

## ANALISIS NERACA MASSA PADA *POWER BOILER* DENGAN BAHAN BAKAR KULIT KAYU

Imaniah Sriwijayah<sup>1)</sup>, Rikky Leonard<sup>2)</sup>, Eky Novianarenti<sup>3)</sup>, Teguh Prasetyo<sup>4)</sup>,  
Kiaagus Muhammad Abubakar<sup>5)</sup>

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>3,4)</sup>Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>5)</sup>Jurusan Direktoral Jenderal Perhubungan Darat, Kementerian Perhubungan

E-mail: imaniahsriwijayah@ppns.ac.id

### Abstract

Bark (*accasia mangium*) is a raw material for the pulp and paper industry. This wood has the advantage of cellulose content and fast growth, so this wood is always the choice for raw material use in the pulp industry. The management process will produce a by-product in the form of acacia bark waste (*Acacia mangium*). This research was carried out to process tree bark as a burning process in the furnace which will later be used as steam in the boiler so that it can produce electricity. The aim of this research is to analyze the amount of mass in the input and output in the mass balance. The results obtained from the mass balance amounted to 211723381.08. The input and output values were the same/balanced in accordance with the basic law of chemistry, namely the law of conservation of mass.

**Keywords:** *bark, boiler, mass balance, accasia mangium, heat exchanger*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu tempat di dunia yang paling potensial untuk industri *pulp* dan kertas karena kawasannya yang luas. Indonesia adalah salah satu negara yang berkembang yang sedang menjalankan pembangunan di berbagai sektor (Izzah & Yohanala, 2021.). Dalam berbagai kesempatan pemerintah telah merancang bahwa industri *pulp* dan kertas merupakan salah satu industri andalan Indonesia dan akan menjadi salah satu pemasok *pulp* dan kertas yang utama di pasar Internasional. Pertumbuhan industri *pulp* dan kertas diproyeksi akan mengalami perkembangan yang signifikan. Industri *pulp* dan kertas memberikan sumbangan yang cukup besar terhadap penyediaan lapangan kerja serta PDB (Produk Domestik Bruto) nasional. Industri *pulp* dan kertas Indonesia memiliki keunggulan komparatif bila dibandingkan dengan negara lain. Keunggulan tersebut diantaranya adalah dari segi bahan baku. Indonesia memiliki kesempatan yang besar untuk menguasai pasar *pulp* dan kertas dunia karena telah diketahui Indonesia memiliki ketersediaan bahan baku melimpah

yang berupa wilayah hutan dan pohon jenis *Acacia* dan *Eucalyptus* yang dapat tumbuh dengan periode yang cukup cepat ( $\pm 5$  tahun) (Paminto dkk., 2020).

Dalam industri *pulp* dan kertas biomassa salah satunya kayu digunakan untuk menghasilkan produk residu termasuk kulit kayu dari penebangan hutan dan lindi hitam (*Black Liqour*) yang termasuk sumber daya biomassa untuk energi (Naqvi et al dalam Herlin et al, 2023). Proses pemanfaatan kulit kayu perlu dilakukan perhitungan serta analisis neraca massa agar dapat diketahui jumlah aliran bahan yang masuk dan keluar. Prinsip dasar neraca massa yaitu massa masuk sama dengan massa keluar (Ermawati, 2022). Menurut Himmelblau dan James (2012) persamaan neraca massa secara umum ditulis sebagai persamaan dimana :  $Accumulation = Input - Output - Consumption + Generation$ . Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni: massa tak dapat dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang tidak diketahui (Saragih, 2023). Neraca massa pada proses pengolahan kulit kayu merupakan perhitungan kuantitatif dari semua bahan-bahan yang masuk, yang keluar, dan yang terbuang atau hasil samping. Perhitungan neraca massa digunakan untuk mendapatkan kesetimbangan massa input dan output dari proses pengolahan kulit kayu agar tidak ada ketidakseimbangan dalam melaksanakan kegiatan dalam proses produksi maka diperlukannya menerapkan analisis neraca massa pada pengolahan biomassa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca massa pada Power Boiler dengan menggunakan bahan bakar kulit kayu.

## **METODE PENELITIAN**

### **Pengambilan Material**

Proses analisis dan pengambilan material yang digunakan dilakukan di Industri X yang berada di Kawasan Provinsi Sumatera Selatan selama 6 hari masa operasional. Adapun parameter yang diambil yakni masa kulit kayu (kg), komposisi dari kulit kayu (%), temperatur air umpan masuk (celcius), temperatur kulit kayu sebelum masuk Boiler (celcius), temperatur udara masuk (celcius), temperatur di flue gas setelah masuk

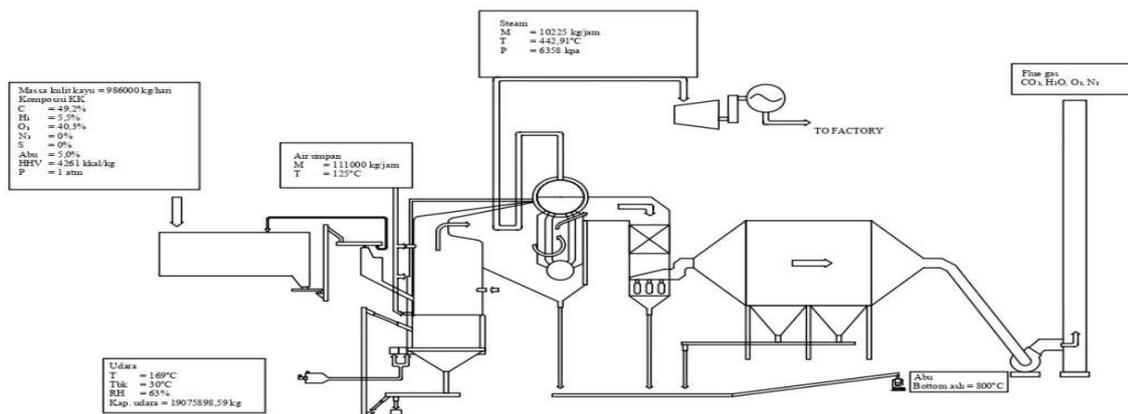
Boiler (celcius), tekanan dari steam yang dihasilkan (Kpa), temperatur steam yang dihasilkan (celcius), komposisi flue gas (%), *Feed Water* (ton/jam).



Gambar 1. Flowchart Penelitian

### Sistematika Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode energi. Tahapan untuk menghitung nilai neraca masa pada *power boiler* dapat dilihat pada Gambar 2.

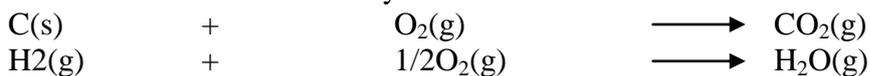


Gambar 2. Power Boiler

### Perhitungan Neraca Massa

- Menghitung Mol Gas Hasil pembakaran

Reaksi Pembakaran Kulit Kayu :



|                                      |   |                              |
|--------------------------------------|---|------------------------------|
| Mol O <sub>2</sub> total dari reaksi | = | 53983,5 kmol                 |
| Mol CO <sub>2</sub> dari reaksi      | = | 40.426 kmol                  |
| Mol H <sub>2</sub> O dari reaksi     | = | 27.115 kmol                  |
| O <sub>2</sub> teoritis              | = | (53983,5-12417,4375) kmol    |
|                                      | = | 41566,0625 kmol              |
| Mol Exhaust gas                      | = | <u>CO<sub>2</sub> reaksi</u> |

% CO<sub>2</sub> exhaust gas

$$= \frac{40.426 \text{ kmol}}{5,59/100}$$

$$= 723184,25 \text{ kmol}$$

Maka, mol komponen *Exhaust Gas* :

$$\begin{aligned} \text{Mol CO}_2 &= \% \text{ CO}_2 \times \text{mol Exhaust Gas} \\ &= 5,59\% \times 723184,25 \text{ kmol} \\ &= 40.426 \text{ kmol} \times 44 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.778.774 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol O}_2 &= \% \text{ O}_2 \times \text{mol Exhaust Gas} \\ &= 5,37\% \times 723184,25 \text{ kmol} \\ &= 38834,99 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.242.720 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ udara} &= \text{O}_2 \text{ teoritis} + \text{O}_2 \text{ Exhaust Gas} \\ &= (41566,0625 + 38834,99) \text{ kmol} \\ &= 80401,05 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.572.834 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{H}_2\text{O Bark} = 493.000 \text{ kg}$$

Maka, mol *exhaust gas* :

|                  |   |  |                          |
|------------------|---|--|--------------------------|
| CO <sub>2</sub>  | = |  | 40.426 kmol              |
| O <sub>2</sub>   | = |  | 38834,99 kmol            |
| N <sub>2</sub>   | = | (N <sub>2</sub> bahan bakar + N <sub>2</sub> udara)    | = (x) kmol               |
| H <sub>2</sub> O | = | (H <sub>2</sub> O pembakaran + H <sub>2</sub> O udara) | = (27.115 + y) kmol      |
| Total            | = |  | (106375,99 + x + y) kmol |

• **Menghitung Mol N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O pada *exhaust gas* :**

$$\begin{aligned} 723184,25 \text{ kmol} &= (106375,99) + x + y \text{ kmol} \\ x + y &= (723184,25 - 106375,99) \text{ kmol} \\ x &= (616808,26 - y) \text{ kmol.} \end{aligned} \tag{1}$$

Jika diketahui kelembaban udara masuk :

$$\text{Temperatur} = (30^\circ\text{C} \times 1,8) + 32 = 86^\circ\text{F}$$

$$\text{RH} = 63\%$$

Maka, Humuditas = 0,022 kmol H<sub>2</sub>O/kmol udara kering

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= 0,022 (\text{O}_2 \text{ udara} + \text{N}_2 \text{ udara}) \\ y &= 0,022 (80401,05 \text{ kmol} + x \text{ kmol}) \\ y &= (1768,8231 + 0,022 x) \text{ kmol} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \text{Udara Basah} &= \text{Sisa Total Exhaust Gas} + \text{O}_2 \text{ udara} \\ &= (723184,25 - 106375,99) \text{ kmol} + 80401,05 \text{ kmol} \\ &= 697209,31 \text{ kmol} \end{aligned}$$

**Substitusikan Pers.2 ke Pers.1**

$$\begin{aligned} x &= (616808,26 - y) \text{ kmol} \\ x &= (616808,26 - (1768,8231 + 0,022 x)) \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= (615039,4369 - 0,022 x) \text{ kmol} \\
 x + 0,022 x &= 615039,4369 \text{ kmol} \\
 x &= (615039,4369 : 1,022) \text{ kmol} \\
 x &= 601799,8404 \text{ kmol} \\
 \text{H}_2\text{O udara} &= 0,022 \times (\text{O}_2 \text{ udara} + \text{N}_2 \text{ udara}) \\
 y &= 0,022 \times (80401,05 + 601799,8404) \text{ kmol} \\
 y &= 0,022 \times 682200,8904 \text{ kmol} \\
 y &= 15008,41959 \text{ kmol} \\
 \text{Udara Basah} &= \text{udara kering} + \text{H}_2\text{O dari udara} \\
 \text{Udara kering} &= \text{Udara Basah} - \text{H}_2\text{O dari udara} \\
 &= (697209,31 - 15008,41959) \text{ kmol} \\
 &= 682200,8904 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

*H<sub>2</sub>O Exhaust Gas*

$$\begin{aligned}
 \text{Mol H}_2\text{O} &= \text{H}_2\text{O reaksi} + \text{H}_2\text{O bark} + \text{H}_2\text{O udara} \\
 &= (488.070 + 493.000 + 270151,5526) \text{ kg} \\
 &= 1251221,553 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

*N<sub>2</sub> Exhaust Gas*

$$\begin{aligned}
 \text{Mol N}_2 &= \text{N}_2 \text{ dalam Bahan Bakar} + \text{N}_2 \text{ udara} \\
 &= (0 + 601799,8404) \text{ kmol} \\
 &= 601799,8404 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
 &= 16850395,53 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Neraca massa pada pengolahan kulit kayu dianalisa dengan menimbang seluruh komponen dan mengidentifikasi komponen-komponen yang ada dalam tiap proses pengolahan biomassa. Pada penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan perhitungan neraca massa pada kondisi operasi *Power Boiler* pada 1 hari operasi. Bahan bakar yang digunakan 1 hari operasi yakni 986 ton x 1000 kg/ton = 986.000 kg. *Pulp* yang dihasilkan oleh PT.X adalah *pulp* yang berasal dari 100% kayu *accasia mangium*. Kayu *accasia mangium* ini berasal dari hutan tanaman industri. Proses pemasakan atau *cooking* menggunakan proses *kraft*, dimana lindih putih atau *whiteliquor* terdiri dari NaOH dan Na<sub>2</sub>S. Keberadaan Na<sub>2</sub>S akan menahan reaksi pemutusan rantai selulosa pada ujung-ujungnya sehingga diperoleh *pulp* dengan viskositas yang lebih tinggi dan sifat fisik yang lebih kuat. Kemudian untuk memanfaatkan kembali limbah hasil pemotongan kayu (kulit kayu) yang akan digunakan pada *Boiler*, maka PT.X melakukan pemanfaatan kulit kayu sebagai bahan bakar di *Power Boiler*. Mula-mula kulit kayu dikirimkan dari *drumbarker* ditampung di tempat penampung (*bark yard*) menuju unit

*Power Boiler* untuk dibakar. Adapun tahapan proses pembakaran yaitu kulit kayu masuk ke *Power Boiler* melalui *Bed Conveyer*, sebelum kulit kayu dimasukkan ke dalam *Furnace* (ruang bakar) terdapat pasir yang digunakan sebagai media pemanas. Fungsi dari *Power Boiler* adalah tempat untuk proses penguapan air yang mana panas yang didapatkan dari proses pembakaran kulit kayu, tetapi karena memerlukan suhu yang tinggi didalam *Furnace* dan menghasilkan suhu yang masih tinggi pula di *Flue Gas* maka kondisi tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan *steam* atau uap yang kemudian digunakan untuk memutar turbin yang akhirnya menghasilkan listrik. Tujuan dilakukan perhitungan neraca massa adalah untuk mengetahui jumlah aliran bahan yang masuk dan yang keluar dapat terlihat. Perhitungan neraca massa nantinya juga berguna untuk mengetahui nilai efisiensi. Hal yang pertama sekali dilakukan untuk menghitung neraca massa adalah menganalisa komposisi dari masa kulit kayu yakni *accasia mangium* kemudian menghitung mol gas hasil pembakaran, menghitung *exhaust gas* sehingga setelah itu dilakukan perhitungan terhadap komposisi masuk dan keluar ruang bakar maka didapatkanlah neraca massa seperti pada Tabel 2. Pada proses perhitungan neraca massa didapatkanlah hasilnya input dan output **211723381,08 kg** ini sesuai dengan prinsip dasar neraca massa yaitu massa masuk sama dengan massa keluar. Evaluasi terhadap alat-alat di pabrik perlu dilakukan secara berkala. Hal ini disebabkan jika kekuatan alat menurun maka produk yang dihasilkan akan terpengaruh (Ulandari, 2017). Salah satu penilaian yang dilakukan di PT.X adalah perhitungan neraca massa paada peralatan proses. Keseimbangan massa digunakan untuk mengetahui komposisi serta aliran massa yang massa yang masuk dan keluar setiap komponen dalam sistem. Adanya perhitungan neraca massa akan memudahkan dalam menentukan jumlah umpan sehingga terjadi optimasi pada proses (Rohmah & Setiawan, 2023). Menurut Hougen dan Watson (1954), untuk mengetahui efisien atau tidaknya suatu proses, perlu diketahui neraca massanya. Neraca massa menjadi dasar utama penghitungan unit operasi dan proses unit. Salah satu hukum dasar kimia yaitu hukum kekekalan massa, menyatakan bahwa massa sebelum dan sesudah reaksi adalah sama atau sama besar, sehingga secara umum persamaan neraca massa adalah:  $M_{input} = M_{output}$ .

Tabel 1  
Komposisi Mol Kulit Kayu

| Komponen       | Massa %    | Massa (kg)     | Mol (kmol)        |
|----------------|------------|----------------|-------------------|
| H <sub>2</sub> | 5,5        | 54.320         | 27.115            |
| C              | 49,2       | 4.855.112      | 40.426            |
| O <sub>2</sub> | 40,3       | 397.358        | 12417,4375        |
| N <sub>2</sub> | 0,0        | 0              | 0                 |
| S              | 0,0        | 0              | 0                 |
| Abu            | 5,0        | 49.300         | -                 |
| <b>Total</b>   | <b>100</b> | <b>986.000</b> | <b>79958,4375</b> |

Tabel 2  
Neraca Massa Kulit Kayu

| Komposisi                |                  | Input              | Output              |
|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
|                          |                  | Massa (kg)         | Massa (kg)          |
| Kulit Kayu               | C                | 485.112            |                     |
|                          | H <sub>2</sub>   | 54.230             |                     |
|                          | O <sub>2</sub>   | 397.358            |                     |
|                          | N <sub>2</sub>   | 0                  |                     |
|                          | S                | 0                  |                     |
|                          | Abu              | 49.300             | 49.300              |
|                          | H <sub>2</sub> O |                    |                     |
|                          | Bark             | 493.000            |                     |
| Udara                    | N <sub>2</sub>   | 16850395.53        |                     |
|                          | O <sub>2</sub>   | 2.572.834          |                     |
|                          | H <sub>2</sub> O | 27015,5526         |                     |
| Gas Keluar (Exhaust Gas) | CO <sub>2</sub>  |                    | 1.778.744           |
|                          | O <sub>2</sub>   |                    | 1.242.720           |
|                          | N <sub>2</sub>   |                    | 16850395,53         |
|                          | H <sub>2</sub> O |                    | 1251221,553         |
| <b>Total</b>             |                  | <b>21172381.08</b> | <b>211723381,08</b> |

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan neraca massa pada Power Boiler di PT.X diperoleh kesimpulan bahwa laju aliran massa bagian yang masuk sama dengan laju aliran massa bagian yang keluar, yakni sebesar **211723381,08 kg**. Dari sini dapat disimpulkan bahwa kinerja Power Boiler sudah cukup baik untuk mencapai kapasitas produksi yang memadai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhamatika, A., Brilliantina, A., Kurnia Novita Sari, E., Wijaya, R., Triardianto, D., Sucipto, A., Studi Teknologi Industri Pangan, P., Teknologi Pertanian, J., Negeri Jember, P., & Studi Keteknikan Pertanian, P. (n.d.). Analisis Neraca Massa dan Energi Pembuatan Keripik Kentang (*Solanum tuberosum* L) (Vol. 2, Issue 1).
- Antonius Alexander, M. (n.d.). NERACA MASA DAN NERACA ENERGI PENGELOLAAN SAMPAH TERPADU-PENUJAH KABUPATEN TEGAL. In Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ (Vol. 8, Issue 3).
- Ermawati, D., & Wiyono, A. E. (2022). Analisis Neraca Massa Pada Pembuatan Serbuk Pewarna Alami Daun Sawi (*Brassica rapa* var. *parachinensis* L.) (Mas Blance Analysis in Making Natural Coloring Powder for Murtard Leaves (*Brassica rapa* var. *parachinensis* L.). In JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN (Vol. 1, Issue 4).
- Izzah, N., & Yohanala, F. P. (n.d.). Bidang: Teknik Kimia Mineral Topik: Rekayasa dan Perancangan Proses Teknik Kimia ANALISIS NERACA MASSA PADA STONE CRUSHING PLANT DESA LAWAWOI KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG.
- Nurfaustina Brian Titasari, A., Firdausi, E., Khairina, S., Maryanty, Y., Agustulus Widodo, A., Teknik Kimia, J., Negeri Malang, P., Soekarno Hatta No, J., Ranupakis Nomor, J., Lor, K., Jatiroto, K., & Timur, J. (n.d.). PERHITUNGAN NERACA MASSA PADA STASIUN PEMURNIAN DENGAN KAPASITAS GILING 7000 TCD PT. PERKEBUNAN NUSANTARA XI PG JATIROTO LUMAJANG. 2022(4), 859–867. <http://distilat.polinema.ac.id>
- Rohmah, Z. N. A. C., & Setiawan, O. (2023). Analisis Neraca Massa Pada Alat Centrifuge dan Rotary Dryer ZA I Bagian Produksi IA PT. Petrokimia Gresik Analysis of Mass Balance in Centrifuge and Rotary Dryer ZA I Production Department IA PT. Petrokimia Gresik. In Jurnal Integrasi Proses dan Lingkungan (Vol. 1, Issue 1). <http://journal.umg.ac.id/index.php/jipl/home>
- Saragih, K. P., & Hutabarat, T. (2023). JURNAL REKAYASA, TEKNOLOGI PROSES DAN SAINS KIMIA PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN ENERGI PADA PROSES PELUMATAN FRUIT DI UNIT DIGESTER PT. SOCFIN INDONESIA PERKEBUNAN TANAH GAMBUS.