

**STUDI PENGARUH PERLAKUAN KIMIA PADA PENGOLAHAN AIR
UMPAN BOILER TERHADAP PENGHEMATAN PEMAKAIAN
ENERGI LISTRIK DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**

Tesis

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Pendidikan Strata Dua (S-2)
sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



Disusun Oleh :

**MOHAMMAD SIDIK
30000421410010**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

DESEMBER 2022

PERSETUJUAN UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini. Dosen Pembimbing dari :

Mahasiswa : Mohammad Sidik
NIM : 30000421410010
Program Studi : Magister Energi
Judul Tesis : Studi Pengaruh Perlakuan Kimia pada Pengolahan Air Umpan
Boiler terhadap Penghematan Pemakaian Energi Listrik di
Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal dan Ujian Seminar Hasil sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tesis.

Semarang, 28 Desember 2022

Pembimbing Pertama

Pembimbing Kedua

Prof . Dr. Dipl. Ing. Berkah Fajar T.K
NIP. 195907221987031003

Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, S.T., M.Sc., IPU.
NIP. 197510281999031004

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Semarang, 28 Desember 2022

Mohammad Sidik
NIM. 30000421410010

PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mohammad Sidik
NIM : 30000421410010
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Studi Pengaruh Perlakuan Kimia pada Pengolahan Air Umpan Boiler terhadap Penghematan Pemakaian Energi Listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Uap.”

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di: Semarang
Pada Tanggal, 29 Desember 2022
Yang menyatakan

Mohammad Sidik
3000042141001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan karuniaNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan tesis yang berjudul “Studi Pengaruh Perlakuan Kimia Pada Pengolahan Air Umpan Boiler Terhadap Penghematan Pemakaian Energi Listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Uap”. Laporan tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Master Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan Laporan Tesis ini yaitu kepada:

1. Dr. RB Sularto, S.H., M.Hum selaku Dekan Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, Asean.Eng selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Prof. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK selaku Pembimbing I atas segala waktu, bimbingan, dan arahan selama penyusunan laporan tesis ini.
4. Prof. Dr. Hadiyanto, ST, MSc, IPU selaku Pembimbing II atas segala waktu, bimbingan, dan arahan selama penyusunan laporan tesis ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan ilmunya.
6. Rekan - rekan Magister Energi Gasal 2021 yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
7. Nuriyatul Ulwiyah, Riana Kurnia Dewi, Allysia Alwa Shidqia dan Abrina Zahra Shidqia yang selalu menjadi semangat, motivasi dan doa kepada penulis.
8. Anang Harijadi, Erlyna Mediasri S dan keluarga di kamar yang selalu support dan memberikan motivasi kepada penulis.
9. Trio Gatot Widoyoko dan chemist team (David,lelie,Vera dan Fara) yang selalu support kepada penulis
10. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Laporan Tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan Laporan Tesis ini kearah yang lebih baik. Semoga segala yang tertuang dalam laporan Tesis ini memberikan manfaat bagi kita

semua baik sekarang maupun dimasa akan datang. Mudah-mudahan usaha penyusunan laporan Tesis ini memperoleh ridha dari Allah SWT. Amin.

Semarang, 30 Desember 2022

(Mohammad Sidik)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Persetujuan Ujian Tesis.....	ii
Pernyataan Orisinalitas	iii
Halaman Pengesahan Tesis.....	iv
Pernyataan Persetujuan Publikasi Tesis Untuk Kepentingan Akademis	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Lampiran.....	xiv
Arti Lambang Dan Singkatan	xv
Intisari	xvi
Abstract.....	xvii

Bab I Pendahuluan Error! Bookmark not defined.

<u>1.1. Latar Belakang</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>1.2. Perumusan Masalah</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>1.3. Tujuan Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>1.4. Manfaat Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>1.5. Originalitas Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.

Bab II Tinjauan Pustaka Error! Bookmark not defined.

<u>2.1. Dasar – Dasar PLTU</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>2.2. Condensate Polishing Plant</u>	11
<u>2.3. Waste Water Treatment Plant</u>	19
<u>2.4. Ammonia Removal Plant</u>	20
<u>2.5. Sejarah Metode Pengolahan air pada air umpan boiler</u>	22
<u>2.6. All Volatile Treatment (AVT)</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>2.7. Combined Water Treatment (CWT)</u>	26

2.8. Efisiensi Energi	Error! Bookmark not defined.
2.9. Energi Listrik	31
2.10. Perhitungan Emisi berdasarkan penggunaan listrik	32
Bab III Metode Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.1. Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2. Jenis Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3. Kerangka Pikir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4. Ruang Lingkup Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.5. Jenis dan Sumber Data	Error! Bookmark not defined.
3.6. Teknik Pengumpulan Data	Error! Bookmark not defined.
3.7. Teknik Analisa Data	Error! Bookmark not defined.
Bab IV Hasil dan Pembahasan	49
4.1. Pengukuran Kualitas Air dan Uap	49
4.2. Pengukuran Efisiensi Boiler	52
4.3. Frekuensi Regenerasi di Condensate Polishing Plant	56
4.4. Pemakaian Bahan Kimia untuk Air Umpan Boiler	58
4.5. Pemakaian Bahan Kimia untuk CPP Regenerasi	60
4.6. Perhitungan Kebutuhan Energi Listrik untuk Produksi Air Demin	62
4.7. Perhitungan Kebutuhan Energi Listrik untuk Pengolahan Air Limbah	63
4.8. Perbandingan Data Energi Listrik ketika AVT dan CWT	63
4.9. Perhitungan Emisi CO ₂	64
Bab V Kesimpulan	67
5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	67
Daftar Pustaka	68
Lampiran A	75

Lampiran B 81
Lampiran C 87
Lampiran D 90
Lampiran E..... 92
Lampiran F..... 97
Lampiran G 104

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Bahan Kimia dan parameter yang digunakan sebagai air umpan boiler	3
Tabel 1.2 Ringkasan penelitian terdahulu	6
Tabel 2.1 Spesifikasi Demin Water	9
Tabel 2.2 Siklus Operasi dari Polisher Mixed Bed.....	10
Tabel 2.3 Tahapan Resin transfer Out	12
Tabel 2.4 Tahapan Resin transfer In.....	13
Tabel 2.5 Tahapan Resin Separation	13
Tabel 2.6 Tahapan Cation Regenerasi	14
Tabel 2.7 Tahapan Anion Regenerasi.....	15
Tabel 2.8 Tahapan Cation Resin Transfer	15
Tabel 2.9 Tahapan Anion Resin Transfer	16
Tabel 2.10 Tahapan Resin Mixing.....	16
Tabel 2.11 Identifikasi masalah pada PLTU dengan pengolahan airnya	17
Tabel 2.12 Pengolahan air pada BFW dan Boiler water.....	20
Tabel 2.13 Boiler feed water treatment pada once through boiler.....	22
Tabel 2.14 Faktor Emisi Sistem Ketenagalistrikan.....	27
Tabel 3.1. Jadwal penelitian.....	29
Tabel 4.1. Data selama All Volatile Treatment (AVT)	47
Tabel 4.2. Data selama Combine Water Treatment (CWT)	48
Tabel 4.3. Tabel hasil pengukuran T-Iron ketika All Volatile Treatment	48
Tabel 4.4. Tabel hasil pengukuran T-Iron ketika Combine Water Treatment.....	48
Tabel 4.5. Hasil efisiensi boiler pada load 50, 75 dan 100 %	49
Tabel 4.6. Pemakaian Bahan kimia Pada saat AVT dan CWT.....	59
Tabel 4.7.Total biaya bahan kimia air umpan boiler saat AVT dan CWT	60
Tabel 4.8. Pemakaian Bahan kimia untuk regenerasi saat AVT.....	60
Tabel 4.9. Pemakaian Bahan kimia untuk regenerasi saat CWT	61
Tabel 4.10. Total Biaya Bahan kimia untuk regenerasi saat AVT	61
Tabel 4.11. Total Biaya Bahan kimia untuk regenerasi saat CWT.....	62
Tabel 4.12. Energi Listrik dari Proses Produksi Air Demin	62
Tabel 4.13. Energi Listrik dari Pengolahan Air Limbah Proses Regenerasi	63
Tabel 4.14. Rata - rata volume air demin yang dibutuhkan dan limbah yang dihasilkan dari proses regenerasi.....	64
Tabel 4.15. Total Energi Listrik perbulan pada saat AVT dan CWT	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Pembangkitan tenaga listrik berdasarkan pemilik dan jenis	1
Gambar 2.1. Skema PLTU Ultra Supercritical Boiler	8
Gambar 2.2 Skema Water Treatment Plant	9
Gambar 2.3. Sejarah Boiler Feed Water Treatment pada PLTU	14
Gambar 2.4. Mekanisme layer yang dibentuk pada proses AVT	15
Gambar 2.5. Mekanisme layer yang dibentuk pada proses OT / CWT	17
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian PLTU XYZ di Jepara, Jawa Tengah	20
Gambar 3.2. Kerangka penelitian	22
Gambar 3.3. Condensate Polishing Plant.....	23
Gambar 3.4. pH dan Conductivity meter HQ30D	25
Gambar 3.5. UV-VIS DR-6000	25
Gambar 3.6. Aplikasi Internal untuk Boiler Efisiensi.....	25
Gambar 3.7. HMI dari Condensate Polishing Plant.....	26
Gambar 3.8. Pressure Oksigen Cradle	27
Gambar 3.9. Ammonia Dosing System	27
Gambar 3.10. Bahan Kimia untuk Regenerasi.....	28
Gambar 3.11. Totalizer dari CPP	28
Gambar 3.12. Level CPP Regeneration Ammonia & Waste Water Sump.....	29
Gambar 3.13. Totalizer Produksi Air Demin.....	29
Gambar 3.14. Totalizer dari WTP dan ARP	30
Gambar 3.15. Arus (A) dan Tegangan (V) Listrik dari WTP, WWTP dan CPP...	30
Gambar 4.1. Grafik pH ketika All Volatile Treatment (AVT)	41
Gambar 4.2. Grafik pH ketika Combine Water Treatment (CWT)	46
Gambar 4.3. Grafik load 50 % ketika AVT	49
Gambar 4.4. Grafik load 75 % ketika AVT	49
Gambar 4.5. Grafik load 100 % ketika AVT	50
Gambar 4.6. Grafik load 50 % ketika CWT	50
Gambar 4.7. Grafik load 75 % ketika AVT	51
Gambar 4.8. Grafik load 100 % ketika AVT	51
Gambar 4.9. Jumlah Regenerasi Polisher Mixed Bed Selama All Volatile Treatment (AVT).....	52

Gambar 4.10. Jumlah Regenerasi Polisher Mixed Bed Selama Combined Water Treatment (CWT).....	52
Gambar 4.11. Perbandingan hasil aktual dan teori kondisi AVT	57
Gambar 4.12. Perbandingan hasil aktual dan teori kondisi CWT.....	57
Gambar 4.13. Grafik Load (MW) dengan CO ₂ Konsentrasi (%)	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data Sheet Peralatan	75
Lampiran B Data Hasil Analisa pH dan Fe selama AVT dan CWT	81
Lampiran C Efisiensi Boiler Load 50 %, 75 % dan 100 % AVT dan CWT	87
Lampiran D Kualitas Air Outlet PMB selama AVT dan CWT	90
Lampiran E Perhitungan Waktu Regenerasi Berdasarkan Teori	92
Lampiran F Perhitungan Energi Listrik	87
Lampiran G Produksi Air Demin dan Pengolahan Limbah	104

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1.	$\mu\text{s/cm}$:	Micro siemens per cm, Satuan Konduktivitas
2.	%	:	Persen
3.	Cu	:	Ion Tembaga
4.	Fe	:	Ion Besi
5.	I	:	Arus, Satuan Arus
6.	l	:	Liter, Satuan ukuran yang digunakan untuk mengukur volume
7.	V	:	Volt, Satuan Tegangan
8.	meq	:	Milli equivalen, Satuan yang digunakan untuk berat ekivalen
9.	meq/l	:	Milli equivalen per liter
10.	mm	:	Milimeter
11.	Watt	:	Satuan Daya Listrik
12.	m^3	:	Meter kubik, Satuan ukuran yang digunakan untuk mengukur volume
13.	m^3/hr	:	Meter kubik per jam, satuan aliran
14.	mV	:	Milli Volt
15.	ORP	:	Oxidation Reduction Potential
16.	SiO_2	:	Ion Silica
17.	ACE	:	ASEAN Center of Energy
18.	ASEAN	:	Association of Southeast Asian Nations
19.	ARP	:	Ammonia Removal Plant
20.	ARV	:	Anion Resin Vessel
21.	AVT	:	All Volatile Treatment
22.	AVT(R)	:	All Volatile Treatment (Reduksi)
23.	AWT	:	Alkali Water treatment
24.	BFW	:	Boiler Feed Water
25.	BWRO	:	Brackish Water Reverse Osmosis
26.	C	:	Celcius
27.	CEP	:	Condensate Extraction Pump
28.	CO_2	:	Carbon dioksida
29.	CPP	:	Condensate Polishing Plant
30.	CRV	:	Cation Resin Vessel
31.	CT	:	Caustic Treatment
32.	CWT	:	Combined Water Treatment
33.	DCS	:	Distributed Control System merupakan suatu platform untuk suatu sistem dengan kontrol dan operasi otomatis atau proses industri
34.	ESDM	:	Energi dan Sumber Daya Mineral
35.	EPRI	:	Electric Power Research Institute
36.	FAC	:	Flow Accelerated Corrosion

37.	Fe	:	Ion Besi
38.	HCL	:	Hydrochloric Acid
39.	H ₂ SO ₄	:	Asam Sulfat
40.	ISV	:	Interface Separation Vessel
41.	JIS	:	Japan Industrial Standard
42.	kWH	:	Kilo Watt Hours
43.	LSH	:	Level Switch High
44.	NWT	:	Normal Water Treatment
45.	NaOCl	:	Sodium Hypochlorite
46.	NaOH	:	Natrium Hydroxide
47.	OT	:	Oxygen Treatment
48.	PEEN	:	Penghargaan Efisiensi Energi Nasional
49.	pH	:	Derajat Keasaman
50.	PI	:	Portofolio perangkat lunak terintegrasi untuk mengumpulkan, menyimpan, melihat, menganalisis, dan berbagi data operasional dengan pengguna di dalam dan di luar perusahaan
51.	PLN	:	Perusahaan Listrik Negara
52.	PLTU	:	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
53.	PLTN	:	Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
54.	PMB	:	Polisher Mixed Bed
55.	PP	:	Peraturan Pemerintah
56.	PPB	:	Part Per Billion
57.	PPM	:	Part Per Million
58.	PT.YTL	:	Perusahaan bergerak dalam bidang Operation and Maintainance
59.	PT	:	Phosphate Treatment
60.	RMV	:	Resin Mixing Vessel
61.	RO	:	Reverse Osmosis
62.	SC	:	Specific Conductivity
63.	SWRO	:	Sea Water Reverse Osmosis
64.	USA	:	Amerika Serikat
65.	MW	:	Mega Watt

INTISARI

Boiler merupakan bagian penting dari PLTU. Untuk menjaga agar boiler tetap beroperasi tanpa masalah, pemilihan pengolahan air umpan boiler yang tepat sangat penting. PLTU XYZ unit 5 memiliki dua rekomendasi pengolahan air umpan boiler dari manufaktur yaitu *All Volatile Treatment* (AVT) dan *Combined Water Treatment* (CWT). Pemilihan penggunaan air umpan boiler tidak hanya berpengaruh pada pencegahan korosi dan meminimalkan deposit pada sisi boiler tetapi juga berpengaruh pada penggunaan energi listrik di *Condensate Polishing Plant*. Metode penelitian ini adalah membandingkan frekuensi regenerasi *Condensate Polishing Plant*, Menghitung air demin yang digunakan untuk regenerasi *Condensate Polishing Plant* (m³), Hitung limbah yang dihasilkan dari regenerasi *Condensate Polishing Plant* (m³), Hitung total energi listrik yang digunakan dibandingkan saat menggunakan *All Volatile Treatment* (AVT) dan *Combined Water Treatment* (CWT) dan Membandingkan emisi CO₂ saat menggunakan *All Volatile Treatment* (AVT) dan *Combined Water Treatment* (CWT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *Combined Water Treatment* (CWT) dapat mengurangi regenerasi total sekitar 56%, *Combined Water Treatment* (CWT) dapat mengurangi biaya kimia Rp 102.808.500 dibandingkan dengan menggunakan *All Volatile Treatment* (AVT). *Combined Water Treatment* (CWT) konsumsi listrik lebih rendah sebesar 370,28 MW/bulan atau 4,44 GW/tahun dibandingkan dengan menggunakan *All Volatile Treatment* (AVT). Penggunaan *combined water treatment* (CWT) dapat mengurangi CO₂ emissions sebesar 3,865.72 tonsCO₂ / tahun berdasarkan perhitungan ESDM dan 3,563.57 tonsCO₂ / tahun berdasarkan data CEMS PLTU XYZ dibandingkan ketika menggunakan *All Volatile Treatment* (AVT).

Kata Kunci : Semua Perawatan Volatile, Pengolahan Air Gabungan, Penghematan Energi, Pabrik Poles Kondensat

ABSTRACT

Boiler is an important part of Coal Fired Power Plant. In order to keep the boiler operating without problems the selection proper of boiler feed water treatment is very important. Coal Fired Power plant of XYZ unit 5 have two boiler feed water treatment recommendations from manufacture is All Volatile Treatment (AVT) and Combined Water treatment (CWT). The selection of the use of boiler feed water does not only affect prevent corrosion and minimize deposit the boiler side but also affects the use of electrical energy in the condensate polishing plant. This research method is to compare the frequency of regeneration of Condensate Polishing Plant, Calculate demin water used to regeneration of Condensate Polishing Plant (m³), Calculate the waste generated from regeneration of Condensate Polishing Plant (m³), Calculate the total electrical energy used, compare electrical energy when using All Volatile Treatment (AVT) and Combined Water Treatment (CWT) and Comparing CO₂ emissions when using All Volatile Treatment (AVT) and Combined Water Treatment (CWT). The results showed that the use of Combined Water Treatment (CWT) can reduce total regeneration by around 56%, Combined Water Treatment (CWT) can reduce chemical costs Rp. 102,808,500 compared to using All Volatile Treatment (AVT). Combined Water Treatment (CWT) lower electricity consumption of 370.28 MW/month or 4.44 GW/year compared to using All Volatile Treatment (AVT). The use of combined water treatment (CWT) can reduce CO₂ emissions by 3,865.72 tons CO₂ / year based on ESDM calculations and 3,563.57 tonsCO₂ / year based on CEMS PLTU XYZ data compared to when using All Volatile Treatment (AVT).

Keyword : *All Volatile Treatment, Combined Water Treatment, Energy Savings, Condensate Polishing Plant*