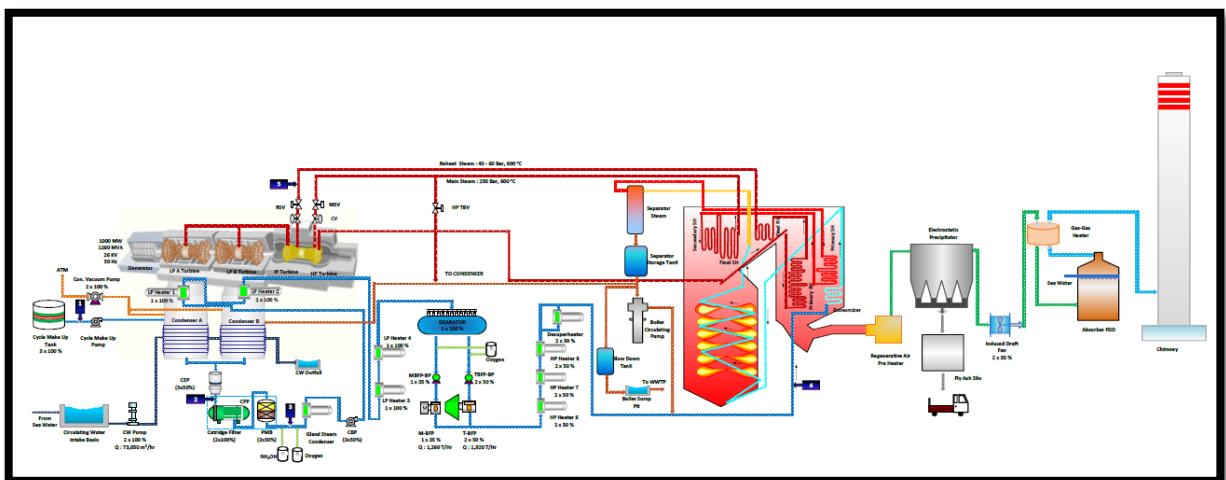


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

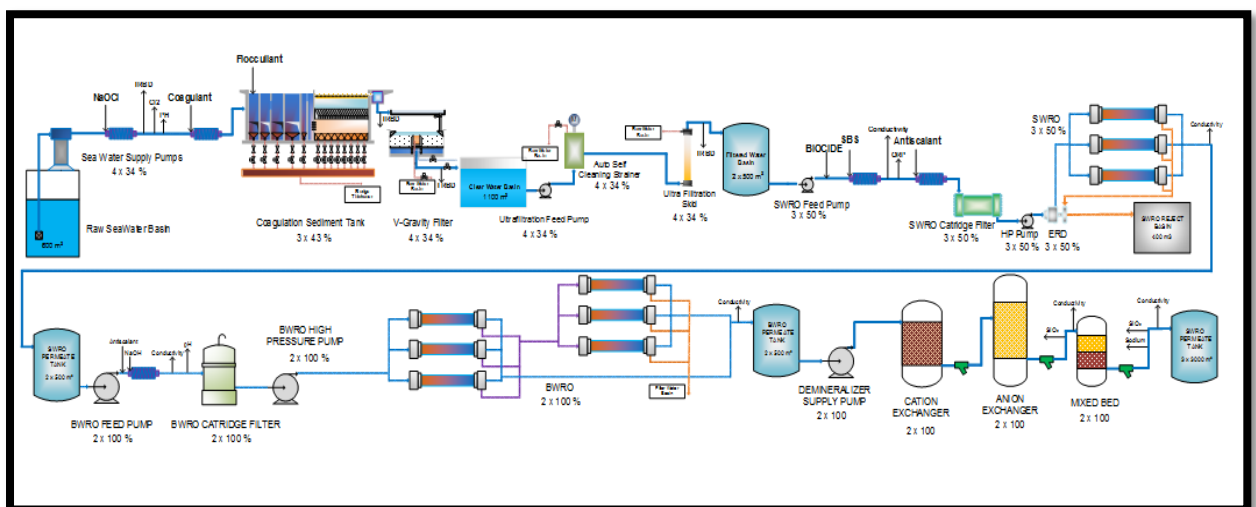
2.1. Dasar - Dasar PLTU

Dalam kehidupan sehari-hari penggunaan listrik menjadi kebutuhan utama. Di Indonesia, pusat pembangkit listrik umumnya menggunakan tenaga uap. Pembangkit listrik tenaga uap ini merupakan pembangkit listrik dimana energi listrik dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil penguapan air yang dipanaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar (boiler). Salah satu komponen penting dalam PLTU adalah turbin uap. Turbin digunakan untuk memutar generator dengan cara mengubah energi termal yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi diarahkan untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros sehingga turbin berputar. Akibat melakukan kerja di turbin tekanan dan temperatur uap menjadi turun sehingga menjadi uap basah yang kemudian dialirkan ke kondensor. Jumlah uap yang masuk ke dalam turbin merupakan beban yang diterima oleh turbin sehingga perlu diperhatikan dalam suatu sistem pembangkit. Berikut di bawah ini gambar 2.1 terkait skema PLTU. (S.Satiti, 2015)



Gambar 2.1. Skema PLTU Ultra Supercritical Boiler

Pada PLTU, air sebagai produk utama telah melalui beberapa proses untuk menjaga keandalan peralatan-peralatan pembangkit. Persyaratan air yang digunakan untuk produk di boiler adalah air demin. Di berapa pembangkit PLTU kebanyakan bersumber dari air laut. Untuk itu perlu diubah terlebih dahulu dari air laut menjadi air demin dengan menggunakan proses Pre Treatment, Desalination plant atau Reverse Osmosis (RO) dan ion exchange untuk mendapatkan kulaitas air demin yang digunakan sebagai air umpan boiler. Hal ini dilakukan karena kandungan impurities pada air laut masih tinggi, sehingga perlu dilakukan proses lagi. (Bursik, 2011)Beikut adalah proses pengolahan air laut menjadi air demin water. Air laut dari intake masuk ke sistem Clarifier dan filter untuk menangkap kotoran, lumpur, dan material-material lain kemudian di salurkan ke Filtered Water Basin. Dari sini, air dipompakan dengan tekanan tinggi melalui membran desalinasi (Sea Water Reverse Osmosis). Permeate dari Sea Water Reverse Osmosis kemudian sebagian dialirkan ke SWRO Permeate Tank. Dari SWRO Permeate di desalinasi kembali melalui Brackrish Water Reverse Osmosis. Air dari Brackrish Water RO dipompa masuk ke Demineralized Plant. Di dalam Demineralized Plant, air akan melalui Cation Exchanger, Anion Exchanger dan Mix Bed Polisher. Kemudian masuk ke Demineralized Water Storage Tank. Air dari tangki inilah yang kemudian digunakan sebagai air bahan baku Boiler. Berikut di bawah ini gambar 2.2 terkait Water Treatment Plant.



Gambar 2.2. Skema Water Treatment Plant

Berikut spesifikasi demin water yang di butuhkan untuk air umpam boiler yang ditunjukan pada tabel 2.1.(Liqun, Wang ; Fang, Hou ; Xiaqoin, 2021)

Tabel 2.1. Spesifikasi demin water

Parameter	Satuan	Nilai
pH (at 25°C)		6-7.5
Conductivity (at 25°C)	μs/cm	< 0.1
Fe	ppb	<5
Cu	ppb	<2
SIO ₂	ppb	<10
Sodium	ppb	<5
Chloride	ppb	<5
Total Organic Carbon	ppb	<200

2.2. Condensate Polishing Plant

Pada PLTU, bagian yang mengatur penggunaan kembali air pengisi boiler ini adalah condensate polisher system. Condenser (hotwell) merupakan bagian utama dari condensate system. Pada condenser, uap akan dikondensasikan menjadi air, dimana air ini akan digunakan lagi sebagai feedwater, sedangkan uap yang telah terkondensasi akan dikumpulkan di hotwell. Hotwell merupakan awal dari siklus air pada sistem kondensat. Pemurnian dilakukan dalam sistem air kondensat dapat dilakukan dengan cara mengalirkan air kondensat melintasi penukar ion Condensate Polisher Plant. (Rofiah & Mustain, 2020) PLTU XYZ, Condensate Polisher Plant terdiri dari catridge filter dan polisher mixed bed. Catridge Filter berfungsi untuk menghilangkan suspended solid yang ada pada air condensate. Dimana ukuran filter yang digunakan dari catridge filter adalah 20 Micron ketika commisioning dan 3 Micron ketika Normal Operasi. (Miyazaki, T ; Tao, 2019)

Polisher Mixed Bed berisi resin anion dan kation kuat, dimana air demineral akan dilewatkan melalui resin tersebut setelah melewati cartridge filter setesehingga terjadi proses ion exchange dan impurities tertahan menyebabkan nilai conductivity air demineral turun hingga <0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Melalui proses pemurnian internal ini, maka pencemar yang dapat mengakibatkan korosi pada komponen-komponen boiler dapat dihilangkan sehingga kualitas air kondensat menjadi lebih baik. Diameter dari resin biasanya 0,4-1,2 mm. Resin anion akan mengikat ion negatif yang akan menyebabkan kerak (scale), sedangkan pada resin kation akan menangkap ion positif yang akan menyebabkan korosi (S.Setyawan, I.S.R Putra, A.D.Putra, 2021).

Mode operasi di Mixed Bed Polisher ada 2 macam yaitu mode siklus hydrogen dan mode siklus ammonia. Akhir dari siklus operasi ditentukan oleh conductivity, sodium, silica dan totalizer dari outlet Mixed Bed Polisher. Berikut di bawah ini parameter regenerasi untuk siklus hydrogen dan siklus ammonia yang akan di tunjukan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Siklus Operasi dari Polisher Mixed Bed

Parameter	Siklus Hydrogen	Siklus Ammonia
Spesific Conductivity (us/cm)	Max. 0.1	-
Cation Conductivity (us/cm)	-	Max.0.15
Silica (ppb)	Max.20	Max.20
Sodium (ppb)	Max.1	Max.1
Totalizer (m3)	75240	601,920

Jika salah satu parameter tercapai maka resin akan dilakukan regenerasi. Pada penelitian ini menggunakan siklus hydrogen dikarenakan siklus hyrogen merupakan siklus yang aman dalam operasi ketika terjadi kebocoran air laut pada condenser.

Cara menghitung *cycle time* dari resin (Miyazaki, T ; Tao, 2019)

$$1. \text{ Kapasitas Resin (OC) = TEC x f(2.1)}$$

Dimana :

TEC : Jumlah Kapasitas Resin dlm Penukaran ion (meq/l)

F : Konstanta (mengikuti data sheet resin)

$$2. \text{Beban Siklus (TL)} = \text{OC} \times \text{V} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

OC : Kapasitas Resin (meq/l)

V : Volume Resin (l)

$$3. \text{Jumlah Keluaran / Totalizer (FQ)} = \frac{\text{TL}}{\text{IL}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

TL : Beban Siklus (meq)

IL : Jumlah Ion (meq/l)

$$4. \text{Cycle Time} = \frac{\text{TL}}{\text{IL}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

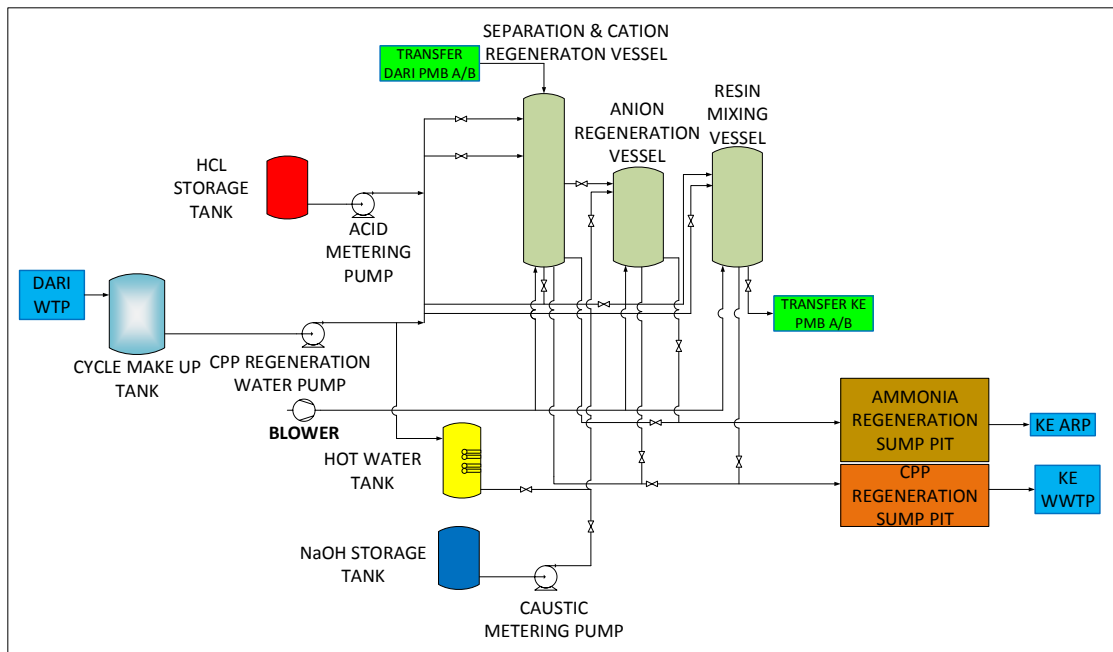
FQ : Jumlah Keluaran / Totalizer (m3)

Q : Debit (m3/hr)

Kemampuan resin penukar ion pada CPP untuk menangkap ion pengotor dalam air memiliki keterbatasan, sehingga setelah waktu tertentu resin penukar ion tidak mampu lagi menangkap ion pengotor dalam air kondensat. Keadaan ketika resin kation dan anion tidak mampu lagi menangkap pengotor dalam air maka resin dapat dikatakan jenuh. Tingkat kejenuhan resin adalah ketika konduktivitas $\geq 0.1\mu\text{S/cm}$ pada keluaran CPP. Untuk menjaga sistem kerja CPP, maka perlu dilakukan regenerasi resin pada CPP. Proses regenerasi adalah proses pertukaran timbal balik antara ion yang terdapat di dalam air dengan ion yang ada pada resin . Proses regenerasi berfungsi untuk menukarkan ion pengotor air yang terikat pada resin dengan ion pada regeneran yang bermuatan sama dimana kation pengotor yang terikat pada resin akan dipertukarkan dengan kation pada regeneran sedangkan anion pengotor pada resin akan dipertukarkan dengan anion pada

regeneran . Regeneran adalah bahan kimia yang digunakan untuk meregenerasi resin penukar ion. Bahan kimia yang dipakai adalah larutan pekat yang berarti mengandung banyak ion H⁺ atau OH⁻. Regeneran yang digunakan adalah larutan HCl untuk resin kation dan larutan NaOH untuk resin anion. (Rahmayanti et al., 2020).

Proses Flow Diagram untuk regenerasi condensate polishing plant di PLTU XYZ ditunjukkan pada gambar 2.3. (Miyazaki, T; Tao, 2019)



Gambar 2.3. Proses Flow Diagram untuk regenerasi condensate polishing plant

Ketika resin sudah jenuh maka perlu dilakukan regenerasi resin. proses regenerasi di PLTU XYZ dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu :

1. Shutdown Polisher Mixed Bed

Proses regenerasi di lakukan di luar fasilitas sehingga polisher mixed bed harus kondisi stop dan tidak ada tekanan.

2. Resin Transfer Out

Setelah polisher mixed bed stop. Resin di dalam polisher mixed bed di transfer ke CRV (Cation Resin Vessel). Proses transfer resin dari polisher mixed bed ke CRV dengan menggunakan air dan udara bertekanan. Penjelasan lengkap tahapan resin transfer out pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Tahapan Resin transfer Out

Step	Timer (menit)	
1	PMB Resin Transfer by Water	25
2	PMB Resin Transfer by Air 1	34
3	PMB Resin Rinse	5
4	PMB Resin Transfer by Aie 2	9
5	PMB Partial fill	5
6	PMB Resin Outlet line Flush	2
7	PMB Resin Inlet line flush	2

3. Resin Transfer In

Resin yang sudah di regenerasi dan siap digunakan disimpan di RMV (Resin Mixing vessel). Resin yang berada di RMV di transfer ke dalam polisher Mixed Bed. Penjelasan lengkap tahapan resin transfer in pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Tahapan Resin Transfer In

Step	Timer (menit)	
1	RMV Resin Transfer by Water	25
2	RMV Resin Transfer by Air 1	27
3	RMV Resin Rinse	2
4	RMV Resin Transfer by Aie 2	4
5	RMV Partial fill	1
6	RMV Resin Outlet line Flush	2
7	RMVResin Inlet line flush	2
Resin Mixing		
1	PMB Drain	1
2	PMB Air Mix	10
3	PMB Full Fill to LSH	21

4. Resin Separation at CRV

Resin separation ini bertujuan untuk memisahkan resin kation dan resin anion. Yang mana di mixed bed polisher. Resin kation dan anion bercampur. Tahapan resin separation pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Resin Separation

Step	Timer (menit)	
1	CRV Drain	1
2	CRV Air Scrub	5
3	CRV Air Pressurized	1
4	CRV Air Blowdown	6
5	CRV Interface Resin transfer to CRV	3
6	CRV 1st Fast Backwash & Fill Up	20
7	CRV 1st Intermediate Backwash	10
8	CRV 1st Slow Backwash	10
9	CRV Settle	2
Step	Timer (menit)	
10	CRV Compact Bed	1
11	CRV Anion Resin transfer to ARV	8
12	CRV 2nd Fast Backwash	5
13	CRV 2nd Intermediate Backwash	5
14	CRV 2nd Slow Backwash	5
15	CRV Settle	1
16	CRV Compact Bed	1
17	CRV interface resin transfer to ISV	3

5. Cation Resin Regeneration

Setelah proses separasi dan resin anion di transfer ke ARV maka cation resin di CRV di regenerasi dengan HCL konsentrasi 4 – 5 % dan selesai proses

regenerasi jika conductivity final rinse < 1 us/cm.. Tahapan dari cation regenerasi pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Cation Regenerasi

Step	Timer (menit)	
1	CRV drain to Middle Drain	12
2	CRV Air Scrub	5
3	CRV Intermediate Backwash	10
4	CRV Air Pressurized	1
5	CRV Air Blowdown	4
6	CRV Filling	8
7	CRV Acid Injection	60
8	CRV Acid Displacement	94
9	CRV fast Rinse	13

6. Anion Resin Regeneration

Setelah proses separasi dan resin anion di transfer ke ARV maka anion resin di ARV di regenerasi dengan NaOH dengan konsentrasi 4 – 5 % dan selesai proses regenerasi jika conductivity final rinse < 1 us/cm. Tahapan dari anion regenerasi pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Anion Regenerasi

Step	Timer (menit)	
1	ARV drain to Middle Drain	3
2	ARV Air Scrub	2
3	ARV Backwash	10
4	ARV Air Pressurized	1
5	ARV Air Blowdown	1
6	ARV Filling	8
7	ARV Caustic Injection	80
8	ARV Caustic Displacement	57
9	ARV fast Rinse	20

7. Cation resin Transfer

Cation resin transfer yaitu step transfer resin cation yang sudah di regenerasi dan conductivity rinsing nya < 1 us/cm. Tahapan dari cation resin transfer pada tabel 2.8

Tabel 2.8 Cation resin Transfer

Step	Timer (menit)	
1	CRV Cation Resin transfer by Water	17
2	CRV Cation Resin Transfer by Air 1	34
3	CRV Resin Rinse	0.5
4	CRV Cation Resin Transfer by Air 2	3
5	CRV Partial Fill	0.5
6	CRV Resin Outlet Pipe Flush	2

8. Anion Resin Transfer

Anion resin transfer yaitu step transfer resin cation yang sudah di regenerasi dan conductivity rinsing nya < 1 us/cm. Tahapan dari cation resin transfer pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Anion resin Transfer

Step	Timer (menit)	
1	ARV Anion Resin transfer by Water	8
2	ARV Anion Resin Transfer by Air 1	12
3	ARV Resin Rinse	1.2
4	ARV Anion Resin Transfer by Air 2	2
5	ARV Partial Fill	1.2
6	ARV Resin Outlet Pipe Flush	2

9. Resin Mixing

Pada step ini resin kation dan anion akan di mixing kemudian dilakukan rinsing sampai hasil conductivity nya ≤ 0.1 us/cm. Setelah conductivity

tercapai resin yang siap digunakan akan standby di RMV sampai ada polisher mized bed yang jenuh, Tahapan resin mixing ada pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Resin Mixing

Step	Timer (menit)	
1	RMV Drain	1
2	RMV Resin Mixing	10
3	RMV Slow Rinse	3
4	RMV Full Fill	7
5	RMV Final Rinse	48

Proses regenerasi ini akan menghasilkan limbah yang mana limbah tersebut akan dipisah. Air hasil dari backwash, separasi, transfer resin akan mengalir ke CPP Regeneration drain pit sump yang mana limbah ini akan di transfer ke Waste Water Treatment Plant sedangkan limbah dari hasil regenerasi akan di tampung di CPP regeneration ammonia drain pit sump yang mana limbah tersebut akan di transfer di Ammonia Removal Plant. (Miyazaki, T; Tao, 2019)

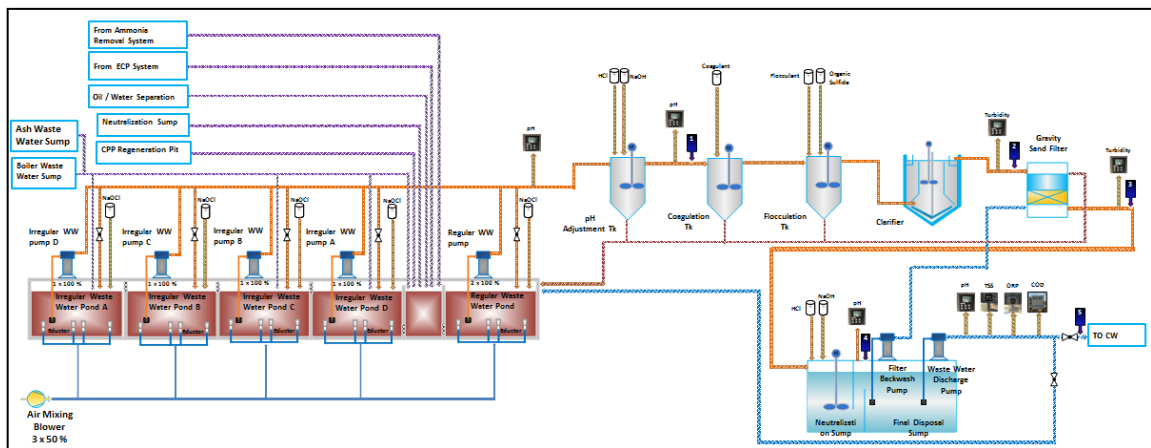
2.3. Waste Water Treatment Plant

Air limbah reguler berasal dari air limbah dari sistem pembuangan amonia, sistem klorinasi, pemisah minyak, limbah dari sistem pengolahan air, air limbah regenerasi CPP, air limbah di area turbin dan boiler. Air limbah akan disimpan di Regular Basin atau Irregular Basin. Aerasi Blower akan digunakan untuk menyeragamkan kualitas air limbah.(Jin Y, 2018)

Air limbah yang disimpan di Regular Basin akan dipompa secara teratur dengan pompa reguler ke dalam pH adjustment Tank setelah di tambahkan dengan asam klorida atau kaustik (tergantung pada pH influen). Air limbah akan tercampur dengan baik dalam pH adjustment Tank oleh agitator. Setelah pH adjustment Tank air limbah akan mengalir ke tangki koagulan dan tangki flokulan secara gravitasi. Koagulan akan dimasukkan ke dalam tangki koagulan dengan pencampurannya dibantu agitator, flokulan dan sulfida akan dimasukkan ke dalam tangki flokulan dengan pencampurannya dibantu agitator. Sulfida diumpukan

tergantung pada konsentrasi logam berat yang terdapat pada air limbah, biasanya sulfida hanya akan diumpankan untuk mengolah air limbah yang tidak biasa. (Jin Y, 2018)

Effluen dari tangki flokulasi akan dialirkan ke clarifier dengan gravitasi. Clarifier yang dilengkapi dengan agitator dan scraper. Air overflow dari clarifier akan mengalir ke gravity filter. Padatan tersuspensi selanjutnya akan dihilangkan dalam gravity filter. Air dari gravity filter akan mengalir ke netralisasi basin. Netralisasi basin berfungsi untuk akhir pengaturan pH. Air akan dicampur dalam netralisasi basin oleh agitator. Dan kemudian mengalir gravitasi ke final disposal sump. Air limbah terolah yang disimpan di final disposal sump akan dibuang ke outfall jika parameter air limbah olahan memenuhi batas. Jika tidak air limbah akan di olah kembali. Proses flow diagram waste water treatment plant akan ditunjukkan pada tabel 2.4. (Jin Y, 2018)



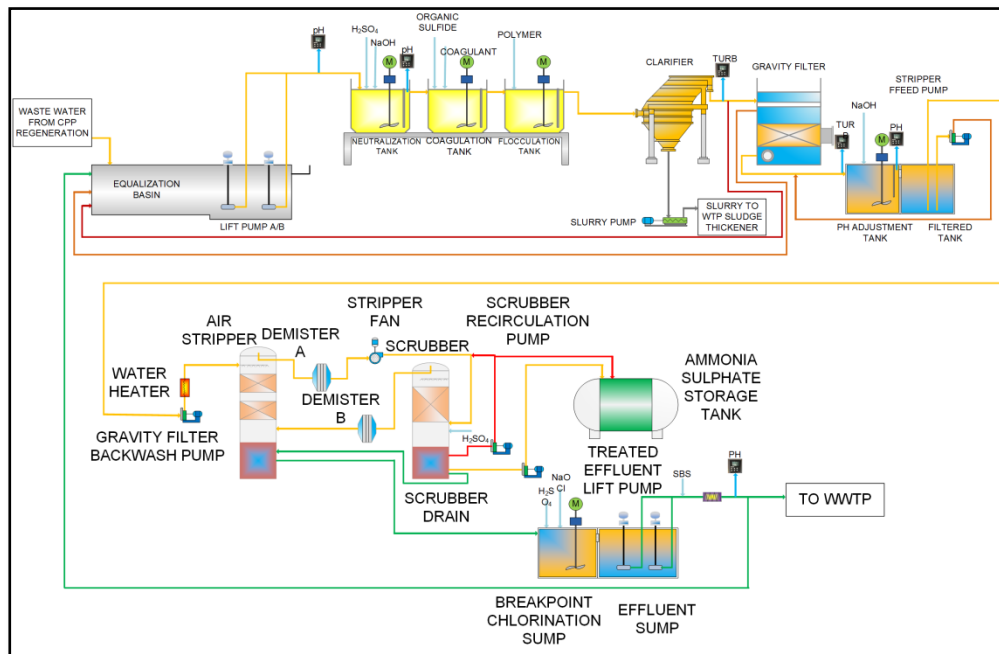
Gambar 2.4. Proses flow diagram Waste Water Treatment Plant

2.4. Ammonia Removal Plant

Air Limbah ammonia dari condensate polishing system akan di kumpulkan ke equalization basin dan kemudian akan di pompa ke neutralization tank, koagulan tank and flocculant tank. Dimana proses koagulasi dan flokulasi terjadi. Di neutralization tank akan di tambahkan H_2SO_4 atau $NaOH$ tergantung pH. Proses koagulasi ditambahkan poly aluminium chloride untuk proses koagulasi dan pada flocculan tank ditambahkan flocculant dan sulfide. Sulfide

ditambahkan untuk menghilangkan logam berat. Airlimbah akan mengalir ke Clarifier dan Gravity Filter yang mana bertujuan untuk menghilangkan suspended solid. (Gao Yan, 2018)

Produk dari gravity filter akan di tampung ke pH adjustment tank. Di pH adjustment tank dilakukan penambahan NaOH untuk menaikkan pH sampai 12. Kemudian dipompa ke Air stripper dan dilewatkan ke heater dimana suhu keluaran heater 45 C. Air stripper berfungsi untuk memisahkan ammonia dari air limbah. Air limbah setelah air stripper akan mengalir ke breakpoint chlorination sump. Di break point chlorination sump ditambahkan NaOCl yang mana bertujuan mereaksikan sisa ammonia dengan NaOCl menjadi monochloroamin. Dari breakpoint chlorination sump akan mengalir ke effluent sump secara overflow. Air limbah dari effluent sump akan di pompa ke regular basin WWTP. Gas ammonia dari air stripper akan mengalir ke scrubber kemudian direaksikan dengan asam sulfat untuk membentuk produk samping yaitu ammonium sulfat. Process flow diagram ditunjukkan pada gambar 2.5. (Gao Yan, 2018)



Gambar 2.5 Proses flow diagram Ammonia Removal Plant

2.5. Sejarah Metode Pengolahan air pada air umpan boiler

Pengolahan pada air boiler feed water itu sangat penting yang digunakan untuk mencegah terjadinya proses korosi dan scaling pada boiler dan turbin sistem. Sejarah metode pengolahan air untuk PLTU tabel 2 yang memberikan identifikasi masalah dan peristiwa yang terjadi pada pengolahan Air. Tabel 2.11 menunjukkan daftar metode air umpan boiler dan boiler system. (Tsubakizaki et al., 2012)

Tabel 2.11. Identifikasi masalah pada PLTU dengan pengolahan airnya

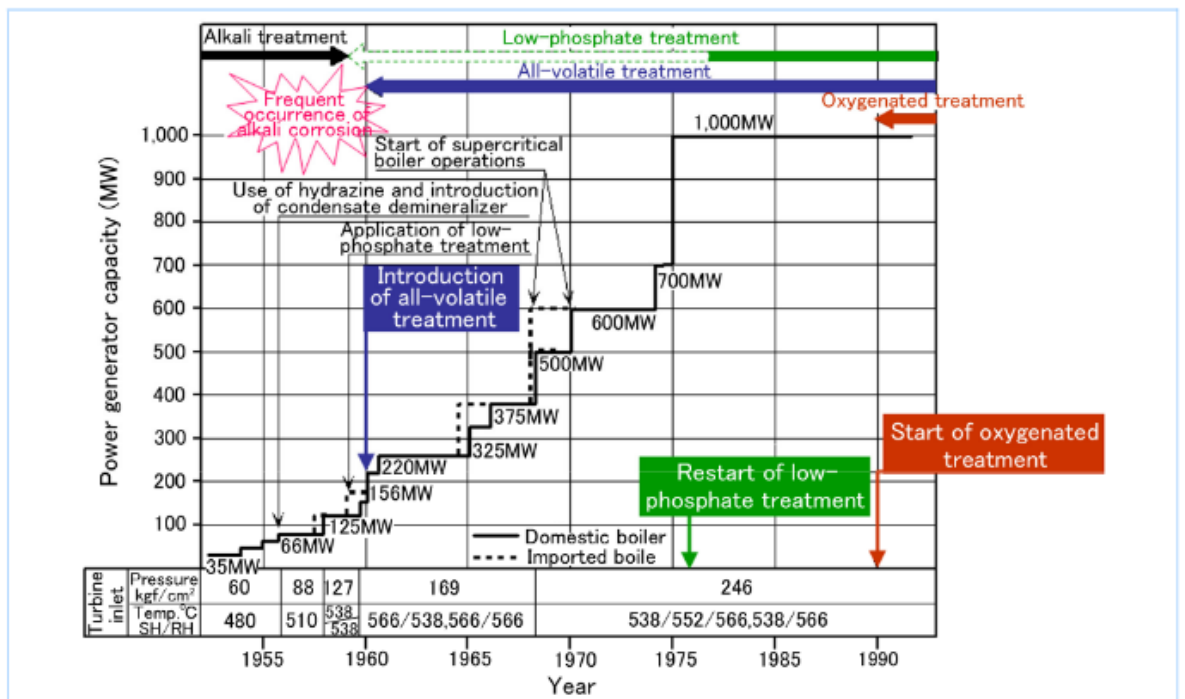
Tahun	Masalah terkait korosi yang baru diidentifikasi	Sistem untuk pengolahan air
1940	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi pitting dan kerapuhan pada tubing dari boiler. • Terjadinya retakan pada komponen turbin 	
1950	<ul style="list-style-type: none"> • Alkali korosi pada tubing boiler • Ammonia korosi pada tubing condenser 	<ul style="list-style-type: none"> • Teknologi dari USA • Aplikasi dengan PT/AVT • Aplikasi boiler chemical cleaning.
1960	<ul style="list-style-type: none"> • Meningkatnya pressure drop dan overheating disebabkan ada scaling pada tubes • Korosif pada feedwater heater 	<ul style="list-style-type: none"> • JIS Criteria (1 Feb 1961) • Pengaplikasian Oxygen treatment (OT) sistem yang telah dilakukan di Jerman dan rusia
1970	<ul style="list-style-type: none"> • Menumpuknya deposit pada superheater dan reheater. • Terjadinya fatigue Korosif 	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan condenser dari titanium • Menggunakan pengolahan peralatan pada kondensate

Tahun	Masalah terkait korosi yang baru diidentifikasi	Sistem untuk pengolahan air
1980	Korosif pada feedwater heater drain	Memulai pengolahan dengan komersial combined cycle operation.
1990	Korosi pada valve disebabkan oleh oxygen treatment	Realisasi pengaplikasian dari oxygen treatment
2000	<ul style="list-style-type: none"> • FAC (Flow accelerated corrosion) • Deposit scaling pada oxygen treatment 	Penilaian kelayakan High-AVT untuk PLTN

Boiler dengan tipe drum tekanan subkritis kelas 17 MPa dibangun di 1959 dan mulai beroperasi menggunakan perlakuan alkali. Namun, masalah karena korosi alkali pada tabung dinding air sering terjadi sekitar 6 bulan setelah dimulainya operasi. Oleh karena itu ada permintaan selanjutnya untuk melakukan perbaikan teknologi pengolahan air umpan dan air boiler menyebabkan pengenalan All Volatile Treatment (AVT) yang mana menggunakan bahan kimia yaitu amonia dan hidrazin, yang mana sedang dikembangkan di Eropa. AVT diadopsi oleh boiler tipe drum tekanan subkritis di 1960 dan dengan boiler once through pada tahun 1961, keduanya menghasilkan hasil yang baik. Setelah itu, dengan cepat popularitas penerapannya, AVT digunakan untuk sebagian besar pembangkit listrik termal skala besar baru. (Tsubakizaki et al., 2013)

Pada pertengahan tahun 1965, hasil pemeriksaan pada permukaan bagian tabung dalam uap menghasilkan endapan kerak selama bertahun-tahun mengharuskan penilaian ulang penggunaan fosfat (PT) dalam pengolahan boiler. Akibatnya, boiler tekanan tinggi tipe drum mengadopsi perlakuan fosfat rendah (Low-pHT), yaitu di mana konsentrasi fosfat dipertahankan rendah (3 mg/L atau kurang) dan rasio molar Na/PO₄ dalam natrium fosfat disesuaikan antara 2,5 ppm dan 2,8 ppm dalam hal ini untuk pencegahan dari korosi alkali. Efek yang dihasilkan setelah menurunkan konsentrasi fosfat, seperti penurunan tingkat penumpukan endapan kerak dalam uap yang dihasilkan tabung, lebih stabil, dan pembersihan kimia boiler yang lebih jarang dilakukan karena berkurangnya

deposit scale pada boiler. Pada perkembangnya banyak unntuk menghilangkan deposit maka menggunakan All volatile Treatment (AVT) pada boiler feed water dan mulai tidak menggunakan fosfat pada boiler treatment. yaitu dengan melakukan injeksi ammonia dan hydrazine pada sistem AVT-R (All Volatile Treatment – Reduction) dan ammonia unntuk AVT-O (All Volatille Treatment) – Oxidation dimana AVT – O untuk mengurangi konsentrasi oksigen tanpa injeksi hydrazine dan hanya menganadalkan kerja dearator yang mana mengurangi oksigen secara mekanikal: Berikut gambaran boiler feed water treatment yang di tunjukan pada gambar 2.3.(Tsubakizaki et al., 2013)



Gambar 2.6. Sejarah boiler feed water treatment pada PLTU

Berikut dibawah ini menunjukan metode pengolahan air pada BFW dan Boiler water yang ditunjukkan pada tabel 2.12

Tabel 2.12 Pengolahan air pada BFW dan Boiler water

Pengolahan		Kontrol kualitas air		JIS B8223
		Feedwater	Boiler Water	
CT		Ammonia Hydrazine	NaOH Tri Sodium Phosphate	Published in 1961
PT	Phosphate Treatment	Ammonia Hydrazine	Tri Sodium Phosphate	
	Low-PH Phosphate Treatment	Ammonia Hydrazine	Disodium Phosphate Tri Sodium Phosphate	
AVT		Ammonia, Hydrazine (AVT-O) hanya untuk ammonia		
OT	NWT	Oxgen		Published in 1989
	CWT	Ammonia dan Oxygen		

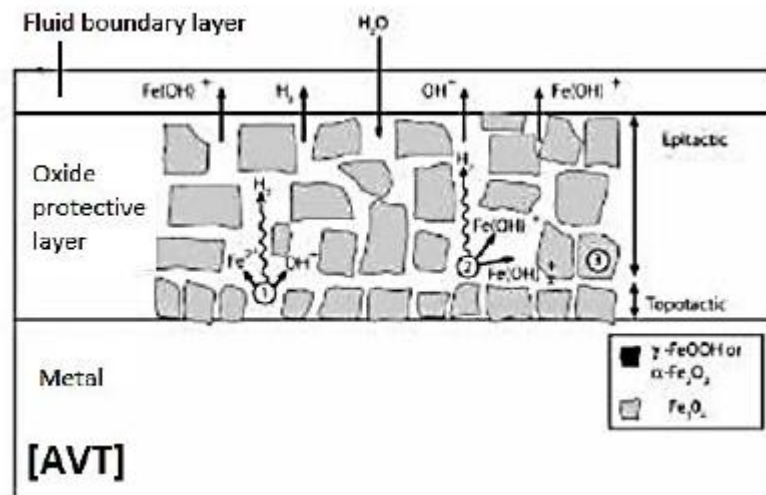
2.6. All Volatile Treatment (AVT)

All Volatile Treatment (AVT) adalah tindakan injeksi kimia yang hanya menggunakan bahan kimia yang mudah menguap sehingga meninggalkan minimum endapan solid. Penggunaan AVT pada feedwater dijaga pada pH antara 8.8 – 9.3 dan terbagi menjadi 2 kategori yaitu : Low level AVT, pH antara 8.8 – 9.3 (khusus campuran copper) dan high level AVT dimana pH antara 9.2 – 9.8. Terdapat 2 AVT yang sering digunakan dalam pengaplikasian pada sistem siklus uap – air PLTU

1. Reducing All Volatile (AVT-R) adalah penggunaan reducing agent dengan nilai electrochemical potential negatif (sangat rendah) yaitu nilai Oxidation –reduction potential (ORP) bernilai dalam range -300 sampai -350 mV dan nilai ORP nya dijaga pada nilai tersebut dengan tujuan untuk melindungi *mixed metallurgy* tube boiler agar tidak terjadi korosi copper.
2. Oxidizing All Volatile (AVT-O) adalah penggunaan Ammonia sehingga nilai electrochemical potential positif (sangat tinggi) dimana AVT O

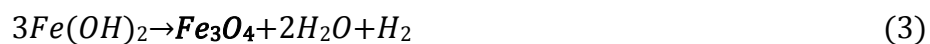
memanfaatkan mechanical dearator untuk menghilangkan oksigenb tanpa penggunaan bahan kimia . Ammonia berfungsi menaikkan pH dan mempunyai nilai ORP bernilai positif 0 mV.

Sistem All Volatile treatment akan menyebabkan lapisan pada pipa besi yang mana lapisan besi ini akan mengurangi laju korosi pada pipa boiler



Gambar 2.7. Mekanisme layer yang dibentuk pada proses AVT

Berikut adalah reaksi dari Gambar 2.4. Proses dimana pembentukan lapisan magnetite pada pipa yang akan mengurangi laju korosi pada boiler, dibawa ini reaksi pembentukan lapisan magnetite (Fe_3O_4) yang ditunjukkan pada reaksi (1), (2) dan (3). (System, 2018).



2.7. Combined Water Treatment (CWT)

Pengaplikasian combined water treatment (CWT) menggunakan oxygen method telah sukses di berbagai negara seperti Jerman, Rusia, dan negara lain. Di Jepang telah di test sesuai dengan JIS B 8223. Pada tahun 1990, pertama combined water treatment (CWT) di aplikasikan di jepang menggunakan once through boiler.(Dooley, 2005) Untuk sistem combine water treatment memeng di

wajibkan unit mempunyai CPP (Condensate polishing Plant). Berikut di bawah ini tabel 2.13 terkait boiler feed water treatment pada once through boiler. Pada oxygenated treatment itu terdapat tiga sistem yaitu *Normal water Treatment* (NWT), *Combine Water Treatment* (CWT) dan *Alkaline Water Treatment* (AWT).

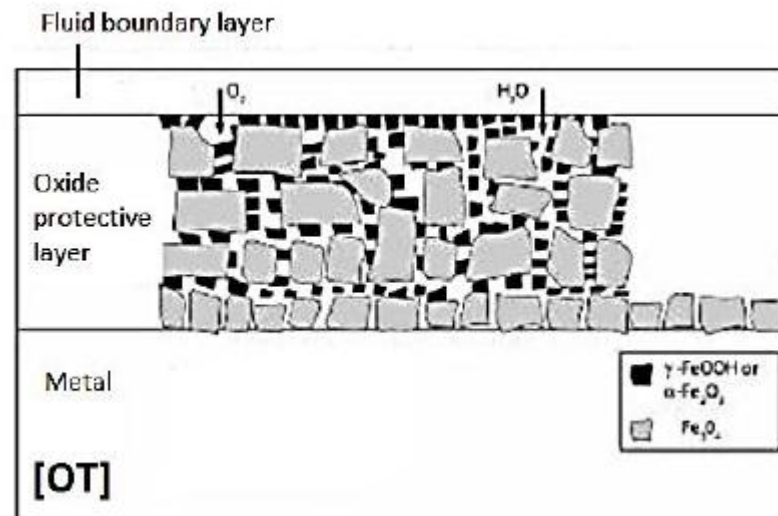
Tabel 2.13 Boiler feed water treatment pada once through boiler.

Type Boiler	Once-Through Boiler			
Type Air Umpan Boiler	All Volatile Treatment	Oxygenated Treatment		
	AVT	NWT	CWT	AWT
pH (at 25 C)	9 – 9.7	7	8 – 9.3	9-10
Cation Conductivity (us/cm)	≤ 0.25	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2
Dissolved Oxygen (ppb)	≤ 7	50 - 250	30 - 150	<100
Bahan Kimia	Ammonia	Oxygen	Ammonia Oxygen	Ammonia Oxygen

Pada boiler water yang menggunakan all volatile treatment, kualitas air di jaga dengan menambahkan ammonia untuk mengcontrol pH. Korosif pada sistem bisa diminimalkann dengan penambahan ammonia untuk menaikkan pH. Oxygen treatment adalah suatu treatment untuk mencegah korosif dengan penambahan oxigen dimana akan merubah lapisan besi dari magnetite menjadi hematite. Untuk combined water treatment pH di adjust dengan ammonia sebesar 8 – 9.3 dan oxygen di maintain sekitar 30 – 150 ppb. Pada proses CWT dilakukan injeksi gas oksigen ke dalam sistem sirkulasi air. Hal ini menyebabkan terbentuknya passive layer berupa hematite layer sesuai reaksi pada Persamaan (4).



mekanisme pembentukan pada CWT ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.8. Mekanisme layer yang dibentuk pada proses OT / CWT

Pada penelitian ini berencana menggunakan variabel efisiensi energi yang dipakai antara AVT (O) dengan CWT(System, 2018).

2.8. Efisiensi energi

Efisiensi Energi adalah usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan, dalam menggunakan sebuah peralatan atau bahkan sistem yang berhubungan dengan energi. Ada banyak cara untuk meningkatkan efisiensi energi. Mengurangi penggunaan energi, mengurangi biaya energi dan dapat menghasilkan penghematan secara finansial kepada konsumen jika penghematan energi tersebut tidak melebihi biaya tambahan untuk penerapan aplikasi teknologi hemat energi. Mengurangi penggunaan energi juga dipandang sebagai solusi untuk mengurangi masalah emisi gas rumah kaca. Mulai tahun 2012 pemerintah telah membuat penghargaan terkait efisiensi energi.

Penghargaan Efisiensi Energi Nasional Tahun (PEEN) mulai dikembangkan oleh Direktorat Konservasi Energi, Ditjen Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2012 yang bertujuan untuk :

1. Meningkatkan partisipasi para pengguna energi dalam mensukseskan program-program Pemerintah Indonesia di bidang efisiensi dan konservasi energi.
2. Meningkatkan kesadaran para pengguna energi akan perlunya penerapan efisiensi dan konservasi energi, manajemen energi, serta inovasi dalam rangka peningkatan daya saing dan kualitas di sektor industri dan bangunan gedung.
3. Menghasilkan model-model industri dan bangunan gedung yang hemat energi serta penerapan manajemen energi yang baik sehingga dapat dijadikan contoh dan dapat direplikasi.
4. Memberikan apresiasi dan penghargaan atas keberhasilan penerapan efisiensi dan konservasi energi di sektor bangunan dan industri serta pemerintah.
5. Menjaring peserta ASEAN Energy Award dan Clean Energy Ministerial Leadership Award tahun berikutnya. ASEAN Energy Award merupakan kegiatan tahunan regional ASEAN yang diselenggarakan oleh ASEAN Center for Energy (ACE) dalam rangka mempromosikan pemanfaatan energi baru terbarukan serta penerapan efisiensi dan konservasi energi di regional ASEAN. Sedangkan Clean Energy Ministerial Leadership Award merupakan penghargaan yang diberikan kepada perusahaan yg menunjukkan keberhasilan serta inovasi dalam penerapan ISO 50001: Sistem Manajemen Energi.

Pada tahun 2018 PEEN berganti nama menjadi Penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi yang merupakan salah satu dalam Penghargaan Subroto selain Penghargaan Keselamatan Ketenagalistrikan, Penghargaan Wartawan Energi, Penghargaan Keselamatan Minyak dan Gas Bumi, Penghargaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lindungan Lingkungan Panas Bumi, dan Penghargaan Dharma Karya Energi dan Sumber Daya Mineral.

Penghargaan Subroto adalah penghargaan tertinggi yang diberikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) kepada para stakeholder yang memiliki prestasi luar biasa dalam memajukan sektor ESDM. Malam

Penganugerahan Penghargaan Subroto dilaksanakan bertepatan dengan peringatan peringatan Hari Jadi Pertambangan dan Energi. Dalam upaya meningkatkan partisipasi, keunggulan kompetitif dan kualitas kompetitif para peserta dalam PSBE, pada tahun 2020, dilakukan terobosan untuk memperluas Kriteria Lomba PSBE menjadi :

- a. Kategori Bangunan Gedung Hemat Energi (Kategori A), dengan 5 sub-kategori, antara lain :
 - Gedung Baru
 - Gedung Retrofitted
 - Gedung Tropis
 - Green Building
 - Inovasi Khusus pada Gedung
- b. Kategori Manajemen Energi Pada Industri dan Bangunan Gedung (Kategori B), dengan 6 sub-kategori, antara lain :
 - Gedung Kecil dan Menengah
 - Gedung Besar
 - Industri Pertambangan dan Energi
 - Industri Manufaktur Besar (> 6000 TOE)
 - Industri Manufaktur Kecil dan Menengah (< 6000 TOE)
 - Inovasi Khusus pada Manajemen Energi
- c. Kategori Penurunan dan Perdagangan Emisi Karbon di Sektor Pembangkit Listrik (Kategori C)
 - Buyer
 - Seller
- d. Kategori Penghematan Energi di Instansi Pemerintah (Kategori D), dengan 2 sub-kategori, yaitu :
 - Gedung Baru
 - Gedung Lama(ESDM, 2021)

2.9. Energi Listrik

Pada suatu jaringan listrik arus bolak - balik memiliki beban yang bersifat resistif, induktif, dan kapasitif.(Jumadi, 2015) Daya listrik sendiri merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus pada suatu rangkaian. Pada dasarnya daya listrik dibagi menjadi tiga yaitu daya semu, daya nyata, dan daya reaktif. Daya semu adalah hasil perkalian arus listrik beban dengan tegangan beban tanpa mengangap nilai $\cos \theta$. Sedangkan daya nyata adalah hasil perkalian arus listrik beban dengan tegangan beban dan $\cos \theta$ atau dapat dikatakan daya nyata adalah daya yang sebenarnya dapat digunakan. Kemudian untuk daya reaktif merupakan daya yang

mengakibatkan terjadinya kerugian – kerugian daya atau bisa disebut daya yang terbuang. Dimana dapat dicari meleui persamaan sebagai berikut :(Yunanto et al., 2018)

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.5)$$

$$P = V \times I \times \cos \theta \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Q = V \times I \times \sin \theta \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus Listrik (Ampere)
- S : Daya Semu (VA)
- P : Daya Nyata (Watt)
- Q : Daya Reaktif (VAR)
- Sin : Sinus sudut fasa
- Cos : Cosinus sudut fasa

Nilai energi listrik yang digunakan, dapat dicari melalui persamaan sebagai berikut :

$$W = P \times t \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- W : Energi Listrik (kWh)
- P : Daya yang digunakan (kW)
- T : Waktu (jam)

Datasheet dari energi listrik peralatan yang ada di water treatment plant, waste water treatment plant, Ammonia Removal Plant dan Condensate Polishing Plant ada di lampiran A.

2.10. Perhitungan Emisi Berdasarkan penggunaan Listrik

Perhitungan emisi berdasarkan penggunaan listrik yang dibeli dari luar pabrik (electricity purchase) atau dari PLN dilakukan dengan mengalikan jumlah penggunaan listrik dengan faktor emisi sesuai sistem ketenagalistrikan di daerah tersebut sesuai dengan keputusan menteri energi dan sumber daya mineral republik indonesia nomor 163.K/HK.02/MEM.S/2021 yang mana ditunjukkan pada tabel 2.14(ESDM., 2021)

Tabel 2.14. Faktor Emisi Sistem Ketenagalistrikan

Sistem ketenagalistrikan	Baseline Faktor Emisi (Kg CO₂ / MWH)	Tahun
Jamali	0,87	2021
Sumatera	0,94	2021
Mahakam (Kaltim)	1.14	2021
Kalbar (Khatulistiwa)	1,63	2021
Kalteng (Barito)	1,31	2021
Sulut dan Gorontalo	0,78	2021
Sulsel, Sulbar dan Sultra	0,95	2021

Untuk penelitian ini yang akan di hitung adalah perhitungan Emisi CO₂ yang berdasarkan penggunaan listrik. Dimana akan dibandingkan emisi CO₂ yang dihasilkan antara perbandingan *All Volatile Treatment (AVT)* dan *Combine Water Treatment (CWT)*

Perhitungan emisi berdasarkan penggunaan listrik yang di produksi sendiri. Dimana data diambil dari data CEMS (Continuos Emission Monitoring System). Data yang diambil adalah Data Load (MW), Konsentrasi CO₂ (%) dan Flow Rate Emisi (Nm³/jam). Di amana rumus perhitungan pada persamaan 2.9.

$$ER_k : D_{CO_2} \times CO_{2w} \times Q_w \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

ER_k : Emisi CO_2 (Kg/Jam)

D_{CO_2} : Densitas CO_2 , pada temperatur dan tekanan standar (1.79846 Kg/Nm³ pada tekanan 1 atm dan temperature 25 C)

CO_{2w} : Rerata konsentrasi CO_2 pada gas buang (% Volume)

Q_w : Rerata laju alir gas buang (Nm³/jam)