀ | 74,6 | 0,00 | 0,28 | 54,1 | 0,00 |
| 14 | D₈₀W₂₀P₈₀ | 69,9 | 0,21 | 0,25 | 45,0 | 0,42 |

Keterangan : Data alternatif diatas belum memperhatikan urutan rangking prioritas

Dari 48 alternatif hasil percobaan *jar test* didapatkan 14 alternatif sesuai ketentuan seleksi alternatif keputusan yang disyaratkan di penelitian ini sehingga 14 alternatif sesuai Tabel 4.6 tersebut yang akan digunakan untuk bahan olahan data selanjutnya.

4.4.3 Tahap Pembobotan Variabel Kriteria

Variabel kriteria (parameter kualitas air) ditentukan sebanyak 5 buah dan dilakukan perhitungan pembobotan menggunakan pendekatan metode AHP. Perhitungan *pairwise skala Saaty 1-9* dilakukan oleh *expert judgment* sesuai kualifikasi yang telah ditentukan dan menggunakan bantuan *software expert choice v11 (EC 11)*. Berikut hasil perhitungannya.



Gambar 4.2 Tampilan Layar *Software EC 11* untuk Pembobotan Kriteria

Tabel 4.7 Pembobotan Variabel Kriteria Menggunakan Metode AHP

| Variabel Kriteria (Parameter) | Bobot | Consistency Ratio (CR) |
|----------------------------------|-------|---------------------------|
| <i>Turbidity</i> | 0,433 | |
| <i>TSS</i> | 0,353 | |
| <i>Conductivity</i> | 0,097 | 8,2% |
| <i>TDS</i> | 0,084 | |
| <i>pH</i> | 0,034 | |

Keterangan : Perhitungan menggunakan *software EC 11*

Nilai bobot kriteria ini digunakan untuk memberikan tingkat relatif kepentingan (*relative importance*) diantara parameter yang juga mengindikasikan tingkat besar/tidaknya pengaruh terhadap kualitas air.

4.4.4 Tahap Penentuan Rangking Prioritas

Sistem penentuan rangking prioritas diusulkan menggunakan 2 pendekatan yaitu metode AHP dan perpaduan metode AHP-TOPSIS. Berikut diuraikan dari masing-masing pendekatan metode tersebut.

4.4.4.1 Rangking Prioritas Metode AHP

Penentuan rangking prioritas menggunakan pendekatan metode AHP dan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- i. Melakukan pembobotan variabel kriteria (parameter kualitas air) dengan teknik perbandingan berpasangan skala Saaty 1-9 (pendekatan metode AHP) dan hasil sesuai Tabel 4.7
- ii. Melakukan penyetaraan satuan yaitu sistem *skoring*, dengan acuan pemberian nilai seperti Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Acuan Sistem *Skoring* Data Hasil *Jar Test*

| Skor | Keterangan | Batasan %Kenaikan/Penurunan Parameter Operasi | | | | |
|------|--------------------------------|---|---------------------|--|--------------------|------------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| 1 | Sama Sekali Tidak Prioritas | <67,00 | <0,00 | <7,000 atau >8,000 | <29,00 | <0,00 |
| 2 | Sangat Tidak Prioritas | 67,00 s/d 68,70 | 0,00 s/d 0,10 | 7,000 s/d 7,056 atau 7,896 s/d 8,000 | 29,00 s/d 32,87 | 0,00 s/d 0,05 |
| 3 | Tidak Prioritas | 68,71 s/d 70,40 | 0,11 s/d 0,20 | 7,057 s/d 7,112 atau 7,840 s/d 7,895 | 32,88 s/d 36,75 | 0,06 s/d 0,10 |
| 4 | Agak Tidak Prioritas | 70,41 s/d 72,10 | 0,21 s/d 0,30 | 7,113 s/d 7,168 atau 7,728 s/d 7,839 | 36,76 s/d 40,63 | 0,11 s/d 0,15 |
| 5 | Netral | 72,11 s/d 73,80 | 0,31 s/d 0,40 | 7,169 s/d 7,224 atau 7,672 s/d 7,727 | 40,64 s/d 44,51 | 0,16 s/d 0,20 |
| 6 | Agak Prioritas | 73,81 s/d 75,50 | 0,41 s/d 0,50 | 7,225 s/d 7,280 atau 7,616 s/d 7,671 | 44,52 s/d 48,39 | 0,21 s/d 0,25 |
| 7 | Prioritas | 75,51 s/d 77,20 | 0,51 s/d 0,60 | 7,281 s/d 7,336 atau 7,560 s/d 7,615 | 48,40 s/d 52,27 | 0,26 s/d 0,30 |
| 8 | Sangat Prioritas | 77,21 s/d 78,90 | 0,61 s/d 0,70 | 7,337 s/d 7,392 atau 7,504 s/d 7,559 | 52,28 s/d 56,15 | 0,31 s/d 0,35 |
| 9 | Extreme Prioritas | >78,91 | >0,71 | 7,393 s/d 7,503 | >56,16 | >0,36 |

Sumber : Ketetapan expert judgment (2018)

- iii. Melakukan pengumpulan data hasil *skoring*, berikut ditampilkan hasil datanya di Tabel 4.9

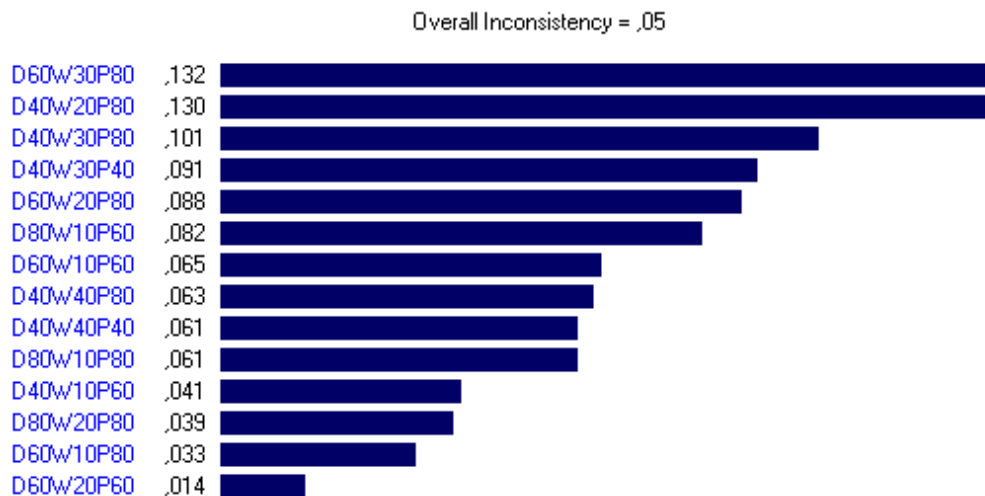
Tabel 4.9 Hasil *Skoring* Data Hasil *Jar Test*

| Alt Ke- | Variabel Alternatif | Hasil Skoring | | | | |
|---------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| | | 0,433 ^(a) | 0,097 ^(a) | 0,034 ^(a) | 0,353 ^(a) | 0,084 ^(a) |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 2 | 9 | 3 | 4 | 9 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 9 | 6 | 2 | 9 | 9 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 5 | 9 | 2 | 9 | 9 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 9 | 9 | 4 | 4 | 9 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 4 | 9 | 3 | 8 | 2 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 7 | 9 | 4 | 2 | 9 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 7 | 9 | 3 | 4 | 9 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 4 | 5 | 3 | 3 | 9 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 9 | 3 | 3 | 5 | 9 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 9 | 9 | 4 | 9 | 2 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 7 | 9 | 2 | 8 | 2 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 6 | 4 | 2 | 8 | 2 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 3 | 4 | 2 | 6 | 9 |

Keterangan : ^(a) adalah bobot kriteria

- iv. Melakukan sistem *pairwise* skala Saaty 1-9 menggunakan *software EC11* dan didapatkan alternatif ranking prioritas seperti Gambar 4.3

Synthesis with respect to: Goal: Pemilihan Alternatif Terbaik Proses dan Operasi Koagulasi-Flokulasi di PLTU



Gambar 4.3 Tampilan Layar *Software EC 11* untuk Ranking Prioritas

Tabel 4.10 Rangkings Prioritas Alternatif Menggunakan Metode AHP

| Urutan Rangkings | Variabel | Nilai Bobot |
|-------------------------|---|--------------------|
| Prioritas | Alternatif | Alternatif |
| Rank 1 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,132 |
| Rank 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,130 |
| Rank 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,101 |
| Rank 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,091 |
| Rank 5 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,088 |
| Rank 6 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,082 |
| Rank 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,065 |
| Rank 8 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,063 |
| Rank 9 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,061 |
| Rank 10 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,061 |
| Rank 11 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,041 |
| Rank 12 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,039 |
| Rank 13 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,033 |
| Rank 14 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,014 |

- v. Melakukan analisa sensitivitas dengan memberikan perubahan bobot kriteria

4.4.4.2 Rangkings Prioritas Perpaduan Metode AHP-TOPSIS

Sebagai perbandingan penentuan rangkings prioritas metode AHP maka diusulkan penggunaan pendekatan perpaduan metode AHP-TOPSIS untuk menyempurnakan kekurangan dalam sistem perangkings yang digunakan oleh metode AHP. Berikut langkah-langkah dalam perhitungan metode tersebut:

- i. Melakukan pembobotan variabel kriteria (parameter kualitas air) dengan teknik perbandingan berpasangan skala Saaty 1-9 (pendekatan metode AHP) dan hasil sesuai Tabel 4.7
- ii. Menyiapkan data awal yaitu %kenaikan/penurunan nilai parameter untuk semua variabel alternatif (%dosis, waktu tinggal dan putaran pengaduk) dan hasil sesuai Tabel 4.6
- iii. Melakukan standarisasi matriks %kenaikan/penurunan nilai parameter (X_{ij}^2) yaitu dengan cara meng-kuadratkan nilai matriks

%kenaikan/penurunan nilai parameter (X_{ij}) sesuai Tabel 4.11. Berikut data hasil perhitungannya.

Tabel 4.11 Hasil Standarisasi Matriks Metode TOPSIS

| Alt | Variabel | Standarisasi Matriks (X_{ij}^2) | | | | |
|--------|---|-------------------------------------|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 4502,41 | 0,40 | 2,25 | 1552,36 | 0,18 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 6625,96 | 0,04 | 0,20 | 4083,21 | 0,18 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 5285,29 | 0,04 | 1,10 | 3600,00 | 0,18 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 6416,01 | 0,18 | 1,00 | 1600,00 | 0,18 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 4998,49 | 0,00 | 2,46 | 3147,21 | 0,00 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 5882,89 | 0,04 | 2,16 | 900,00 | 0,18 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 5791,21 | 0,18 | 1,54 | 1648,36 | 0,18 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 5112,25 | 0,04 | 0,14 | 1183,36 | 0,18 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 4569,76 | 0,00 | 0,04 | 841,00 | 0,00 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 6872,41 | 0,04 | 0,02 | 1918,44 | 0,18 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 6464,16 | 0,71 | 0,94 | 3956,41 | 0,00 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 5806,44 | 0,00 | 0,50 | 2819,61 | 0,00 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 5565,16 | 0,00 | 0,08 | 2926,81 | 0,00 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 4886,01 | 0,04 | 0,06 | 2025,00 | 0,18 |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan software microsoft excel

- iv. Melakukan perhitungan normalisasi matriks (r_{ij}) yaitu dengan membagi antara X_{ij} sesuai Tabel 4.6 dengan akar dari jumlah kuadrat matriks per kolom [$\text{SQRT}(\sum X_{ij}^2)$]. Berikut data hasil perhitungannya.

Tabel 4.12 Hasil Normalisasi Matriks Menggunakan Metode TOPSIS

| Alt Ke- | Variabel Alternatif | Normalisasi Matriks (r_{ij}) | | | | |
|------------|---|----------------------------------|--------------|-------|-------|-------|
| | | Turbidity | Conductivity | pH | TSS | TDS |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,239 | 0,480 | 0,424 | 0,220 | 0,333 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,290 | 0,160 | 0,127 | 0,356 | 0,333 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,259 | 0,160 | 0,297 | 0,334 | 0,333 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,285 | 0,320 | 0,283 | 0,223 | 0,333 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,252 | 0,000 | 0,444 | 0,313 | 0,000 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,273 | 0,160 | 0,416 | 0,167 | 0,333 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,271 | 0,320 | 0,351 | 0,226 | 0,333 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,255 | 0,160 | 0,107 | 0,192 | 0,333 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,241 | 0,000 | 0,054 | 0,162 | 0,000 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,295 | 0,160 | 0,040 | 0,244 | 0,333 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,286 | 0,641 | 0,274 | 0,351 | 0,000 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,271 | 0,000 | 0,201 | 0,296 | 0,000 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,266 | 0,000 | 0,079 | 0,301 | 0,000 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,249 | 0,160 | 0,071 | 0,251 | 0,333 |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan software microsoft excel

- v. Melakukan perhitungan bobot normalisasi matriks (v_{ij}) yaitu dengan melakukan perkalian antara normalisasi matriks (r_{ij}) sesuai Tabel 4.12 dengan bobot kriteria (w_j) sesuai Tabel 4.7. Berikut data hasil perhitungannya.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Bobot Normalisasi Matriks Metode TOPSIS

| Alt | Variabel | Bobot Normalisasi Matriks (v_{ij}) | | | | |
|--------|---|--|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,104 | 0,047 | 0,014 | 0,078 | 0,028 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,126 | 0,016 | 0,004 | 0,126 | 0,028 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,112 | 0,016 | 0,010 | 0,118 | 0,028 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,124 | 0,031 | 0,010 | 0,079 | 0,028 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,109 | 0,000 | 0,015 | 0,110 | 0,000 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,118 | 0,016 | 0,014 | 0,059 | 0,028 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,117 | 0,031 | 0,012 | 0,080 | 0,028 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,110 | 0,016 | 0,004 | 0,068 | 0,028 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,104 | 0,000 | 0,002 | 0,057 | 0,000 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,128 | 0,016 | 0,001 | 0,086 | 0,028 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,124 | 0,062 | 0,009 | 0,124 | 0,000 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,118 | 0,000 | 0,007 | 0,104 | 0,000 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,115 | 0,000 | 0,003 | 0,106 | 0,000 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,108 | 0,016 | 0,002 | 0,089 | 0,028 |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan software microsoft excel

- vi. Melakukan perhitungan solusi ideal positif yaitu dengan melakukan perhitungan pengurangan antara nilai bobot normalisasi matriks (v_{ij}) sesuai Tabel 4.13 dengan nilai bobot normalisasi matriks maksimum dalam satu kolom (v_j^+) sedangkan untuk solusi ideal negatif yaitu dengan melakukan perhitungan pengurangan antara nilai bobot normalisasi matriks dengan nilai bobot matriks minimum dalam satu kolom (v_j^-). Berikut hasil perhitungannya.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Solusi Ideal Positif Metode TOPSIS

| Alt Ke- | Variabel Alternatif | Solusi Ideal Positif ($v_{ij}-v_j^+$) | | | | |
|---------|---|---|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,00059 | 0,00024 | 0,00000 | 0,00232 | 0,00000 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,00001 | 0,00217 | 0,00012 | 0,00000 | 0,00000 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,00025 | 0,00217 | 0,00002 | 0,00006 | 0,00000 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,00002 | 0,00097 | 0,00003 | 0,00221 | 0,00000 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,00035 | 0,00386 | 0,00000 | 0,00024 | 0,00078 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,00009 | 0,00217 | 0,00000 | 0,00445 | 0,00000 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,00011 | 0,00097 | 0,00001 | 0,00210 | 0,00000 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,00031 | 0,00217 | 0,00013 | 0,00337 | 0,00000 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,00056 | 0,00386 | 0,00018 | 0,00471 | 0,00078 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,00000 | 0,00217 | 0,00019 | 0,00156 | 0,00000 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,00001 | 0,00000 | 0,00003 | 0,00000 | 0,00078 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,00011 | 0,00386 | 0,00007 | 0,00045 | 0,00078 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,00016 | 0,00386 | 0,00015 | 0,00037 | 0,00078 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,00040 | 0,00217 | 0,00016 | 0,00138 | 0,00000 |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan software microsoft excel

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Solusi Ideal Negatif Metode TOPSIS

| Alt Ke- | Variabel Alternatif | Solusi Ideal Negatif ($v_{ij}-v_j^-$) | | | | |
|---------|---|---|---------------------|-----------|------------|------------|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Conductivity</i> | <i>pH</i> | <i>TSS</i> | <i>TDS</i> |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,00000 | 0,00217 | 0,00017 | 0,00042 | 0,00078 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,00049 | 0,00024 | 0,00001 | 0,00471 | 0,00078 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,00007 | 0,00024 | 0,00008 | 0,00372 | 0,00078 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,00040 | 0,00097 | 0,00007 | 0,00047 | 0,00078 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,00003 | 0,00000 | 0,00019 | 0,00284 | 0,00000 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,00022 | 0,00024 | 0,00016 | 0,00000 | 0,00078 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,00019 | 0,00097 | 0,00011 | 0,00052 | 0,00078 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,00005 | 0,00024 | 0,00001 | 0,00011 | 0,00078 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,00059 | 0,00024 | 0,00000 | 0,00085 | 0,00078 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,00042 | 0,00386 | 0,00006 | 0,00445 | 0,00000 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,00020 | 0,00000 | 0,00003 | 0,00225 | 0,00000 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,00013 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00244 | 0,00000 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,00002 | 0,00024 | 0,00000 | 0,00099 | 0,00078 |

- vii. Menghitung jarak *Euclidean* yaitu jarak solusi ideal positif (D_i^+) untuk setiap variabel alternatif dengan cara mengakarkan penjumlahan semua data variabel kriteria per variabel alternatif [$\text{SQRT}(v_{ij}-v_j^+)$] dan jarak solusi ideal negatif (D_i^-) dengan perhitungan [$\text{SQRT}(v_{ij}-v_j^-)$]. Berikut data hasil perhitungannya.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Jarak Solusi Ideal Positif dan Negatif Metode TOPSIS

| Alt Ke- | Variabel Alternatif | Jarak Solusi Ideal Positif dan Negatif | |
|------------|---|--|---------|
| | | D_i^+ | D_i^- |
| Alt 1 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,0562 | 0,060 |
| Alt 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,0479 | 0,079 |
| Alt 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,0500 | 0,070 |
| Alt 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,0568 | 0,052 |
| Alt 5 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,0723 | 0,055 |
| Alt 6 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,0819 | 0,038 |
| Alt 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,0564 | 0,051 |
| Alt 8 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,0773 | 0,034 |
| Alt 9 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,1005 | 0,001 |
| Alt 10 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,0626 | 0,050 |
| Alt 11 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,0289 | 0,094 |
| Alt 12 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,0726 | 0,050 |
| Alt 13 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,0730 | 0,051 |
| Alt 14 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,0642 | 0,045 |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan *software microsoft excel*

- viii. Menghitung *relative closeness* (CC_i^+) terhadap solusi ideal positif dengan perhitungan dan menentukan ranking prioritas. Berikut data hasil perhitungannya.

Tabel 4.17 *Relative Closeness* dan Rangkaing Prioritas Metode AHP-TOPSIS

| Rangkaing Prioritas | Variabel Alternatif | Nilai CC_i^+ |
|----------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,764 |
| 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,622 |
| 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | 0,583 |
| 4 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,514 |
| 5 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | 0,477 |
| 6 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,473 |
| 7 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,442 |
| 8 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | 0,433 |
| 9 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | 0,413 |
| 10 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,410 |
| 11 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | 0,407 |
| 12 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | 0,320 |
| 13 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | 0,313 |
| 14 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | 0,009 |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan *software microsoft excel*

ix. Melakukan analisa sensitivitas bobot kriteria (parameter kualitas air)

4.4.5 Analisa Sensitivitas

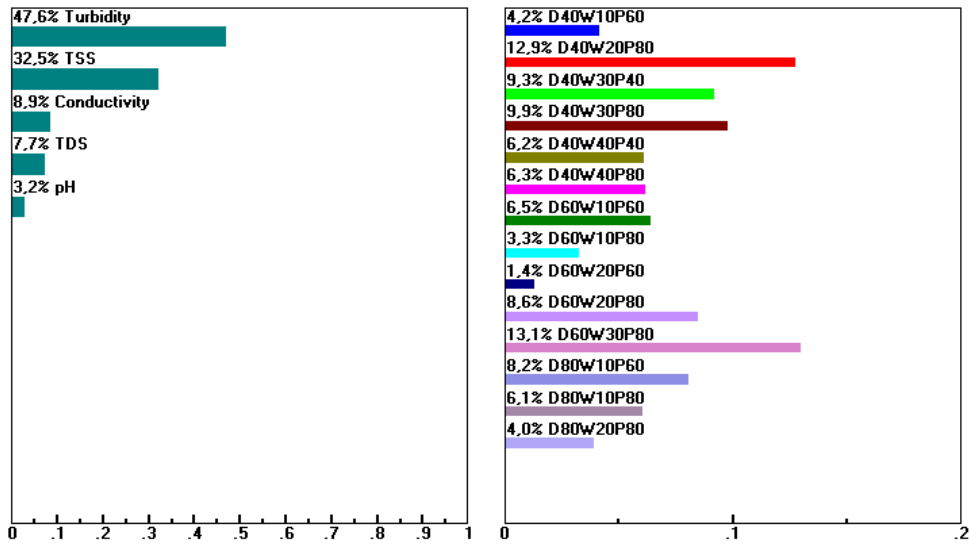
Analisa sensitivitas digunakan untuk melihat tingkat kepekaan rangking alternatif terhadap perubahan *preferensi* pengambil keputusan. Perhitungan menggunakan bantuan *software EC II* dan penentuan parameter dipilih untuk bobot prioritas utama seperti *turbidity* dan *TSS*.

Nilai perubahan bobot sensitivitas yang digunakan di perhitungan ini adalah +10%, +20% dan -10%. Nilai tersebut ditentukan berdasarkan percobaan beberapa perubahan bobot yang memiliki tingkat perubahan rangking prioritas yang cukup signifikan terhadap beberapa alternatif yang sudah ada. Perubahan rangking prioritas yang cukup signifikan ini diharapkan bisa digunakan untuk melihat tingkat konsistensi rangking alternatif jika sewaktu-waktu terjadi perubahan yang signifikan dari pengambil keputusan. Analisa sensitivitas dilakukan terhadap 2 metode dan dilakukan pembahasan masing-masing.

4.4.5.1 Analisa Sensitivitas Metode AHP

1. Perubahan Bobot Turbidity Sebesar +10%

Nilai bobot *turbidity* sebelum dilakukan perubahan adalah 0,433 dan dilakukan perubahan sebesar +10% sehingga menjadi 0,476. Berikut hasil *running* menggunakan *software EC 11*.

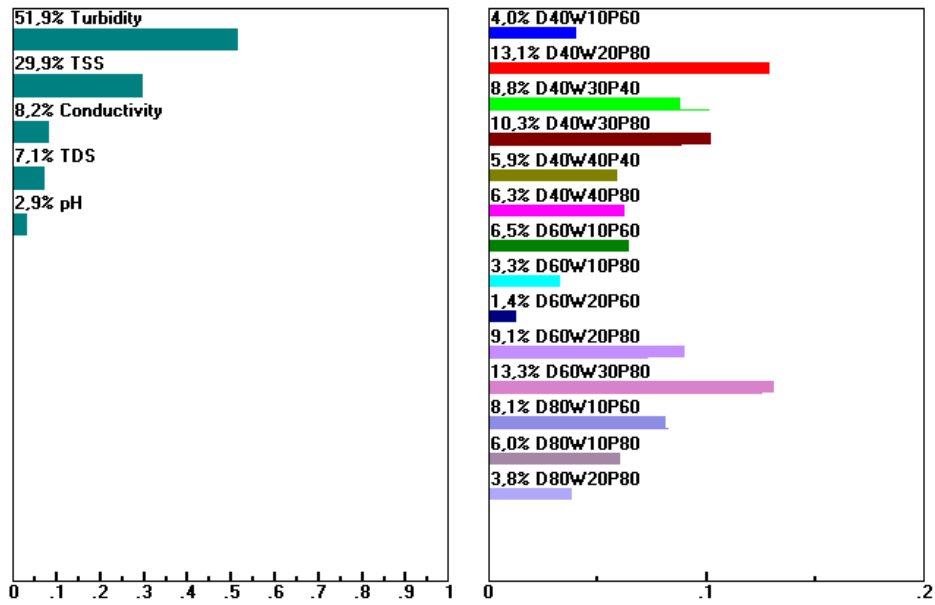


Gambar 4.4 Tampilan Layar EC 11 Rangkings Prioritas Perubahan Bobot Turbidity +10%

Berdasarkan hasil analisa sensitivitas untuk kenaikan bobot *turbidity* sebesar +10% menggunakan pendekatan metode AHP, didapatkan data bahwa rangking prioritas ke-1 sampai ke-3 tidak berubah urutannya.

2. Perubahan Bobot Turbidity Sebesar +20%

Nilai bobot *turbidity* sebelum dilakukan perubahan adalah 0,433 dan dilakukan perubahan sebesar +20% sehingga menjadi 0,519. Berikut hasil *running* menggunakan *software EC 11*.

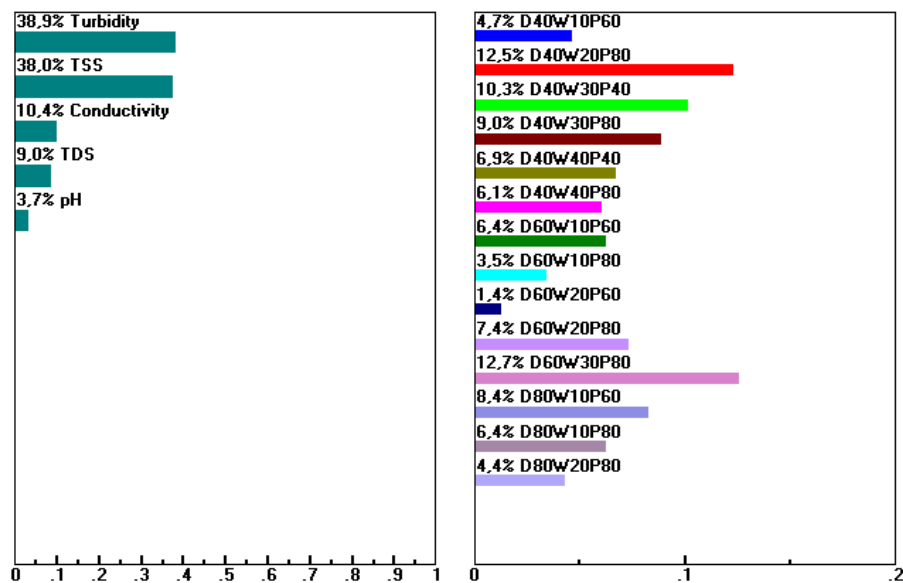


Gambar 4.5 Tampilan Layar EC 11 Ranking Prioritas Perubahan Bobot Turbidity +20%

Berdasarkan hasil analisa sensitivitas untuk kenaikan bobot *turbidity* sebesar +20% menggunakan pendekatan metode AHP, didapatkan data bahwa ranking prioritas ke-1 sampai ke-3 tidak berubah urutannya.

3. Perubahan Bobot Turbidity Sebesar -10%

Nilai bobot *turbidity* sebelum dilakukan perubahan adalah 0,433 dan dilakukan perubahan sebesar -10% sehingga menjadi 0,389. Berikut hasil *running* menggunakan *software EC 11*.

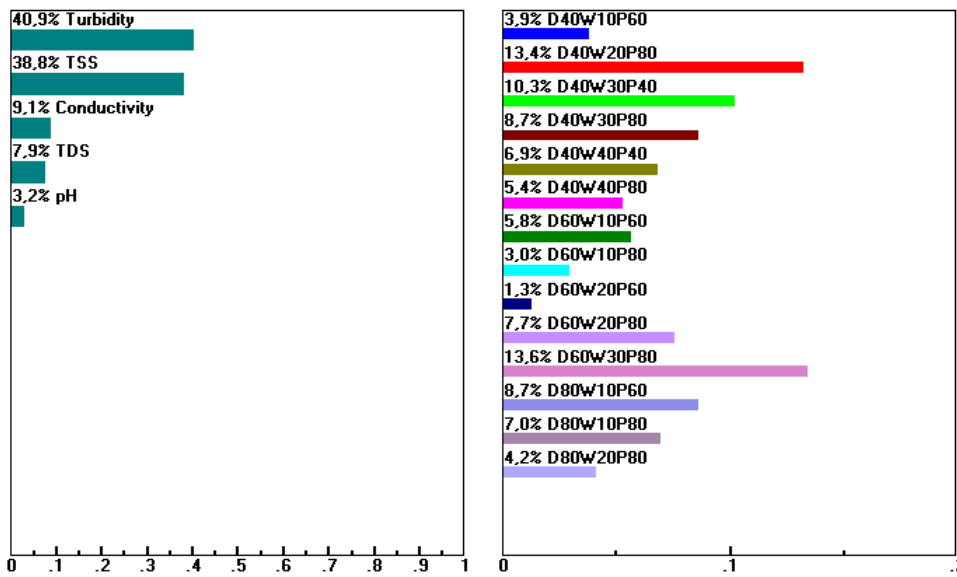


Gambar 4.6 Tampilan Layar EC 11 Ranking Prioritas Perubahan Bobot Turbidity -10%

Berdasarkan hasil analisa sensitivitas untuk penurunan bobot *turbidity* sebesar -10% menggunakan pendekatan metode AHP, didapatkan data bahwa ranking prioritas ke-1 sampai ke-3 tidak berubah urutannya.

4. Perubahan Bobot TSS Sebesar +10%

Nilai bobot *TSS* sebelum dilakukan perubahan adalah 0,353 dan dilakukan perubahan sebesar +10% sehingga menjadi 0,388. Berikut hasil *running* menggunakan *software EC 11*.

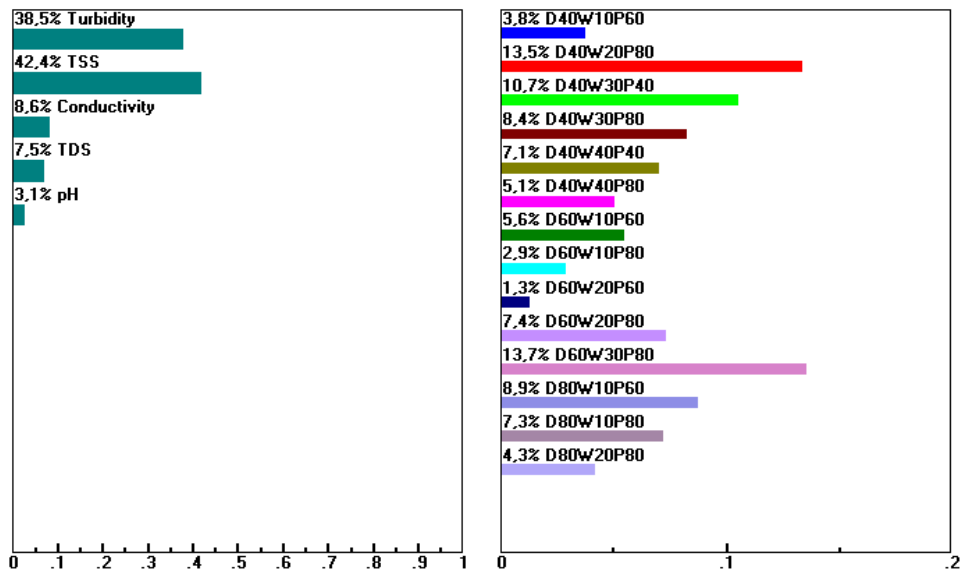


Gambar 4.7 Tampilan Layar EC 11 Ranking Prioritas Perubahan Bobot TSS +10%

Berdasarkan hasil analisa sensitivitas untuk kenaikan bobot *TSS* sebesar +10% menggunakan pendekatan metode AHP, didapatkan data bahwa ranking prioritas ke-1 sampai ke-5 tidak berubah urutannya.

5. Perubahan Bobot TSS Sebesar +20%

Nilai bobot *TSS* sebelum dilakukan perubahan adalah 0,353 dan dilakukan perubahan sebesar +20% sehingga menjadi 0,424. Berikut hasil *running* menggunakan *software EC 11*.

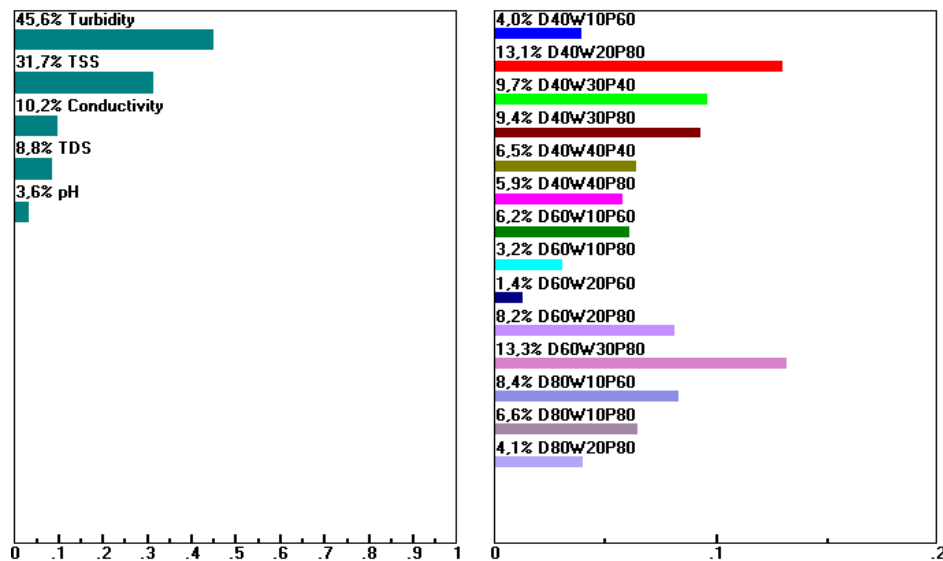


Gambar 4.8 Tampilan Layar EC 11 Ranking Prioritas Perubahan Bobot TSS +20%

Berdasarkan hasil analisa sensitivitas untuk kenaikan bobot *TSS* sebesar +20% menggunakan pendekatan metode AHP, didapatkan data bahwa ranking prioritas ke-1 sampai ke-2 tidak berubah urutannya.

6. Perubahan Bobot TSS Sebesar -10%

Nilai bobot *TSS* sebelum dilakukan perubahan adalah 0,353 dan dilakukan perubahan sebesar -10% sehingga menjadi 0,317. Berikut hasil *running* menggunakan *software EC 11*.



Gambar 4.9 Tampilan Layar EC 11 Ranking Prioritas Perubahan Bobot TSS -10%

Berdasarkan hasil analisa sensitivitas untuk penurunan bobot *TSS* sebesar -10% menggunakan pendekatan metode AHP, didapatkan data bahwa ranking prioritas ke-1 sampai ke-3 tidak berubah urutannya.

Berikut rangkuman hasil perubahan bobot kriteria *turbidity* dan *TSS* terhadap urutan ranking prioritas menggunakan pendekatan metode AHP.

Tabel 4.18 Perbandingan Urutan Ranking Prioritas Antara Standar dengan Pengaruh Tingkat Sensitivitas Metode AHP

| Ranking Prioritas | Standar Metode AHP | Variabel Alternatif dengan Tingkat Sensitivitas | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Turbidity</i> | <i>Turbidity</i> | <i>TSS</i> | <i>TSS</i> | <i>TSS</i> |
| | | +10% | +20% | -10% | +10% | +20% | -10% |
| 1 | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ |
| 2 | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ |
| 3 | D₄₀W₃₀P₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ |
| 4 | D₄₀W₃₀P₄₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| 5 | D₆₀W₂₀P₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ |
| 6 | D₈₀W₁₀P₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| 7 | D₆₀W₁₀P₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ |
| 8 | D₄₀W₄₀P₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ |
| 9 | D₄₀W₄₀P₄₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ |
| 10 | D₈₀W₁₀P₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| 11 | D₄₀W₁₀P₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| 12 | D₈₀W₂₀P₈₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| 13 | D₆₀W₁₀P₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ |
| 14 | D₆₀W₂₀P₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan *software EC II*

Secara keseluruhan perhitungan untuk mendapatkan ranking prioritas pendekatan metode AHP dan telah dilakukan analisa sensitivitas didapatkan bahwa terdapat 2 peringkat prioritas yang stabil urutannya yaitu alternatif ke-1 untuk $D_{60}W_{30}P_{80}$ dan alternatif ke-2 untuk $D_{40}W_{20}P_{80}$.

4.4.5.2 Analisa Sensitivitas Metode AHP-TOPSIS

Analisa sensitivitas untuk perubahan bobot kriteria yang diterapkan di metode AHP-TOPSIS adalah sama dengan pendekatan metode AHP yaitu menggunakan perubahan bobot terhadap 2 parameter utama yang memiliki bobot terbesar yaitu

turbidity dan *TSS* dengan nilai perubahan mengikuti sistem yang dihasilkan oleh metode AHP menggunakan bantuan *software EC11*. Berikut disajikan perubahan bobot kriteria *turbidity* dan *TSS* terhadap hasil urutan ranking prioritas menggunakan pendekatan perpaduan metode AHP-TOPSIS.

Tabel 4.19 Perbandingan Urutan Ranking Prioritas Antara Standar dengan Pengaruh Tingkat Sensitivitas Perpaduan Metode AHP-TOPSIS

| Ranking Prioritas | Standar AHP- TOPSIS | Variabel Alternatif dengan Tingkat Sensitivitas | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | <i>Turbidity</i> | <i>Turbidity</i> | <i>Turbidity</i> - | <i>TSS</i> | <i>TSS</i> | <i>TSS</i> |
| | | +10% | +20% | 10% | +10% | +20% | -10% |
| 1 | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₃₀ P ₈₀ |
| 2 | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ |
| 4 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| 5 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ |
| 6 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| 7 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| 8 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| 9 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ |
| 10 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ |
| 11 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| 12 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ |
| 13 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ |
| 14 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ |

Keterangan : Perhitungan dengan bantuan *software microsoft excel*

Secara keseluruhan perhitungan untuk mendapatkan ranking prioritas pendekatan metode AHP-TOPSIS dan telah dilakukan analisa sensitivitas didapatkan bahwa terdapat 3 peringkat prioritas yang stabil urutannya yaitu alternatif ke-1 untuk D₆₀W₃₀P₈₀, alternatif ke-2 untuk D₄₀W₂₀P₈₀ dan alternatif ke-3 untuk D₄₀W₃₀P₄₀.

4.4.6 Struktur Pembiayaan Sistem *Koagulasi-Flokulasi* di PLTU

Biaya yang terdapat pada sistem *koagulasi-flokulasi* ini meliputi:

- i. Biaya operasi seperti biaya konsumsi *koagulan-koagulan aid* dan biaya listrik *motor agitator* untuk putaran pengadukan rpm rendah

ii. Biaya konstruksi *pre-treatment water system* seperti biaya penambahan *lamella, baffle* dan *pond*.

Biaya untuk sistem *koagulasi-flokulasi* seperti biaya listrik *motor agitator* sangat kecil kebutuhannya sehingga untuk setiap alternatif percobaan diasumsikan bernilai sama dan untuk biaya konstruksi hanya dikeluarkan di awal pembuatan bak sedimentasi sehingga tidak diperhitungkan untuk analisa biaya operasional *koagulasi-flokulasi* PLTU saat ini.

Biaya operasi untuk konsumsi *koagulan* dan *koagulan-aid* di PLTU adalah pengeluaran terbesar untuk sistem ini dan jika dibandingkan dengan pengeluaran biaya lain seperti yang dijelaskan diatas maka biaya ini sangat dominan. Sesuai teori yang sudah dijelaskan di Bab II maka biaya *koagulan* dan *koagulan-aid* ini disebut biaya penggerak *primer (primary cost driver)* yaitu biaya yang menjadi variabel utama yang mempengaruhi biaya total.

Berdasarkan teori ekonomi teknik dan kondisi *riil* di lapangan untuk *koagulasi-flokulasi* maka diberikan data kebutuhan *koagulan* dan *koagulan-aid* untuk penggunaan dosis 100% (*riil* di lapangan) dan menggunakan prinsip perbandingan maka untuk alternatif keputusan terpilih yaitu dosis 40/60/80% dapat dihitung. Berikut disajikan data informasi kebutuhan biaya yang diambil dari Gambar 1.5.

Tabel 4.20 Biaya *Koagulan* dan *Koagulan-aid* PLTU Belitung Tahun 2017

| Zat Kimia | Dosis (%) | Biaya Pemakaian Bulan Ke- (juta rupiah) | | | | | | | | | | | | Estimasi Total Biaya (juta rupiah) |
|--|-----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Koagulan | | 34,2 | 31,7 | 27,9 | 33,3 | 22,3 | 17,6 | 9,9 | 8,6 | 11,3 | 13,5 | 16,7 | 15,1 | 242,01 |
| Koagulan Aid | 100 | 46,8 | 51,0 | 39,0 | 40,2 | 32,4 | 25,8 | 15,0 | 13,8 | 6,3 | 4,5 | 4,2 | 8,4 | 287,40 |
| Estimasi Total Biaya Pemakaian <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid Riil</i> di Lapangan | | | | | | | | | | | | | | 529,41 |

Sumber : Laboratorium kimia PLTU Belitung (2017)

Biaya pemakaian *koagulan-koagulan aid* adalah biaya *riil* dosis pembubuhan kimia di proses *pre-treatment water system*. Perhitungan kebutuhan didasarkan pada banyaknya konsentrat (*powder/liquid*) kimia sebelum diencerkan di *chemical dosing* seperti di Gambar 1.4. Dengan didapatkan data kebutuhan per bulan maka

jika harga per *packing* konsentrat diketahui maka biaya pemakaian *koagulan* dan *koagulan-aid* per bulan pun bisa diketahui. Berikut contoh perhitungannya:

(i) Perhitungan biaya *koagulan* Bulan Januari dosis 100%

- Total pemakaian *koagulan* Bulan Januari : 1.900 kg (Gambar 1.4)
- Harga *koagulan* : Rp 18.000/kg
- Sehingga, biaya pemakaian *koagulan* Bulan Januari : Rp 18.000/kg x 1.900 kg = Rp 34.200.000 (Gambar 1.5)

(ii) Perhitungan biaya *koagulan-aid* Bulan Januari dosis 100%

- Total pemakaian *koagulan-aid* Bulan Januari : 780 kg (Gambar 1.4)
- Harga *koagulan-aid* : Rp 60.000/kg
- Sehingga, biaya pemakaian *koagulan-aid* Bulan Januari : Rp 60.000/kg x 780 kg = Rp 46.800.000 (Gambar 1.5)

Alternatif keputusan terpilih sebanyak 14 buah didapatkan penggunaan dosis yang dianjurkan adalah 40/60/80%. Perhitungan perbandingan dilakukan untuk menentukan besaran biaya pemakaian yang ditimbulkan karena penurunan dosis tersebut. Berikut disajikan contoh perhitungannya:

(i) Perhitungan biaya *koagulan* Bulan Januari dosis 60%

- Biaya pemakaian *koagulan* Bulan Januari dosis 100% : Rp 34.200.000
- Sehingga, biaya pemakaian *koagulan* Bulan Januari dosis 60% : $(60\%/100\% \times \text{Rp } 34.200.000 = \text{Rp } 20.520.000$

(ii) Perhitungan biaya *koagulan-aid* Bulan Januari dosis 60%

- Biaya pemakaian *koagulan-aid* Bulan Januari dosis 100% : Rp 46.800.000
- Sehingga, biaya pemakaian *koagulan-aid* Bulan Januari dosis 60% : $(60\%/100\% \times \text{Rp } 46.800.000 = \text{Rp } 28.080.000$

Perhitungan seperti diatas juga diaplikasikan untuk penggunaan dosis 40% dan dari hasil perhitungan disajikan sesuai di Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

Tabel 4.21 Biaya *Koagulan* dan *Koagulan-aid* PLTU Belitung Dosis 60%

| Zat Kimia | Dosis (%) | Biaya Pemakaian Bulan Ke- (juta rupiah) | | | | | | | | | | | | Estimasi Total Biaya (juta rupiah) |
|---|-----------|---|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Koagulan | | 20,5 | 19,0 | 16,7 | 20,0 | 13,4 | 10,6 | 6,0 | 5,1 | 6,7 | 8,1 | 10,0 | 9,1 | 145,21 |
| Koagulan Aid | 60 | 28,1 | 30,6 | 23,4 | 24,1 | 19,4 | 15,5 | 9,0 | 8,3 | 3,8 | 2,7 | 2,5 | 5,0 | 172,44 |
| Estimasi Total Biaya Pemakaian <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> Dosis Sebesar 60% | | | | | | | | | | | | | | 317,65 |
| Potensi Penurunan Biaya Operasional Jika Penggunaan Dosis Sebesar 60% | | | | | | | | | | | | | | 211,76 |

Sumber : Perhitungan perbandingan dengan dosis standar

Tabel 4.22 Biaya *Koagulan* dan *Koagulan-aid* PLTU Belitung Dosis 40%

| Zat Kimia | Dosis (%) | Biaya Pemakaian Bulan Ke- (juta rupiah) | | | | | | | | | | | | Estimasi Total Biaya (juta rupiah) |
|---|-----------|---|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Koagulan | | 13,7 | 12,7 | 11,2 | 13,3 | 8,9 | 7,1 | 4,0 | 3,4 | 4,5 | 5,4 | 6,7 | 6,0 | 96,80 |
| Koagulan Aid | 40 | 18,7 | 20,4 | 15,6 | 6,1 | 13,0 | 10,3 | 6,0 | 5,5 | 2,5 | 1,8 | 1,7 | 3,4 | 114,96 |
| Estimasi Total Biaya Pemakaian <i>Koagulan</i> dan <i>Koagulan-aid</i> Dosis Sebesar 40% | | | | | | | | | | | | | | 211,76 |
| Potensi Penurunan Biaya Operasional Jika Penggunaan Dosis Sebesar 40% | | | | | | | | | | | | | | 317,65 |

Sumber : Perhitungan perbandingan dengan dosis standar

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab V ini dipaparkan tentang hasil dan pembahasan dari beberapa data yang sudah diolah dan dilakukan perhitungan menggunakan pendekatan metode MCDA. Pembahasan dijelaskan sesuai tujuan dari penulisan yang terbagi menjadi dua poin penting yaitu pemilihan alternatif terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* dan analisis keputusan yang diambil terhadap penurunan biaya operasional.

5.1 Pembahasan Hasil Data *Riil* di Lapangan saat Musim Hujan dan Air Laut Pasang

Berdasarkan hasil data *riil* di lapangan didapatkan data untuk produk keluaran *koagulasi-flokulasi (lamella clarifier)* di musim hujan hampir semua parameter belum memenuhi standar PLTU kecuali *conductivity* dan *pH* sesuai Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Perbandingan Standar Kualitas Air PLTU dengan Kondisi *Riil* di *Pre-Treatment Water System* di Musim Hujan

| Parameter Operasi | Satuan | Standar Kualitas Air PLTU | Kualitas Air <i>Riil</i> di Lapangan |
|---------------------|--------|---------------------------|--------------------------------------|
| <i>Turbidity</i> | NTU | <5 | 8,43 |
| <i>Conductivity</i> | μS/cm | <48.900 | 48.700 |
| <i>pH</i> | Nilai | 7-8 | 7,497 |
| <i>TSS</i> | mg/L | <10 | 10 |
| <i>TDS</i> | g/L | <24,2 | 24,2 |

Dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* yang digunakan di PLTU Belitung sudah sesuai rekomendasi produsen kimia namun sesuai data Tabel 5.1 didapatkan data bahwa produk keluaran *koagulasi-flokulasi* sebagian besar belum memenuhi kualitas air sesuai standar PLTU. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka konsep dosis optimal harus diperhatikan prinsipnya dimana dosis yang besar belum tentu menghasilkan sistem pengendapan lumpur yang bagus begitu juga dengan dosis kecil belum tentu juga menghasilkan sistem pengendapan yang tidak bagus. Teknik terbaik untuk mengetahui dosis optimal adalah *jar test* dengan

teknik penambahan sedikit demi sedikit *koagulan* dan *koagulan-aid* dengan mengukur *trending* parameter kualitas air yang dihasilkan. Dosis optimal ditandai dengan penambahan dosis tidak akan mempengaruhi/meningkatkan kualitas air dan bahkan membuat penurunan kualitas air.

Dengan hasil tersebut bisa disimpulkan bahwa sistem pengendapan di *lamella clarifier* dengan proses *koagulasi-flokulasi* saat kondisi musim hujan dan air laut pasang masih kurang efektif sehingga membutuhkan *adjust* dosis dan penentuan pola operasi (waktu tinggal dan putaran pengaduk di peralatan).

5.2 Pembahasan Hasil Data Ukur Jar Test untuk Beberapa Variabel Dosis

Percobaan *jar test* dilakukan sebanyak 48 buah dan diukur kualitas air menggunakan 5 parameter ukur sebelum dan sesudah proses *koagulasi-flokulasi*. Data yang didapatkan dari percobaan untuk setiap alternatif adalah 10 data hasil ukur kualitas air yang berbeda-beda satuan. Sesuai kondisi tersebut maka diperlukan penyetaraan satuan yang sudah dipaparkan di bab sebelumnya yaitu menghitung %kenaikan/penurunan nilai parameter (Pers. 3.1) dan sistem *skoring*.

Seleksi alternatif keputusan dilakukan terhadap 48 buah alternatif menggunakan pendekatan 2 teknik seleksi yaitu membandingkan hasil *jar test* dengan data *riil* di lapangan (jika hasil *jar test* lebih bagus atau sama dengan data *riil* di lapangan maka alternatif diterima) dan men-*sortir* nilai %kenaikan/penurunan nilai parameter yang tidak diharapkan (ditandai dengan tanda *minus* di perhitungan). Hasil seleksi alternatif keputusan didapatkan 14 buah alternatif.

5.3 Pembahasan Pembobotan Variabel Kriteria dengan Pendekatan Metode AHP

Teknik yang digunakan untuk penentuan pembobotan adalah sistem *pairwise* skala Saaty 1-9 dengan pengolahan data menggunakan pendekatan metode AHP. Perhitungan menggunakan bantuan *software EC11* dan didapatkan bobot kriteria dengan prioritas dua tertinggi menurut *expert judgment* yaitu *turbidity* dan *TSS*.

Kedua kriteria tersebut yang diusulkan memiliki peran vital dalam mengukur kualitas air produk keluaran *koagulasi-flokulasi* sehingga dalam analisa sensitivitas diperlukan perlakuan perubahan bobot untuk 2 kriteria tersebut. Analisa sensitivitas bertujuan untuk mengetahui perubahan ranking prioritas saat dimungkinkan terjadi perubahan keputusan penilaian.

5.4 Pembahasan Perbandingan 2 Metode MCDA untuk Pemilihan Ranking Prioritas

Berdasarkan hasil perhitungan di Bab IV untuk pemilihan ranking prioritas menggunakan pendekatan 2 pendekatan metode MCDA yaitu AHP dan AHP-TOPSIS. Metode AHP diketahui bahwa sistem keputusan sangat tergantung terhadap *expert judgment* sehingga jika data asli percobaan *jar test* digunakan untuk penentuan maka tidak bisa mewakili dan harus disetarakan dengan sistem *scoring* yang ditentukan oleh *expert judgment* sesuai kualifikasi tertentu. Sedangkan metode AHP-TOPSIS adalah menggabungkan kedua metode untuk mengatasi kelemahan masing-masing, dimana TOPSIS juga memiliki kelemahan dalam hal penilaian kriteria yang belum pasti dan tidak terukur sehingga dengan adanya penggabungan ini metode AHP berperan sebagai pemberi keputusan kriteria yang tidak pasti dan tidak terukur tersebut kemudian dengan TOPSIS yang memiliki kelebihan dalam menggunakan data asli *jar test* untuk penentuan ranking prioritas maka penerapan metode AHP-TOPSIS digunakan di makalah ini.

Berdasarkan perhitungan dengan pendekatan 2 metode yang berbeda yang disertai analisa sensitivitas didapatkan data sebagai berikut: **(i)** pendekatan metode AHP dengan urutan ranking prioritas yang cukup stabil saat diberikan perubahan bobot *turbidity* dan *TSS* sebesar +10%, +20% dan -10% didapatkan urutannya adalah alternatif ke-1 untuk $D_{60}W_{30}P_{80}$ dan alternatif ke-2 untuk $D_{40}W_{20}P_{80}$, **(ii)** sedangkan untuk pendekatan perpaduan metode AHP-TOPSIS didapatkan ranking prioritas yang cukup stabil dengan urutannya adalah alternatif ke-1 untuk $D_{60}W_{30}P_{80}$, alternatif ke-2 untuk $D_{40}W_{20}P_{80}$ dan alternatif ke-3 untuk $D_{40}W_{30}P_{40}$.

Perbandingan 2 metode tersebut diperlukan untuk mengetahui sejauh mana tingkat kepekaan rangking prioritas yang diusulkan untuk dipilih terhadap perubahan keputusan penilaian dan perbedaan metode yang digunakan. Berikut disajikan di Tabel 5.2 data hasil perbandingan 2 metode tersebut.

Tabel 5.2 Perbandingan Rangking Prioritas Metode AHP dan Perpaduan AHP-TOPSIS

| Rangking Prioritas | Urutan Rangking dengan Pendekatan Metode | |
|-----------------------|---|---|
| | AHP | AHP-TOPSIS |
| Rank 1 | D₆₀W₃₀P₈₀ | D₆₀W₃₀P₈₀ |
| Rank 2 | D₄₀W₂₀P₈₀ | D₄₀W₂₀P₈₀ |
| Rank 3 | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ |
| Rank 4 | D ₄₀ W ₃₀ P ₄₀ | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| Rank 5 | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₃₀ P ₈₀ |
| Rank 6 | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| Rank 7 | D ₆₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| Rank 8 | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ |
| Rank 9 | D ₄₀ W ₄₀ P ₄₀ | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ |
| Rank 10 | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₈₀ |
| Rank 11 | D ₄₀ W ₁₀ P ₆₀ | D ₈₀ W ₁₀ P ₆₀ |
| Rank 12 | D ₈₀ W ₂₀ P ₈₀ | D ₄₀ W ₄₀ P ₈₀ |
| Rank 13 | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ | D ₆₀ W ₁₀ P ₈₀ |
| Rank 14 | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ | D ₆₀ W ₂₀ P ₆₀ |

Kedua metode memiliki urutan rangking prioritas yang sama pada urutan dua teratas yaitu alternatif ke-1 untuk D₆₀W₃₀P₈₀ yang artinya dosis 60%, waktu tinggal 30 menit dan putaran pengaduk 80 rpm; dan alternatif ke-2 untuk D₄₀W₂₀P₈₀ yang artinya dosis 40%, waktu tinggal 20 menit dan putaran pengaduk 80 rpm. Kedua alternatif tersebut layak untuk diusulkan dipilih sebagai prioritas utama yang diharapkan mampu memperbaiki pola operasi pengolahan air di PLTU Belitung dan PLTU lain yang dikelola manajemen perusahaan.

5.5 Pembahasan Analisis Model Keputusan yang Diperoleh Terhadap Potensi Penurunan Biaya Operasional

Berdasarkan perhitungan analisa ekonomi teknik yang dipaparkan di Bab IV didapatkan informasi bahwa struktur pembiayaan sistem *koagulasi-flokulasi* di *pre-treatment water system* PLTU dikendalikan oleh variabel dosis sehingga variabel tersebut menjadi *cost driver*. Berdasarkan informasi tersebut, dosis *koagulan* dan *koagulan-aid* menjadi penentu dominan biaya total operasional pengolahan air. Dosis yang diperoleh dari model keputusan ini adalah dosis 60% dan 40%. Berikut analisis yang didapatkan dari model keputusan yang diperoleh terhadap potensi penurunan biaya operasional.

- i. Untuk alternatif $D_{60}W_{30}P_{80}$ yaitu dosis 60% maka potensi penurunan biaya operasional sebesar Rp211.760.000 per tahun (perhitungan berdasarkan perbandingan dengan dosis 100% riil di lapangan)
- ii. Untuk alternatif $D_{40}W_{20}P_{80}$ yaitu dosis 40% maka potensi penurunan biaya operasional sebesar Rp317.650.000 per tahun (perhitungan berdasarkan perbandingan dengan dosis 100% riil di lapangan)

Potensi penurunan biaya operasional selain dilihat dampaknya secara langsung terhadap penurunan kebutuhan *koagulan* dan *koagulan-aid* juga diperhitungkan dari aspek lainnya sebagai rangkaian pengolahan air sesudah proses *koagulasi-flokulasi* seperti pada tahap *desalination system* yaitu berkurangnya biaya untuk *cleaning membran RO* serta periode penggantian *membran RO* menjadi lebih lama. Selain itu juga berpengaruh pada tahap *demineralization system* yaitu umur *resin kation* dan *anion* menjadi lebih lama dan tidak mudah jenuh sehingga periode untuk *regenerasi resin* lebih panjang.

Berdasarkan potensi *saving cost* secara keseluruhan tersebut diharapkan usulan atas penelitian ini bisa digunakan untuk operasional sistem *koagulasi-flokulasi* di *pre-treatment water system* PLTU Belitung dan diharapkan berdampak pada penurunan biaya operasional.

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan untuk mencari alternatif terbaik proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* di *pre-treatment water system* PLTU menggunakan pendekatan metode MCDA yaitu AHP dan perpaduan AHP-TOPSIS didapatkan kesimpulan dan rekomendasi sebagai berikut.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini meliputi:

1. Alternatif terbaik proses dan operasi yang diusulkan untuk dipilih berdasarkan perbandingan 2 pendekatan metode yaitu AHP dan perpaduan AHP-TOPSIS dan sudah dilakukan analisa sensitivitas didapatkan urutan sebagai berikut :
 - Alternatif ke-1: D₆₀W₃₀P₈₀ dengan definisi yaitu proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* pada dosis 60%, waktu tinggal 30 menit dan putaran pengaduk 80 rpm
 - Alternatif ke-2: D₄₀W₂₀P₈₀ dengan definisi yaitu proses dan operasi *koagulasi-flokulasi* pada dosis 40%, waktu tinggal 20 menit dan putaran pengaduk 80 rpm
2. Analisis model keputusan yang diperoleh terhadap potensi penurunan biaya operasional berdasarkan perhitungan analisa ekonomi didapatkan data sebagai berikut:
 - Alternatif ke-1 yaitu D₆₀W₃₀P₈₀ untuk penggunaan dosis sebesar 60% maka potensi penurunan biaya operasional sebesar Rp211.760.000 per tahun
 - Alternatif terpilih ke-2 yaitu D₄₀W₂₀P₈₀ untuk penggunaan dosis sebesar 40% maka potensi penurunan biaya operasional sebesar Rp317.650.000 per tahun

6.2 Rekomendasi

Rekomendasi yang disarankan atas terlaksananya penelitian ini adalah :

1. Diharapkan untuk unit PLTU Belitung mencoba menjalankan rekomendasi yang didapatkan dari penelitian ini yaitu menjalankan alternatif ke-1 terlebih dahulu yaitu $D_{60}W_{30}P_{80}$ kemudian mengukur kualitas air yang dihasilkan untuk mengetahui peningkatan kualitas air dan jika bisa meningkatkan maka bisa dicoba untuk alternatif ke-2 yaitu $D_{40}W_{20}P_{80}$. Proses analisa keefektifan untuk alternatif ke-2 sama dengan alternatif ke-1 dan jika didapatkan kualitas air yang dihasilkan bisa meningkat maka alternatif ke-2 yang dipilih karena lebih efisien.
2. Untuk unit PLTU lain yang dikelola perusahaan bisa menggunakan informasi variabel proses dan operasi *koagulan* dan *koagulan-aid* selain %dosis untuk pengolahan air tahap awal (*pre-treatment water system*) yaitu waktu tinggal dan putaran pengaduk. Alternatif ke-1 yang direkomendasikan adalah waktu tinggal efektif *koagulan-aid* 30 menit dengan putaran pengaduk 80 rpm. Percobaan tersebut dilanjutkan dengan mengukur kualitas airnya dan jika terjadi peningkatan maka waktu tinggal bisa diturunkan menjadi 20 menit dengan putaran pengadukan tetap 80 rpm. Alternatif ke-2 ini juga dilihat keefektifannya menggunakan pengukuran kualitas air. Jika alternatif ke-2 ini ternyata bisa meningkatkan kualitas air maka dipilih untuk digunakan karena lebih efektif.
3. Berdasarkan pada asumsi untuk pengeluaran biaya dalam operasional *koagulasi-flokulasi* dibuat sama selain biaya *koagulan* dan *koagulan-aid* di penelitian ini. Maka disarankan untuk biaya tersebut digunakan biaya riil di pengolahan air PLTU sehingga kemungkinan potensi penurunan biaya operasional sesuai analisa ekonomi teknik akan menghasilkan data informasi yang lebih valid dan bisa digunakan oleh manajemen perusahaan dalam rangka *operational cost reduction*.
4. Sistem *skoring* di penelitian ini memakai acuan yang sangat kecil interval antara *skor*-nya dan dikhawatirkan terjadi salah penafsiran untuk *skor* yang

mendekati. Oleh karena itu, direkomendasikan pemakaian *fuzzy system* untuk menyempurnakan kelemahan yang mungkin terdapat di penelitian.

5. Untuk pengembangan lebih lanjut atas hasil penelitian ini, masih diperlukan adanya penelitian lanjutan yang lebih bersifat *pilot experiment test* sebagai proses kalibrasi atas simulasi sistem untuk meningkatkan validitas atas hasil yang direkomendasikan dari penelitian ini.

HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Angreni, Endah. (2002). *Aplikasi Pendekatan Metoda Program Dinamis dan Analisa Efektifitas Biaya untuk Optimasi Koagulasi-Flokulasi pada Proses Produksi Pengolahan Air Bersih di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)*. **Laporan Penelitian Program Studi Pascasarjana Jurusan Teknik Industri**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Armon., dan Ciptomulyono, U. (2016). *Selecting Liquid Lifting Technology for XY Mature Gas Field using Fuzzy AHP and TOPSIS*. **Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIV**. Program Studi MMT-ITS, Surabaya 23 Januari 2016.
- Ayag, Z., dan Ozdemir, R. (2012). *Evaluating Machine Tool Alternatives Through Modified and Alpha-Cut Based Fuzzy ANP*. **International Journal of Production Economics**, Vol. 140, pp. 630-636.
- Bella, G., Giustra, M., dan Freni, G. (2014). *Optimisation of Coagulation/Flocculation for Pre-treatment of High Strength and Saline Wastewater : Performance Analysis with Different Coagulant Doses*. **Chemical Engineering**, Vol. 254, pp. 283-292.
- Beltran, P., Gonzalez, F., Ferrando, J., dan Rubio, A. (2014). *An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-Based Multi-Criteria Decision Approach for the Selection of Solar-Thermal Power Plant Investment Projects*. **Energy**, Vol. 66, pp. 222-238.
- Beltran, P., Roca, J., Pia, A. Melon, M., dan Ruiz, E. (2009). *Application of Multicriteria Decision Analysis to Jar Test Result for Chemicals Selection in the Physical-Chemical Treatment of Textile Wastewater*. **Hazardous Materials**, Vol. 164, pp. 288-295.
- Bilotta, G., dan Brazier, R. (2008). *Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota*. **Journal of Review**, Vol. 42, pp. 2849-2861.

- Blake, W., dan Edward, S. (1975). *The Effect of Alum Concentration and Chemical Addition on Coagulation*. **American Water Works Association**, Vol. 77, Issue 4, pp. 138-146.
- Boughou, N., Majdy, I., Cherkaoul, E., Khamar, M., dan Nounah, A. (2016). *The Physico-Chemical Treatment by Coagulation-Flocculation Releases of Slaughterhouse Wastewater in the City of Rabat (Morocco)*. **Journal of CODEN (USA) : PCHHAX**, Vol. 8(19), pp. 93-99.
- Butarbutar, I., Varianemil, D., dan Sanwani, E. (2013). *Influence f Variation Dosage of Chemical Reagents in the Turbidity of Overflow from Sedimentation Process at Dewatering Plant of PT. Freeport Indonesia*. **Proceeding of The International Sysposium on Earth Science and Technology, Procedia Earth and Planetary Science**, Vol. 6, pp. 287-294.
- Chang, K., Liao, S., Tseng, T., dan Liao, C. (2015). *An ANP Based TOPSIS Approach for Taiwanese Service Apartment Location Selection*. **Asia Pacific Journal of Management Review**, Vol. 20, pp. 49-55.
- Ciptomulyono, Udisubakti. (2006). *Model Pendukung Keputusan untuk Pemilihan Proyek Pembangkit Listrik : Integrasi Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dan Zero One Goal Proramming*. **The 4th Indonesian Symposium on Analytic Hierarchy Process**, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Ciptomulyono, Udisubakti. (2008). *Fuzzy Goal Programming Approach for Deriving Priority Weights in the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method*. **Applied Sciences Research**, Vol. 4(2), pp. 171-177.
- Ciptomulyono, Udisubakti. (2010). *Paradigma Pengambilan Keputusan Multikriteria dalam Perspektif Pengembangan Proyek dan Industri yang Berwawasan Lingkungan*. **Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Bidang Ilmu Pengambilan Keputusan Multikriteria**, Jurusan Teknik Industri, ITS-Surabaya.

- Ciptomulyono, U., Suparno., dan Yayin, Y. (2010). *Integrasi Pendekatan Fuzzy ANP dan TOPSIS dalam Permasalahan Pemilihan Logistic Service Provider dengan Memepertimbangkan Benefir, Opportunities, Cost, Risk.* **Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XII**, Program Studi MMT ITS, Surabaya 07 Agustus 2010.
- Culp, Gordon, L., dan Russel, C. (1974). **New Concept in Water Purification.** Van Nostrand Reinhold Company.
- Daud, Z., Awang, H., Latif, A., Nasir, N., Ridzuan dan M., dan Ahmad, Z. (2015). *Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes.* **Proceeding of The World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, Procedia Social and Behavioral Sciences**, Vol. 195, pp. 2407-2411.
- Degarmo, E.P et al. (1997). **Engineering Economy, Tenth Edition.** New Jersey Prentice Hall, Inc.
- Djajadiningrat, Surna T. (1983). *The Economic of Water Pollution Control : A Case Study of Bandung Indonesia.* **A Dissertation Doctor of Philosophy in Agricultural and Resources Economics**, University of Hawaii.
- Engelhardt, T. (2014). **Coagulation, Flocculation and Clarification of Drinking Water.** HACH Company.
- Greville, A. (1997). *How to Select a Chemical Coagulant and Flocculant.* **22th Annual Seminar, Alberta Water & Wastewater Operators Association.** 11-14 Maret.
- Hufschmidt, M.M., D, James., A, Meister., B.T, Bower., dan J.A Dixon. (1981). **Benefit Cost Analysis of Natural System and Environmental Quality Aspect of Development : A Guideto Application in Developing Countries.** Honolulu, Hawaii, East-West Center, East-West Environment and Policy Institute.

- Hwang, C.L dan Yoon, K. (1981). **Multiple Attribute Decision Making : Methods and Applications**. New York, Springer-Verlag.
- Kawamura, Susumu. (1976). *Consideration on Improvement Flocculation*. **American Water Works Association**, Vol. 68, pp. 328-336.
- Kore, G., dan Kulkarni, K. (2011). *A Short Review on Process and Applications of Reverse Osmosis*. **Environmental Research and Technology**, Vol. 1, Issue 3, pp. 233-238.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A.,Deng, Y., He, X., Kumar, P., dan Bansal, R. (2017). *A Review of Multi Criteria Decision Making (MCDM) Towards Sustainable Renewable Energy Development*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 69, pp. 596-609.
- Miser, Hugh J., dan Quade, Edward S. (1988). **Handbook of System Analysis : Craft Issues and Procedural Choice**. 1st edition. New York, John Willey & Sons Ltd.
- Morteza, Z., Reza, F., Seddiq, M., Sharareh, P., dan Jamal, G. (2016). *Selection of the Optimal Tourism Site using the ANP and Fuzzy TOPSIS in the Framework of Integrated Coastal Zone Management : A Case of Qeshm Island*. **Ocean & Coastal Management**, Vol. 130, pp.179-187.
- Norli, Y., Alkarkhi, A., dan Morad, N. (2010). *Characterization of Biopolymeric Flocculant (Pectin) and Organic Synthetic Focculant (PAM): A Comparative Study on Treatment and Optimization in Kaolin Suspension*. **Bioresource Technology**, Vol. 101, pp. 1166-1174.
- Ozcan, E.C., Unlusoy, S., dan Eren, T. (2017). *A Combined Gial Programming – AHP Approach Supported with TOPSIS for Maintenance Strategy Selection in Hydroelectric Power Plants*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 78, pp. 1410-1423

- Pangarkar, B., Sane, M., dan Guddad, M. (2011). *Reverse Osmosis and Membrane Distillation for Desalination of Groundwater*. **Review Article**, Vol. 10, pp. 01-09.
- Rahbar, M., Alipour, E., Sedighi, R., Sajad, S., dan Mohamadiani, M. (2014). *Effect of pH on Separation of Solid Content from Pain Contained wastewater by Coagulant-Flocculant Compound*. **Chemical Health Risks**, Vol. 4(1), pp. 37-43.
- Sakhtivel, G., Ilangkumaran, M., dan Gaikwad, A. (2014). *A Hybrid Multi-Criteria Decision Modelling Approach for the Best Biodiesel Blend Selection Based on ANP-TOPSIS Analysis*. **Ain Shams Engineering Journal**, Vol. 6, pp 239-256.
- Saaty, Thomas L. (1996). **Decision Making with Dependence and Feedback : The Analytic Network Process**. Pittsburgh : RWS Publication.
- Saaty, Thomas L. (2008). *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*. **International Services Sciences**, Vol. 1 No. 1. University of Pittsburgh, USA.
- Suparno., dan Yuli, M. (2015). *Pengembangan Model Performance Measurement dengan Integrasi Metode Balance Scorecard, ANP dan TOPSIS*. **Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII**, Program Studi MMT-ITS Surabaya.
- Suryadi, K., dan M.A Ramdhani. (1998). **Sistem Pendukung Keputusan**. PT Remaja Rosdakarya, Bandung.
- Thuesen, G.J., dan W.J, Fabrycky. (1993). **Engineering Economy, Eighth Edition**. New Jersey : Prentice Hall International, Inc.
- Turban, E. J.E. Aronson., dan T.P Liang. (2005). **Decision Support Systems and Intelligent Systems**. Pearson Education.
- Zak, Jacek., dan Kruszynski, Miroslaw. (2015). *Application of AHP and ELECTRE III/IV Methods to Multiple Level, Multiple Criteria Evaluation of*

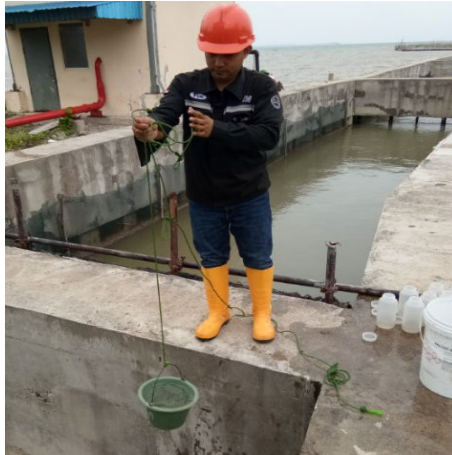
Urban Transportation Projects. **18th Euro Working Group on Transportation**, EWGT 2015, 14-16 July 2015, Delft, The Netherlands.

LAMPIRAN I

PROSES PERCOBAAN

Berikut lampiran proses pengambilan sampel, pengukuran sampel dan percobaan *jar test* di PLTU Belitung.

1. Proses Pengambilan Sampel Air Laut di *Sea Water Intake Canal*



2. Proses Penuangan Sampel Air Laut ke Botol Sampel Plastik



HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

3. Proses Pengambilan Zat Koagulan



4. Proses Pengambilan Zat Koagulan-aid



5. Proses Pengukuran Kualitas Air Sebelum *Treatment Koagulasi-Flokulasi*

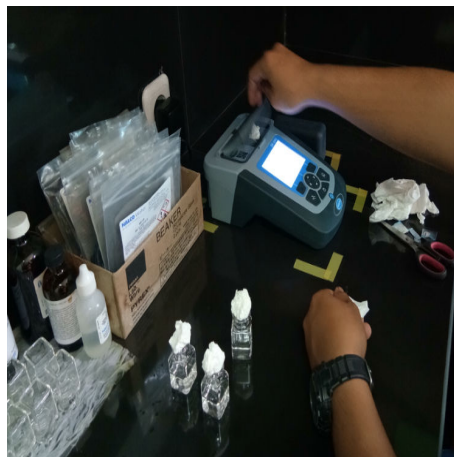


HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

6. **Pembubuhan Zat Koagulan dan Koagulan-aid di Sampel Air Laut**



7. **Proses Pengukuran Kualitas Air Sesudah *Treatment Koagulasi-Flokulasi***



HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

LAMPIRAN II

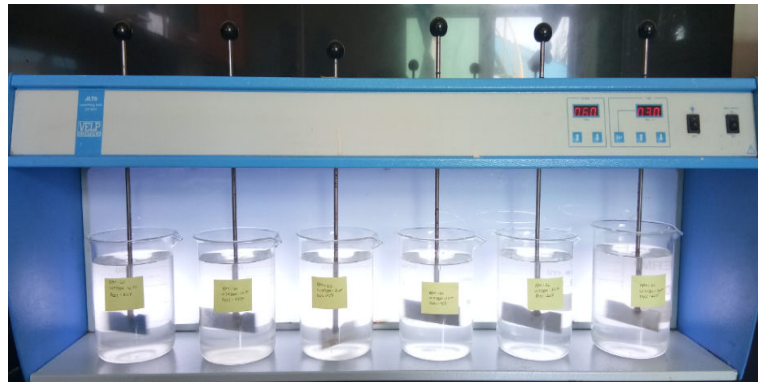
ALAT DAN BAHAN PERCOBAAN

Berikut lampiran untuk alat dan bahan percobaan yang digunakan selama kegiatan *jar test* di PLTU Belitung.

1. Botol Sampel Plastik



2. Jar Test Kit-6 Paddle di Laboratorium Kimia PLTU Belitung

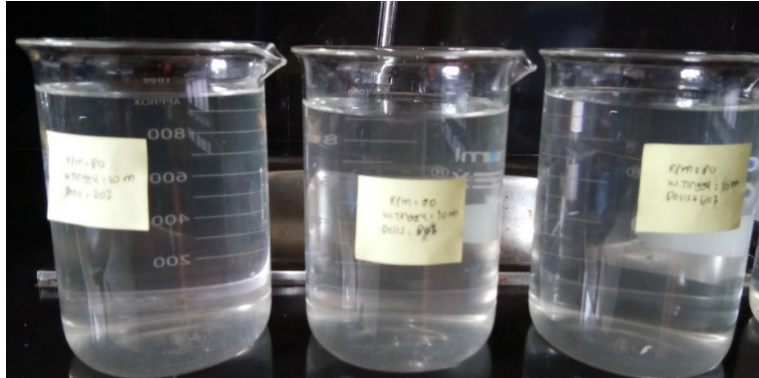


3. Analytic Pippete Volume - M100 10-100 μ L



HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

4. Beaker Glass 1L



5. Turbidity meter - ORION AQ3010



6. TSS meter - HACH DR 1900



HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

7. Conductivity meter - METTLER TOLEDO



8. pH meter dan TDS meter - LAQUA HORIBA



9. Neraca Analytic - KERN



HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

13. Koagulan-Alumunium Hydroxychloride



14. Koagulan-aid-Polyacrylamide Anionic (PAM)



HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN

BIOGRAFI PENULIS



- Nama** : Yuni Eko Feriyanto
- Tempat/Tanggal Lahir** : Blitar, 30 Juni 1989
- Riwayat Pendidikan** :
MI Roudlotun Nasyiin Purwokerto - Blitar
MTs Negeri Kunir - Blitar
SMA Negeri 1 Srengat - Blitar
S1 Teknik Kimia ITS - Surabaya
- Riwayat Pekerjaan** :
PT. Honda Prospect Motor - Karawang
(Divisi Painting)
PT Metabisulphite Nusantara - Gresik
(Divisi R&D dan Technical Support)
PT PJB Services - Sidoarjo
(Divisi Enjiniring Kimia Uap dan Air PLTU)
- Email** : YE.Feriyanto@gmail.com
- Website Pribadi** :
www.caesarvery.com
www.caesarvery.blogspot.com