



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Pengertian Gula

Menurut Darwin (2013), gula adalah suatu karbohidrat sederhana karena dapat larut dalam air dan langsung diserap tubuh untuk diubah menjadi energi. Secara umum, gula dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Monosakarida

Sesuai dengan namanya yaitu mono yang berarti satu, ia terbentuk dari satu molekul gula. Yang termasuk monosakarida adalah glukosa, fruktosa, galaktosa.

b. Disakarida

Berbeda dengan monosakarida, disakarida berarti terbentuk dari dua molekul gula. Yang termasuk disakarida adalah sukrosa (gabungan glukosa dan fruktosa), laktosa (gabungan dari glukosa dan galaktosa) dan maltosa (gabungan dari dua glukosa).

Penjelasan diatas adalah gambaran gula secara umum, namun yang akan dibahas adalah produk gula. Gula merupakan komoditas utama perdagangan di Indonesia. Gula merupakan salah satu pemanis yang umum dikonsumsi masyarakat. Gula biasa digunakan sebagai pemanis di makanan maupun minuman, dalam bidang makanan, selain sebagai pemanis, gula juga digunakan sebagai stabilizer dan pengawet. Gula merupakan suatu karbohidrat sederhana yang umumnya dihasilkan dari tebu. Namun ada juga bahan dasar pembuatan gula yang lain, seperti air bunga kelapa, aren, palem, kelapa atau lontar. Gula sendiri mengandung sukrosa yang merupakan anggota dari disakarida.

II.1.2 Komponen Gula

Gula merupakan sukrosa yaitu disakarida yang terbentuk dari ikatan antara glukosa dan fruktosa. Rumus kimia sukrosa adalah $C_{12}H_{22}O_{11}$. Sukrosa memiliki sifat-sifat antara lain:

- a. Sifat fisik: tak berwarna, larut dalam air dan etanol, tidak larut dalam eter dan kloroform, titik lebur 180°C , bentuk kristal monoklin, bersifat optis aktif, densitas kristal 1588 kg/m^3 (pada 15°C).
- b. Sifat kimia: dalam suasana asam dan suhu tinggi akan mengalami inverse menjadi glukosa dan fruktosa.

Tabel II.1 Komposisi Kimia Gula Pasir per 100 gram

Komponen	Komposisi
Kalori (Kal)	364
Protein (g)	0
Lemak (g)	0
Karbohidrat (g)	94
Kalsium (mg)	5
Fosfor (mg)	1
Besi (mg)	0.1
Vitamin A	-
Vitamin B1	-
Vitamin C	-
Air (g)	5.4

(Darwin, 2013)

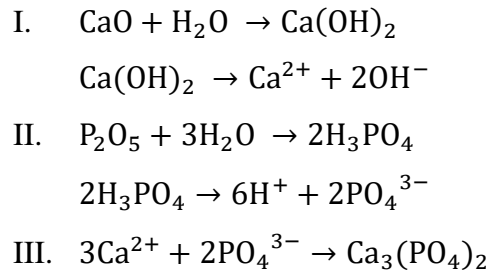
II.1.3 Proses Produksi Gula

Secara umum ada 3 jenis pemurnian nira tebu, yaitu proses defekasi, proses sulfitasi dan proses karbonatasi.

A. Defekasi

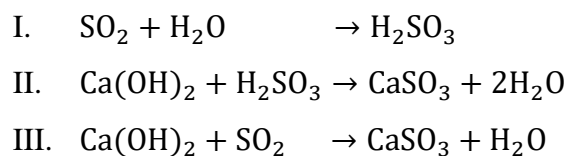
Menurut Hugot, pemurnian secara defekasi adalah cara pemurnian yang paling sederhana di pabrik gula, bahan pembantu hanya berupa kapur tohor. Kapur /tohor hanya digunakan untuk menetralkan asam-asam yang terdapat dalam nira. Nira yang telah diperoleh dari mesin penggiling diberi kapur sampai diperoleh harga pH sedikit alkalis (pH 7,2). Pada proses ini pemurnian nira dengan cara pemberian kapur (air kapur) dan pemanasan pendahuluan. Proses defekasi dilakukan pada defekator dan di dalamnya

terdapat pengaduk sehingga larutan yang bereaksi dalam defekator menjadi homogen. Reaksi yang terjadi di dalam defekator, yaitu:



B. Sulfitasi

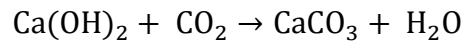
Menurut Chen, proses sulfitasi dilakukan terhadap nira tebu ditambah kapur yang berlebih dan selanjutnya kapur dinetralkan dengan gas belerang dioksida (SO_2), maka akan diperoleh garam kapur yang mudah mengendap. Pada proses ini nira mentah diberi susu kapur yang berlebihan dan kemudian kelebihannya dinetralkan oleh sulfur dioksida (SO_2). Reaksi pemurnian nira cara sulfitasi adalah sebagai berikut:



Endapan CaSO_3 yang terbentuk dapat mengabsorpsi partikel-partikel koloid yang berada di sekitarnya, sehingga kotoran yang terbawa oleh endapan semakin banyak. Gas SO_2 juga mempunyai sifat dapat memucatkan warna, sehingga diharapkan dapat dihasilkan kristal dengan warna yang lebih terang, khususnya pada nira kental penguapan.

C. Karbonatasi

Menurut Blanco, untuk proses karbonatasi dilakukan dengan menggunakan susu kapur dan karbondioksida (CO_2) sebagai bahan pembersih (*clarifying agent*). Susu kapur yang ditambahkan pada cara ini lebih banyak dibandingkan cara sulfitasi, sehingga menghasilkan endapan yang lebih banyak. Gas CO_2 berguna untuk mengendapkan kelebihan kapur menjadi CaCO_3 dan bahan bukan gula akan terabsorpsi oleh CaCO_3 , sehingga campuran endapan tersebut mudah disaring. Reaksi yang terjadi adalah:



II.1.4 Produk Gula

Produk utama yang dihasilkan oleh PG. Rejo Agung Baru adalah gula kristal putih. Gula Kristal Putih yang dihasilkan dikemas dalam karung plastik dan plastik inner dengan berat 50 kg dengan nama pasar “Raja Gula” Selain itu gula kristal putih hasil produksi PG.Rejo Agung Baru juga memiliki standar sesuai dengan SNI, bersertifikat Halal dan lulus uji BPOM. Selain gula kristal putih yang dihasilkan, ada beberapa produk samping yang dihasilkan selama proses produksi gula, diantaranya:

1. Tetes

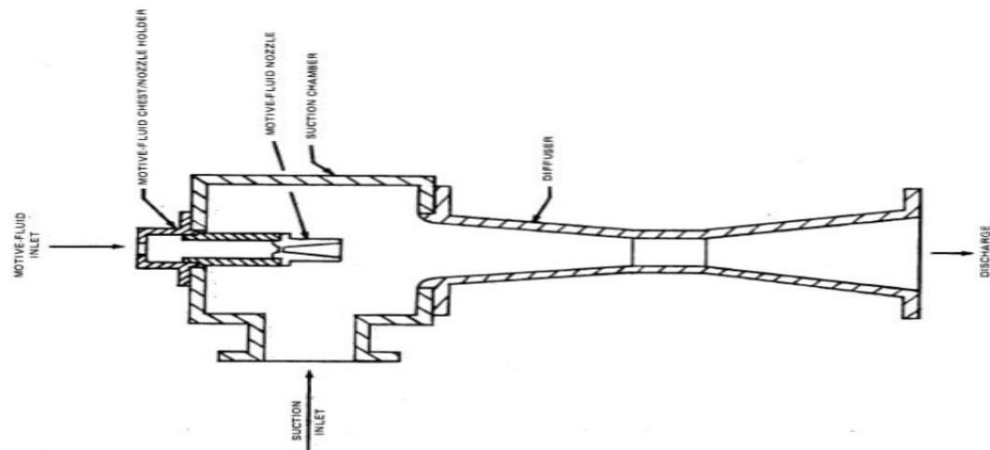
Tetes didapat dari proses pemisahan gula kristal dalam proses pengolahan gula. Tetes sendiri dimanfaatkan bahan baku pabrik alkohol/spirtus dan bumbu masak MSG.

2. Blotong

Blotong adalah endapan dari nira kotor pada proses pemurnian nira. Blotong juga dapat digunakan sebagai pupuk organik dan briket.

II.1.5 Steam Jet Ejector

Prinsip kerja *steam jet ejector* adalah mengubah energi tekanan dari uap penggerak menjadi energi kecepatan. Proses perubahan energi terjadi ketika uap penggerak dialirkan masuk *inlet nozzle*, selanjutnya uap penggerak diekspansikan oleh *nozzle* sehingga terjadi penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan. Tekanan di sekitar mulut *outlet nozzle* menjadi rendah. Tekanan di sekitar mulut outlet tersebut lebih rendah daripada tekanan gas yang ingin dihisap sehingga menyebabkan gas tersebut terhisap oleh *steam jet ejector*.



Gambar II.1 Steam Jet Ejector

Kinerja steam jet ejector adalah kemampuan kerja steam jet ejector dalam mengekstraksi gas-gas yang tidak dibutuhkan dari kondensor, untuk menjaga kevakuman kondensor. Perhitungan kinerja difokuskan pada tekanan diffuser.

(Fikran, 2018)

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 Boiler

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari satu sumber pembakaran yang biasanya berupa bahan bakar. Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu *Furnace* dan *SteamDrum*.

Untuk dapat menghasilkan uap air tentunya diperlukan air yang sesuai dengan kadar pH yang telah ditetapkan sebelumnya. Air disalurkan ke boiler melalui feed water pump. Proses di boiler dengan urutan sebagai berikut:

1. *Furnace* (Ruang bakar) adalah bagian utama dari boiler, dimana tempat berlangsungnya proses pembakaran antara bahan bakar (ampas tebu) dengan udara pembakaran.



2. *Downcomers* mensirkulasikan fluida yang masih berwujud air pada steam drum menuju lower header boiler dan masuk ke *water wall* boiler atau *riser*.
3. *Economizer* berfungsi menaikkan temperatur *feed water pump* hingga mencapai titik didihnya, pemanas pada *economizer* memanfaatkan gas buang dari boiler.
4. *Steam Drum* yaitu bejana bertekanan tempat menampung air dari *economizer* dan uap hasil penguapan dari *water wall*, disini juga *steam drum* berfungsi sebagai pemisah antara air dan uap. Uap sendiri menuju *superheater* sedangkan air turun melalui *downcomer* menuju *water wall/riser*.
5. *Superheater*, uap keluaran dari *steam drum* akan menuju *superheater*. Pada *superheater*, uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*).
6. *Reheater* memanaskan ulang uap keluaran dari *high pressure* sebelum digunakan memutar *Intermediate*. Pada *reheater* yang mengalami perubahan yaitu temperaturnya sedangkan *pressure* tetap tidak mengalami perubahan.
7. *Desuperheater* menjaga temperatur uap (*main steam*) dan reheat steam, dengan cara menyuntikkan air bertekanan yang didapat/diambil dari discharge *boiler feed pump* agar tidak melebihi temperatur kerjanya.
8. *Safety Valve* atau katup pengaman berfungsi sebagai media pengaman jika terjadi tekanan yang berlebih (*over pressure*) pada *system safety valve* dipasang pada beberapa tempat yaitu pada *steam drum*, *superheater pipe*, dan *reheater inlet, outlet pipe*.

(Tarsudin, 2019)

II.2.2 Klasifikasi Boiler

Seiring dengan perkembangan teknologi dan evaluasi dari produk boiler berdasarkan nilai emisi gas buang yang mencemari lingkungan, maka boiler diklasifikasikan berdasarkan fluida yang mengalir, yaitu:

1. Fire Tube Boiler (Ketel Pipa Api)

Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa-pipa api dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa-pipa tersebut. Pipa-pipa api berada atau terendam di dalam air yang akan diuapkan. Volume sekitar $\frac{3}{4}$ dari tangki ketel. Jumlah pass dari boiler tergantung dari jumlah laluan vertikal dari pembakaran diantara furnace dan pipa-pipa api. Boiler jenis ini banyak digunakan untuk industri pengolahan mulai dari skala kecil sampai dengan skala menengah. Keunggulan dari boiler pipa api yaitu tidak membutuhkan air isian boiler dengan kualitas yang tinggi, konstruksi sederhana sehingga perawatan lebih mudah dan endapan lumpur lebih mudah dibersihkan.

2. Water Tube Boiler (Ketel Pipa Air)

Pada ketel pipa air, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada pembangkit listrik. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut:

- a. Force, induce dan balance draft membantu meningkatkan efisiensi.
- b. kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari pengolahan air.
- c. memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.

II.2.3 Sistem Boiler

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem *boiler* memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (*low pressure/LP*), dan tekanan-temperatur tinggi (*high pressure/HP*), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan

menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem *boiler* tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa *steam* dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri.

Sistem *boiler* terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar.

- Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem *steam*.
- Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan.
- Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

(Pesulima, 2017)

II.2.4 Efisiensi Boiler

Efisiensi merupakan barometer kinerja suatu mesin. pengertian efisiensi mesin ketel uap yaitu nilai tingkat kemampuan kinerja boiler yang didapat dari perbandingan antara energi keluarga (*output*) dengan energi yang masuk (*input*). Metodologi ini sering kali disebut dengan metode langsung / *input - output* karena nilai efisiensinya didapat dari pembagian antara keluaran / *output* (*steam*) dengan panas masuk / *input* (bahan bakar). sehingga diperoleh rumus efisiensi boiler sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q \times (H_{\text{out}} - H_{\text{in}})}{q \times \text{NCV}} \times 100\%$$



Dimana:

η = Efisiensi Boiler (%)

Q = Steam Flow (ton/hr)

H_{out} = Enthalpy steam jenuh (kJ/kg)

H_{in} = Enthalpy air umpan (kJ/kg)

q = Jumlah konsumsi bahan bakar (ton/hr)

NCV = Nilai kalor bersih bahan bakar (kJ/kg)

(Muzaki, 2019)

II.2.5 Analisis Efisiensi Boiler PG. Rejo Agung Baru

Permasalahan :

Pada PG Rejo Agung baru memanfaatkan boiler sebagai tenaga pembangkit pada proses produksi. Terdapat 3 jenis Boiler yaitu ChengChen, Yoshimine, dan BabCock. Pada pengoperasiannya hanya menggunakan ChengChen dan Yoshimine sedangkan BabCock sebagai cadangan. Dalam prinsip kerjanya, terkadang muncul suatu masalah seperti permasalahan diruang pembakaran dan permasalahan pada bagian air, khususnya pada permasalahan efisiensi pembakaran terjadi *heat loss*. Sehingga perlu diperhatikan kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada boiler agar tidak menghambat proses produksi yang sedang berjalan. Oleh karena itu, dilakukan analisis efisiensi dan kebutuhan bahan bakar boiler yang terdapat pada PG Rejo Agung Baru. Perhitungan dilakukan dengan metode langsung (Direct Method) dengan periode data mulai 1 September 2022 – 9 September 2022.



Penyelesaian :

Tabel II.2 Data Gilingan

Tanggal	Ampas % tebu	Tebu digiling (kg/hari)	Ampas keluar gilingan (kg/hari)	Ampas masuk boiler (kg/hari)	Ampas masuk boiler (ton/jam)
1-Sep-22	24.87	5020600	1248623	1248623	52.03
2-Sep-22	27.85	4339400	1208600	1262150	52.59
3-Sep-22	29.08	4523800	1315700	1330631	55.44
4-Sep-22	27.87	5231600	1457800	1384279	57.68
5-Sep-22	28.56	5276800	1506900	1504380	62.68
6-Sep-22	28.90	5514500	1593700	1601260	66.72
7-Sep-22	28.51	5128400	1462300	1524670	63.53
8-Sep-22	27.78	4238900	1177500	1183170	49.30
9-Sep-22	27.73	4050700	1123400	1123400	46.81
Rata-rata	27.91	4813855	1343835	1351395	56.31

Berdasarkan tabel II.2 diatas dapat dilihat data gilingan tebu periode 01 September sampai dengan 9 September 2022. Terdapat rata-rata banyaknya ton tebu yang digiling per harinya dan hasil ampas tebu yang diperoleh dari hasil gilingan. Sehingga dapat diperoleh banyaknya ampas keluar gilingan. Massa ampas keluar gilingan diperoleh dari hasil kali ampas % tebu dengan banyaknya tebu yang digiling. Berdasarkan data tabel II.2 diperoleh rata-rata ampas % tebu sebesar 27.91% sedangkan banyaknya tebu yang diguiling perharinya sebanyak 4,813,855 kg/hari. Sehingga diperoleh rata-rata banyaknya ampas keluar gilingan sebanyak 1,343,835 kg/hari. Banyaknya ampas masuk boiler diperoleh dari selisih antara ampas keluar gilingan dan selisih antara massa yang nambah dari volume bagasse floor. Diperoleh rata-rata banyaknya ampas masuk boiler sebanyak 1,351,395 kg/hari atau sama dengan 56.31 ton/jam.



Tabel II.3 Data Pol Ampas dan Zat Kering Ampas

Tanggal	Jumlah Tebu (kw)	Pol Ampas (%)	Zat Kering Ampas (%)	NCV
1-Sep-22	2091.6250	1.2900	49.29	7834.2564
2-Sep-22	1808.0833	1.2600	49.23	7847.5704
3-Sep-22	1884.9167	1.2300	49.28	7838.7782
4-Sep-22	2138.0417	1.3600	49.43	7803.1904
5-Sep-22	2196.4167	1.3800	49.25	7838.5270
6-Sep-22	2297.7083	1.2900	49.55	7782.0052
7-Sep-22	2140.6667	1.3000	49.58	7775.5575
8-Sep-22	1744.2083	1.3000	49.47	7797.6638
9-Sep-22	1687.7917	1.3000	49.27	7837.8571
Rata-rata	1998.8287	1.3011	49.3722	7817.2673

Tabel II.3 diatas adalah tabel data pol ampas dan zat kering ampas periode 01 September sampai dengan 9 September 2022. Rata-rata banyaknya tebu yang digiling sebesar 1998.8287 kuintal. Diperoleh rata-rata pol ampas dan zat kering ampas berturut-turut sebesar 1.3011% dan 49.3722%. Data pol ampas dan zat kering ampas digunakan untuk menentukan NCV (Nett Calorific Value) atau besarnya nilai kalor bersih ampas tebu. NCV digunakan untuk menentukan efisiensi boiler. Diperoleh rata-rata Nett Calorific Value sebesar 7817.2673.



II.2.5.1 Boiler ChengChen

Tabel II.4 Perhitungan Efisiensi Boiler ChengChen

Tanggal	Uap		Air	Steam Flow (ton/jam)	Kebutuhan Bahan Bakar (ton/jam)	Hin (kJ/kg)	Hout (kJ/kg)	Efisiensi (%)
	Pressure Superheated (kg/cm ²)	Temperature Superheated (°C)	Temperature (°C)					
1-Sep-22	42.4167	446	147	71.25	31.2156	619.309	3319.5	78.6702
2-Sep-22	42.2083	442.7083	147	71.4583	31.5538	619.309	3312.15	77.7101
3-Sep-22	42.4583	443.7500	147	75.0708	33.2658	619.309	3314.22	77.5835
4-Sep-22	42.4583	445.2917	147	77.6	34.6070	619.309	3317.8	77.5896
5-Sep-22								
6-Sep-22								
7-Sep-22	42.4167	446.0417	147	77.8750	38.1168	619.309	3319.6	70.9514
8-Sep-22	42.3750	445.3750	147	67.3792	29.5793	619.309	3318.11	78.8397
9-Sep-22	42.5000	424.3333	147	64.9417	28.0850	619.309	3268.86	78.1671
Rata-rata	42.4048	441.9286	147	72.2315	32.3462	619.3090	3310.0343	77.0731



II.2.5.2 Boiler Yoshimine

Tabel II.5 Perhitungan Efisiensi Boiler Yoshimine

Tanggal	Uap		Air	Steam Flow (ton/jam)	Kebutuhan Bahan Bakar (ton/jam)	Hin (kJ/kg)	Hout (kJ/kg)	Efisiensi (%)
	Pressure Superheated (kg/cm ²)	Temperature Superheated (°C)	Temperature (°C)					
1-Sep-22	20.3333	342.3333	147	48.9583	20.8104	619.309	3120.64	75.1138
2-Sep-22	20.6250	345.9167	147	49.4583	21.0358	619.309	3128.04	75.1621
3-Sep-22	20.5833	343.1667	147	51.9542	22.1772	619.309	3121.97	74.7942
4-Sep-22	20.1667	336.0833	147	54.2083	23.0713	619.309	3107	74.9062
5-Sep-22	20.1250	340.7083	147	58.6625	25.0730	619.309	3117.46	74.5656
6-Sep-22	20.1739	344.7391	147	57.6217	26.6877	619.309	3126.36	69.5581
7-Sep-22	19.3750	341.5417	147	59.0833	25.4112	619.309	3120.94	74.8053
8-Sep-22	20.9167	348.3333	147	45.9750	19.7195	619.309	3132.83	75.1526
9-Sep-22	20.4167	349.4583	147	43.5542	18.7233	619.309	3136.39	74.7044
Rata-rata	20.3017	343.5868	147	52.1640	22.5233	619.3090	3123.5144	74.3069

II.2.5.3 Kesimpulan

Tabel II.4 dan Tabel II.5 merupakan tabel perhitungan efisiensi Boiler ChengChen dan Yoshimine berturut-turut. Berdasarkan tabel II.4 dapat dilihat bahwa diperoleh rata-rata efisiensi kerja boiler ChengChen. Diperoleh rata-rata efisiensi kerja boiler ChengChen sebesar 77.0731%. Berdasarkan tabel II.5 dapat dilihat bahwa diperoleh rata-rata efisiensi kerja boiler Yoshimine. Diperoleh rata-rata efisiensi kerja boiler Yoshimine sebesar 74.3069%.

Berdasarkan uraian diatas dapat diketahui bahwa efisiensi kerja boiler telah sesuai dengan teori. Dimana berdasarkan teori efisiensi kerja boiler ChengChen dan sebesar 78% - 80% dan efisiensi kinerja boiler Yoshimine sebesar 75%. Kinerja boiler dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Secara teoritis, faktor-faktor tersebut dapat diketahui dari rumus yang digunakan dalam perhitungan efisiensi boiler, misalnya steam flow atau laju aliran uap dalam boiler. Steam flow sendiri dipengaruhi oleh banyaknya air yang dikonsumsi saat pengoperasian boiler tiap jamnya. Semakin besar konsumsi air yang digunakan maka akan semakin besar pula steam flow dari boiler yang berarti akan semakin besar pula efisiensi dari boiler itu sendiri. Selain itu, faktor dari entalpi uap (H_{out}) dan air (H_{in}) juga berpengaruh dalam menentukan besar kecilnya efisiensi boiler. Dimana semakin besar perbandingan antara entalpi uap (H_{out}) dan entalpi air (H_{in}) maka semakin besar pula efisiensi dari boiler itu. Hal ini dikarenakan besarnya nilai H_{out} dengan nilai H_{in} berbanding lurus dengan efisiensi boiler.

Menurut hasil penelitian Priyanto (2022), faktor-faktor yang memengaruhi menurunnya kinerja boiler antara lain kurangnya air pengisian dan kurangnya manajemen perawatan. Kurangnya air pengisian boiler dapat disebabkan oleh kebocoran tangki yang disebabkan oleh korosi. Karena air pengisian yang kotor, penginjeksian chemical dosing yang kurang baik. Selain itu, kurangnya manajemen perawatan menyebabkan kerusakan pipa-pipa pada ketel uap dan dapat menyebabkan beberapa kerugian di dalam boiler antara lain, korosi yang disebabkan oleh reaksi kimia antara permukaan logam dengan media sekelilingnya. Selain itu dapat menyebabkan kerak atau deposit. Kerak pada ketel disebabkan oleh terbentuknya endapan air langsung pada permukaan pemindah panas atau suspense



air yang menempel pada permukaan logam, sehingga logam menjadi keras dan lengket. Penguapan pada ketel akan menyebabkan peningkatan kontaminan.



II.2.6 Limbah Cair Pabrik Gula

Limbah adalah suatu bahan yang dibuang atau terbuang dari suatu aktivitas manusia atau proses alam yang tidak memiliki nilai ekonomi dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Proses produksi pabrik gula menghasilkan tiga macam limbah, yaitu: limbah padat, cair, dan gas. Limbah padat berupa ampas tebu, blotong, dana bu ketel. Limbah padat ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan bakar pabrik gula dan bahan pembuat kompos, sedangkan limbah padat blotong dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan campuran pembuatan batu bata.

Limbah cair yang dihasilkan berasal dari air pendingin kondensor, air pencucian endapan saringan tekan, air pencucian peralatan pabrik, air proses penguapan di evaporator dan *juice heater*, domestik dan luapan nira. Semua limbah cair yang dihasilkan masuk ke dalam IPAL, kecuali air pendingin kondensor masuk ke dalam *cooling tower*.

Limbah cair memerlukan perhatian khusus dalam upaya pengendalian lingkungan industri karena setelah dilakukan pengolahan limbah cair akan dialirkan ke badan air. Bahan baku dalam proses produksi gula menggunakan bahan organik maka menghasilkan limbah cair mengandung banyak zat organik. Apabila kondisi kualitas limbah cair tidak memenuhi syarat maka akan menimbulkan terbentuknya senyawa metabolit yang toksik terhadap organisme di perairan maka akan terjadi penurunan kualitasnya.

II.2.7 BOD, COD dan TSS

Angka BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut maupun yang tersuspensi di dalam air. Penguraian zat organik adalah proses alamiah, suatu badan air dicemari oleh zat organik maka selama proses penguraiannya mikroorganisme dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air tersebut. Hal ini dapat mengakibatkan kematian ikan dalam air. Di samping itu, kehabisan oksigen dapat mengubah keadaan menjadi anaerobik sehingga dapat menimbulkan bau busuk.

Angka COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen (mg) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi total zat-zat organik yang terdapat dalam 1 liter sampel air. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh total zat-zat organik baik yang dapat diuraikan secara kimia.

Total Suspended Solid atau padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen, seperti bahan organik tertentu, tanah liat dan lainnya. Partikel menurunkan intensitas cahaya yang tersuspensi dalam air umumnya terdiri dari fitoplankton, zooplankton, kotoran hewan, sisa tanaman dan hewan, kotoran manusia, dan limbah industri (Ningrum, 2018).

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Gula dengan kapasitas antara 2500 sampai dengan 10000 ton tebu yang diolah per hari sebagai berikut

Tabel II.6 Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Gula

Parameter	Air Limbah Proses	Air Limbah Kondensor	Air Limbah Abu Ketel	Air Limbah Gabungan
	Kadar maksimum (mg/L)	Kadar maksimum (mg/L)	Kadar maksimum (mg/L)	Kadar maksimum (mg/L)
BOD	60	60	60	60
COD	100	100	100	100
TSS	50	50	50	50
Minyak dan Lemak	5	5	5	5
Sulfida (S)	0.5	0.5	0.5	0.5
pH	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0
Kuantitas limbah maksimum	0.5 m ³ per ton tebu yang diolah	5 m ³ per ton tebu yang diolah	0.5 m ³ per ton tebu yang diolah	1.5 m ³ per ton tebu yang diolah

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup

II.2.8 Perancangan Instalasi Pengolahan Limbah Cair PG Rejo Agung Baru

Limbah cair pada PG Rejo Agung Baru meliputi air pendingin kondensor, air pencucian pencucian endapan saringan tekan, air pencucian peralatan pabrik, air proses penguapan di evaporator dan *juice heater*, domestik dan luapan nira. Berikut merupakan data inlet IPAL PG Rejo Agung Baru tahun 2021

Tabel II.7 Data Inlet IPAL PG Rejo Agung Baru

Tanggal	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	Minyak & Lemak (mg/L)	Sulfida (mg/L)	pH
27 Mei - 11 Juni 2021	849.3	2270	656.7	3.5	0.0511	7.77
10 Juni - 24 Juni 2021	82.81	421.5	98	3.5	0.0095	7.02
22 Juli - 05 Agustus 2021	105.5	629.1	9	1.15	0.0162	6.71
27 Agustus - 10 September 2021	268.1	1365	32	2.5	0.0095	5.64
29 September - 13 Oktober 2021	467.2	2050	24	3	0.0095	6.66
Rata-rata	354.5820	1347.12	163.94	2.73	0.0192	6.7600

Sebelum dibuang ke lingkungan, limbah cair industri gula harus melewati tahap-tahap pengolahan limbah dengan tujuan menurunkan kadar kandungan organik pada limbah cair tersebut.



Tabel II.8 Data Outlet IPAL PG Rejo Agung Baru

Tanggal	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	Minyak & Lemak (mg/L)	Sulfida (mg/L)	pH
27 Mei - 11 Juni 2021	4.3	20.77	4	1.25	0.0095	7.74
10 Juni - 24 Juni 2021	3.78	27.61	4	1.25	0.0095	7.53
22 Juli - 05 Agustus 2021	2.45	6.028	3.5	1.15	0.0095	6.79
27 Agustus - 10 September 2021	4.19	24.87	5	1.15	0.0095	6.87
29 September - 13 Oktober 2021	2.63	20	4.5	1.15	0.0095	7.4
Rata-rata	3.44	19.856	4.2	1.19	0.0192	7.27

II.2.8.1 Analisis Kualitas Limbah Cair

Tabel II.9 Data Inlet dan Baku Mutu Limbah Cair PG Rejo Agung Baru

Parameter	Kadar Inlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
BOD	354.582	60
COD	1347.12	100
TSS	163.94	50

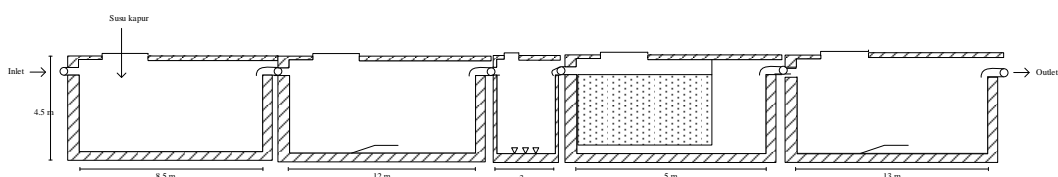
Permasalahan :

Berdasarkan Tabel II.9 dapat dilihat bahwa permasalahan IPAL yang dialami yaitu kadar inlet limbah cair proses pada PG Rejo Agung Baru Madiun tidak sesuai dengan baku mutu limbah cair yang telah ditentukan oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Gula dengan kapasitas antara 2500 sampai dengan 10000 ton tebu yang diolah per hari. Kandungan kadar BOD, COD, dan TSS yang tinggi apabila langsung dialirkan ke sungai akan membahayakan makhluk hidup. Oleh karena itu pengolahan air limbah perlu dilakukan.

Diketahui:

Total debit limbah cair yang dihasilkan = $40 \text{ m}^3/\text{jam} = 960 \text{ m}^3/\text{hari}$

Perancangan :



Gambar II.1 Design Pengolahan Limbah Cair

Proses pengolahan direncanakan seperti pada gambar diatas, air limbah masuk ke bak ekualisasi terlebih dahulu untuk menstabilkan inlet sebelum masuk ke pengolahan selanjutnya. Setelah melewati bak ekualisasi, air limbah akan masuk ke dalam bak pengendap awal untuk mengendapkan dengan tujuan menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS dalam air limbah. Kemudian air limbah masuk ke dalam kolam aerasi yang dilengkapi dengan kolam media filter untuk dikontakkan dengan media filter yang telah ditumbuhi bakteri aerob. Selanjutnya air limbah di endapkan kembali di kolam pengendap akhir dengan harapan menurunkan kadar BOD, COD,

dan TSS yang masih tersisa. Sehingga berdasarkan dari perencanaan tersebut diperoleh perkiraan kualitas outlet limbah sebagai berikut:

Tabel II.10 Perkiraan Kuallitas Outlet Limbah dari Tiap Proses Pengolahan

No	Pengolahan	BOD	COD	TSS
	Inlet	354.582 mg/L	1347.12 mg/L	163.94 mg/L
1	Bak Pengendap	35%	35%	60%
	Awal	230.4783 mg/L	875.628 mg/L	65.576 mg/L
2	Bak Aerobik	90%	90%	90%
		23.0478 mg/L	87.5628 mg/L	6.5576 mg/L
3	Bak Pengendap	15%	15%	85%
	Akhir	19.5907 mg/L	74.4284 mg/L	0.9836 mg/L

Tabel II.11 Perbandingan Kualitas Outlet Limbah dengan Baku Mutu

Parameter	Kadar Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
BOD	19.5907	60
COD	74.4284	100
TSS	0.9836	50

Berdasarkan tabel II.9 diperoleh perkiraan kualitas outlet limbah cair dari tiap proses pengolahan. Kadar BOD, COD, dan TSS inlet limbah cair PG Rejo Agung Baru berturut-turut sebesar 354.582 mg/L; 1347.12 mg/L; dan 163.94 mg/L. kadar tersebut tidak sesuai dengan baku mutu limbah cair industri gula yang telah diatur oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup yaitu sebesar 60 mg/L untuk kadar BOD; 100 mg/L untuk kadar COD; dan 50 mg/L untuk kadar TSS. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan yang dilakukan yaitu melalui proses sedimentasi, dan aerasi. Pengolahan pertama melalui proses pengendapan awal dengan harapan pada proses ini mampu menghilangkan 60% TSS dan 35% BOD dan COD. Sehingga akan diperoleh kadar BOD, COD, dan TSS berturut-turut dari bak pengendap awal sebesar 230.4783 mg/L; 875.628 mg/L; dan 65.576 mg/L. Selanjutnya dilakukan pengolahan kedua yaitu melalui proses aerasi dengan bantuan mikroorganisme INOLA 121. Pada proses ini

diharapkan mampu menghilangkan 90% BOD, COD, dan TSS. Sehingga diperoleh kadar BOD, COD berturut-turut dari proses ini sebesar 23.0478 mg/L; 87.5628 mg/L; dan 6.5576 mg/L. Karena kadar BOD, COD dan TSS belum memenuhi standar baku mutu limbah cair, maka pengolahan dilanjutkan ke proses pengendapan akhir dengan harapan dapat menghilangkan 85% TSS dan 15% BOD dan COD. Sehingga pada proses ini diperoleh kadar BOD, COD, dan TSS berturut-turut sebesar 19.5907 mg/L; 74.4284 mg/L; dan 0.9836 mg/L. Perbandingan kadar BOD, COD, dan TSS akhir proses pengolahan dapat dilihat pada tabel II.11. Kadar tersebut telah memenuhi standar baku mutu limbah cair industri gula sehingga dapat langsung dibuang ke sungai.

Kesimpulan :

Tabel II.12 Perbandingan Outlet IPAL Design dengan Eksisting

Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Existing (mg/L)	Design (mg/L)
BOD	60	3.436	19.5907
COD	100	19.8556	74.4284
TSS	50	4.2	0.9836

Berdasarkan Tabel II.12 diatas dapat dilihat perbandingan outlet IPAL PG Rejo Agung Baru dengan pengolahan yang telah dilakukan dengan rencana pengolahan yang kami ajukan. Pengolahan IPAL pada PG Rejo Agung Baru melalui bak ekualisasi, kemudian menuju bak aerasi I, bak aerasi II, bak aerasi III, dan bak aerasi IV dan kemudian menuju bak pengendapan dan terakhir melalui bak pengendap pasir. Terdapat penambahan bak pengendap awal yang terletak diantara bak ekualisasi dan aerasi pada rencana pengolahan IPAL yang kami ajukan. Dalam hal ini penambahan bak pengendap awal dapat membantu mengurangi kadar TSS sebesar 0,9836 mg/L yang terkandung dalam air limbah dengan pengolahan IPAL yang telah dilakukan PG Rejo Agung Baru sehingga diperoleh kadar TSS akhir sebesar 4.2 mg/L.