

## ANALISIS PENGARUH TOTAL DRY SOLID BLACK LIQUOR TERHADAP EFISIENSI RECOVERY BOILER

Herlin Sumarna<sup>1)\*</sup>, Baiti Hidayati<sup>1)</sup>, Tri Satya Ramadhoni<sup>1)</sup>, Toni Okviyanto<sup>1)</sup>, Zainuri Anwar<sup>1)</sup>,  
Ahmad Imam Rifa'i<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jln. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139

\*email korespondensi: [herlin.sumarna@polsri.ac.id](mailto:herlin.sumarna@polsri.ac.id)

### INFORMASI ARTIKEL

Received:  
08/06/2023

Accepted:  
23/06/2023

Online-Published:  
27/06/2023

### ABSTRAK

Dalam industri *pulp* dan kertas, sejumlah besar biomassa (kayu) telah digunakan dan menghasilkan produk sampingan atau residu yang dihasilkan dari industri tersebut termasuk kulit kayu, sisa penebangan hutan dan lindi hitam (*Black Liquor*) yang merupakan salah satu sumber daya biomassa utama yang dapat digunakan untuk tujuan energi. Selain sebagai bahan bakar, proses *recovery boiler* dapat mengubah *black liquor* menjadi *green liquor*, dimana *green liquor* akan dibutuhkan pada proses produksi *pulp*. penulisan jurnal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *total dry solid* dalam *black liquor* terhadap efisiensi *recovery boiler*. analisa yang dilakukan menggunakan perhitungan energi pada *recovery boiler* selama lima hari. Dari hasil perhitungan diketahui terjadi penurunan dan kenaikan pada efisiensi *recovery boiler*, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya proses penyerapan panas yang dialami oleh air umpan boiler, massa *black liquor*, dan persentase *total dry solid*. *Total dry solid* akan mempengaruhi kandungan air yang akan memasuki ruang pembakaran, semakin tinggi %TDS semakin banyak kandungan air yang masuk ruang pembakaran dan hal tersebut akan mempengaruhi efisiensi *recovery boiler*. Hasil perhitungan efisiensi *recovery boiler* tertinggi terjadi pada hari pertama yaitu 65,24% dan hasil perhitungan efisiensi *recovery boiler* terendah terjadi pada hari ke empat yaitu 62,96%.

**Kata Kunci** : *Black Liquor, Total Dry Solid, Recovery Boiler. Energi*

### ABSTRACT

*In the pulp and paper industry, a large amount of biomass (wood) has been used and produces by-products or residues resulting from the industry including wood bark, remaining logging and black liquor which is one of the main biomass resources that can be used for energy purposes. Aside from being a fuel, the recovery boiler process can convert black liquor into green liquor, where green liquor will be needed in the pulp production process. Writing this journal aims to determine the effect of total dry solids in black liquor on the efficiency of recovery boilers. The analysis was carried out using energy calculations in the recovery boiler for five days. From the calculation results it is known that there is a decrease and increase in boiler recovery efficiency, this is caused by several factors, including the heat absorption process experienced by the boiler feed water, the mass of black liquor, and the percentage of total dry solids. The total dry solid will affect the water content that will enter the combustion chamber, the higher the % TDS the more water content will enter the combustion chamber and this will affect the recovery efficiency of the boiler. The highest boiler recovery efficiency calculation results occurred on the first day, namely 65.24% and the lowest boiler recovery efficiency calculation results occurred on the fourth day, namely 62.96%.*

**Keywords** : *Black Liquor, Total Dry Solid, Recovery Boiler. Energi.*

©2023 The Authors. Published by  
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan  
(Indexed in SINTA)

doi:  
[doi.org/10.5281/zenodo.8085820](https://doi.org/10.5281/zenodo.8085820)

## 1 PENDAHULUAN

Dalam industri pulp dan kertas, sejumlah besar biomassa (kayu) telah digunakan dan menghasilkan produk sampingan atau residu yang dihasilkan dari industri tersebut termasuk kulit kayu, sisa penebangan hutan dan lindi hitam (*Black Liquor*) yang merupakan salah satu sumber daya biomassa utama yang dapat digunakan untuk tujuan energi (Naqvi dkk, 2010). Fungsi utama dari proses *kraft* serat kayu di pabrik pulp adalah untuk menghilangkan lignin dari kayu sehingga mendapatkan pulp dengan kecerahan tinggi di proses akhir (pemutihan). Proses ini juga menghasilkan produk lindi hitam (*black liquor*) yang diekstrak dari *digester* selama proses pemasakan kayu, dan dikirim ke *recovery boiler* (Ferreira dkk, 2010).

Menurut (Helwani dan Bahruddin, 2017) 60% dari total *black liquor* merupakan komponen organik salah satunya lignin yang diperkirakan sebesar 50% yang dihasilkan dari proses *cooking* dan *washing* pada pulp. Selain itu, *black liquor* juga mengandung air dan bahan anorganik kimia berupa garam-garam sodium. Komposisi *black liquor* yang disampaikan oleh Hidayat dan Ikhwan (2023) didominasi oleh kandungan karbon sebesar 35%, hal ini dapat dilihat pada Tabel 1.

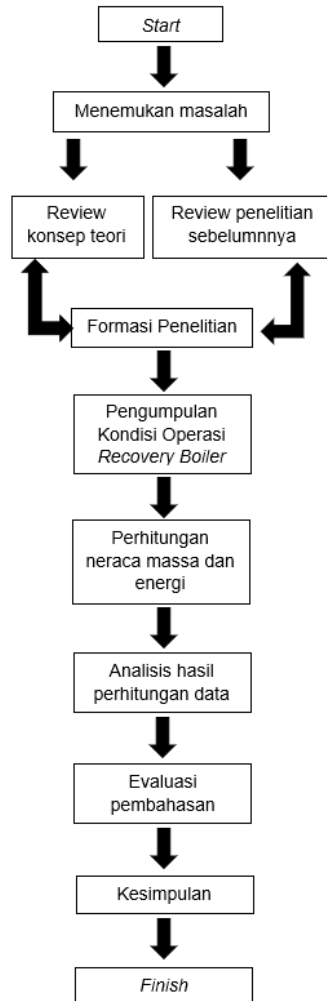
Tabel 1. Komposisi Black Liquor

<b>Primary Elements</b>	<b>Content (%)</b>
Carbon (C)	35.0
Hydrogen (H)	3.3
Oxygen (O)	35.7
Sodium (Na)	19.7
Potassium (K)	1.6
Sulfur (S)	4.0
<b>Minor Elements</b>	<b>Content</b>
Calcium (Ca)	600 ppm
Aluminum (Al)	50 ppm
Silica (Si)	700 ppm
Iron (Fe)	150 ppm
Carbonate (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	8%
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3%

Proses *kraft* menggunakan NaOH dan Na<sub>2</sub>S dilakukan pada suhu 175°C dan tekanan 6,9 atm selama 12 menit. Konversi dalam menghilangkan lignin yang didapat adalah 50% dan untuk proses *recovery* unit dilakukan pengolahan *black liquor* yang berasal dari tahap *washing* pada proses pulping. *Black liquor* dipisahkan konsentrasinya dalam *multi-effect evaporator* dan *konsentrator* merupakan titik dimana *black liquor* dapat efektif terbakar dalam *recovery boiler* yang biasanya berupa 65% padatan atau lebih (Aini dkk, 2023). Pembakaran di dalam *recovery boiler* akan menghasilkan residu (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>S, dll). Ketika dilarutkan dalam air, larutan tersebut akan membentuk menjadi '*Green Liquor*' yang selanjutnya dapat digunakan sebagai *white liquor* setelah dilakukan beberapa *treatment* (Morya dkk, 2022). *white liquor* merupakan komponen utama untuk produksi kertas. Selain itu, *black liquor* dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang bernilai kalor tinggi dengan mengubah bentuk primernya menjadi bentuk lain (seperti energi termal, energi listrik, *biofuel* untuk transportasi) (Yadav dkk., 2022). Berdasarkan penjelasan uraian di atas, penulisan jurnal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh %TDS (*Total Dry Solid*) terhadap efisiensi *recovery boiler*.

## 2. BAHAN DAN METODA

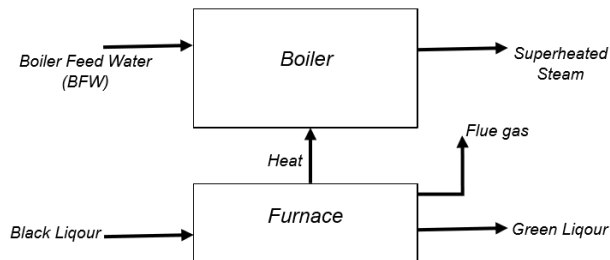
Proses analisis dilakukan di Industri *Pulp and Paper* yang berada di Kawasan Provinsi Sumatera Selatan selama lima hari masa operasi. Adapun parameter data pengamatan terbagi menjadi 2 yaitu *input recovery boiler* dan *output recovery boiler*. parameter input terdapat *total dry solid* (%), laju alir *black liquor* (m<sup>3</sup>/hr), temperatur *black liquor* (°C), *excess air* (%), temperatur udara masuk (°C), laju alir *boiler feed water*/ BFW (ton/jam), temperatur BFW (°C), tekanan BFW (kpa), HHV *black liquor* (kJ/kg), dan *relative humidity* (%). Adapun parameter *output* diantaranya adalah *flow steam* (ton/jam), temperatur *steam* (°C), tekanan *steam* (kpa), temperatur *blowdown* (°C), laju alir *blowdown* (ton/jam), dan temperatur *stack gas* (°C). Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

## 2.1 Sistematika Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode energi. Tahapan untuk menghitung nilai energi pada *recovery boiler* ditinjau dari efisiensi *thermal*. Blok diagram pada *recovery boiler* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Proses pada *Recovery Boiler*

### 2.1.1 Perhitungan Neraca Massa

- a. Menghitung massa komponen *black liqour* (BL) masuk *furnace*
  - massa total BL =  $\rho \text{ BL} \times \text{laju alir BL}$
  - $\rho \text{ BL} = \text{SPGR} \times \rho \text{ water}$
  - massa komponen =  $\% \text{TDS} \times \text{massa total BL}$
  - massa komponen BL =  $\% \text{weight} \times \text{massa dry black liqour}$

(1)

b. Menghitung massa senyawa anorganik pada *black liquor*

- massa  $K_2S$
- massa  $Na_2S$
- massa  $Na_2SO_4$
- massa  $NaCl$
- massa  $Na_2CO_3$

c. Menghitung  $O_2$  teoritis

Total  $O_2$  yang dibutuhkan dalam proses pembakaran =  $O_2$  pembakaran C +  $O_2$  pembakaran  $H_2$  (2)

d. Menghitung  $O_2$  suplai

$$\% O_2 \text{ excess} = \left( \frac{O_2 \text{ suplai} - (O_2 \text{ Teoritis} - O_2 \text{ bahan bakar})}{(O_2 \text{ teoritis} - O_2 \text{ bahan bakar})} \right) \times 100\% \quad (3)$$

e. Menghitung udara pembakaran

$$\% H_2O = \text{Humidity} \times \text{mol udara kering} \quad (4)$$

f. Menghitung total *stack gas*

$$H_2O = H_2O \text{ pada BL} + H_2O \text{ hasil reaksi} + H_2O \text{ dari udara} \quad (5)$$

$$CO_2 = CO_2 \text{ hasil reaksi}$$

$$N_2 = N_2 \text{ di udara}$$

$$O_2 = O_2 \text{ suplai} - (O_2 \text{ teoritis} + \text{pada BL}) \quad (6)$$

### 2.1.2 Perhitungan Neraca Energi

a. Menghitung panas reaktan

- Panas *sensible* udara pembakaran

$$Q = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (7)$$

(Olaf A.M. Hougen : *Chemical Process Principle*. 1954)

- Panas  $H_2O$  Pada *Black liquor*

$$Q = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (8)$$

(Olaf A.M. Hougen : *Chemical Process Principle*. 1954)

- Panas sensibel pada *Black Liquor*

$$C_{pbl} = (1 - DS) \times C_{pw} + DS \times C_{pDS} + C_{pE} \quad (9)$$

$$C_{pDS} = 1684 + 4,47 \times T$$

(10)

$$C_{pE} = (4930 - 29 \times T) \times (1 - DS) \times (DS)^{3,2} \quad (11)$$

(H. Holik (Ed), *edited by Dr. Herbert Sixta : Handbook of pulp*)

b. Menghitung panas pembakaran *black liquor*

$$Q = m \text{ BL} \times \text{HHV BL} \quad (12)$$

(Olaf A.M. Hougen : *Chemical Process Principle*. 1954)

c. Menghitung panas *stack gas*

- Panas *sensible stack gas*

$$Q = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

(13)

- Panas laten  $H_2O$  *stack gas*

$$Q = n \times l \text{ H}_2\text{O}$$

(14)

d. Menghitung panas pembentukan  $Na_2S$

$$Q = m \times h$$

(15)

e. Menghitung panas sensibel *smelt (refuse)*

$$Q = m \times h$$

f. Menghitung panas air umpan *boiler*

$$Q_a = m \times hf$$

(16)

g. Menghitung panas *steam* keluar *boiler*  
 $Q_s = m \times h_g$  pada temperatur *steam*  
 (17)

h. Menghitung panas *blowdown*  
 $Q_{blowdown} = m \times h_f$  pada temperatur *blowdown*  
 (18)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan komposisi *black liquor* yang didominasi kandungan oksigen dan karbon. Pada Tabel 3 dan Tabel 4 terdapat hasil perhitungan neraca massa dan neraca energi pada kondisi operasi *recovery boiler* hari pertama. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada hari kedua sampai hari ke lima.

**Tabel 2.** Komposisi *Black Liquor* Aktual

Komponen	Weight%
K	2,12
Cl	0,7
S	4,13
Na	19,6
C	34,8
H <sub>2</sub>	3,13
O <sub>2</sub>	35,52
Total	100

**Tabel 3.** Neraca Massa Aktual

<b>Furnace Komponen</b>	<b>Input (kg)</b>	<b>Output (kg)</b>
K	1965,49	-
Cl	648,98	-
S	3829,00	-
Na	18171,54	-
C	32263,75	-
H <sub>2</sub>	2901,88	-
O <sub>2</sub>	116799,14	2521,73
H <sub>2</sub> O	44546,97	70663,92
N <sub>2</sub>	276065,04	276065,04
CO <sub>2</sub>	-	105477,27
K <sub>2</sub> S	-	2771,85
Na <sub>2</sub> S	-	6925,64
NaCl	-	1069,45
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	804,78
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	30892,12
<b>Total</b>	<b>497191,80</b>	<b>497191,80</b>
<b>Boiler</b>	<b>Input (ton)</b>	<b>Output (ton)</b>
BFW	325,2	-
Steam	-	319,4
Blowdown	-	5,8
<b>Total</b>	<b>325,2</b>	<b>325,2</b>

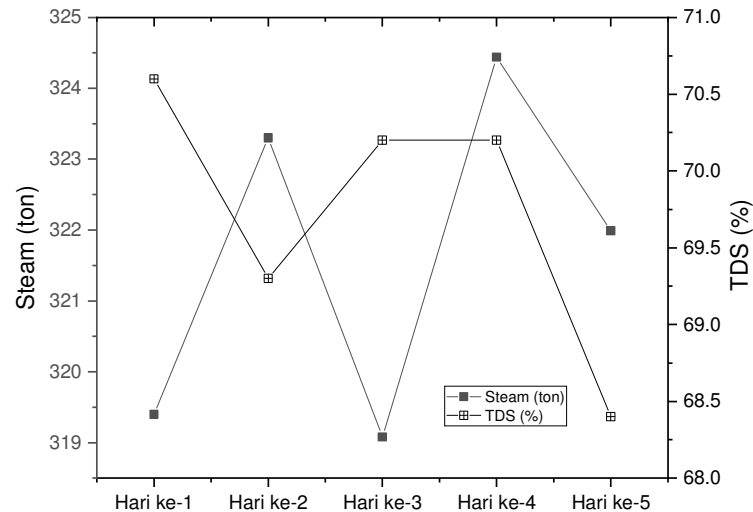
**Tabel 4.** Neraca Energi Aktual

	<b>Input (MJ)</b>	<b>Output (MJ)</b>
HHV (Q <sub>1</sub> )	1.426.992,20	
Sensibel <i>Black Liquor</i> (Q <sub>2</sub> )	38.786,54	
Sensibel H <sub>2</sub> O BL (Q <sub>3</sub> )	7.242,52	
Sensibel udara (Q <sub>4</sub> )	45.028,44	
BFW (Q <sub>5</sub> )	215.741,58	
Sensibel Flue gas (Q <sub>6</sub> )		77.206,92
Laten H <sub>2</sub> O dari reaksi (Q <sub>7</sub> )		147.683,34

Panas pembentukan $\text{Na}_2\text{S}$ ( $Q_8$ )		90.656,6062
Panas <i>sensibel Smelt</i> ( $Q_9$ )		63.695,76
Panas <i>Steam</i> ( $Q_{10}$ )		1.050.063,78
Panas <i>Blowdown</i> ( $Q_{11}$ )		6.502,22
<i>Heat Loss</i> ( $Q_{12}$ )		297.982,67
<b>Total</b>	<b>1.733.791,28</b>	<b>1.733.791,28</b>

### 3.1 Pengaruh TDS *Black Liquor* terhadap *Flow Main Steam*

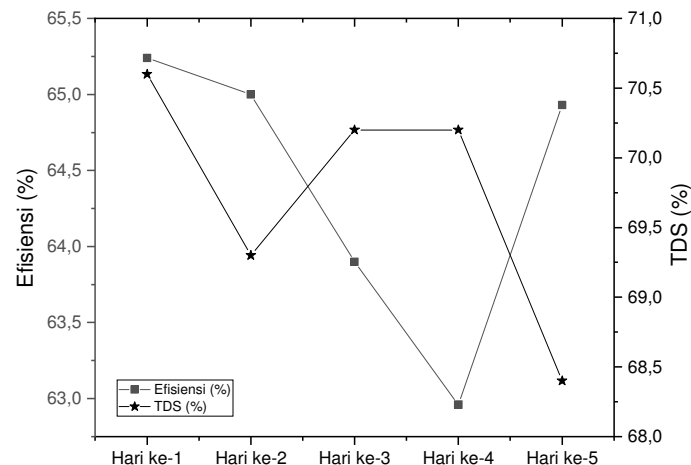
*Total Dry Solid* (TDS) merupakan total kandungan padatan yang terdapat dalam *black liquor*. *Black liquor* merupakan cairan hasil pencucian pada proses pembuatan pulp yang telah dipekatkan oleh *evaporator* untuk meningkatkan konsistensi dari bahan bakar sehingga dapat digunakan pada *recovery boiler*.



Gambar 3. Pengaruh *Total Dry Solid* terhadap *Steam* yang dihasilkan

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara *Total Dry Solid* (TDS) dan *steam* yang dihasilkan oleh *boiler*, secara umum, ketika terjadi kenaikan *total dry solid*, *steam* yang dihasilkan akan mengalami penurunan. Begitu juga sebaliknya, *steam* akan mengalami penurunan ketika *total dry solid* mengalami kenaikan. Tetapi hal tersebut tidak berlaku pada hari ke empat, dimana *steam* yang dihasilkan mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi salah satunya disebabkan laju alir *black liquor* pada hari ke empat mengalami peningkatan dibandingkan dengan hari yang lain yaitu sebesar 99,2 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ ) sedangkan yang lainnya 93,8; 97,8; 96,4; dan 98,4 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ ).

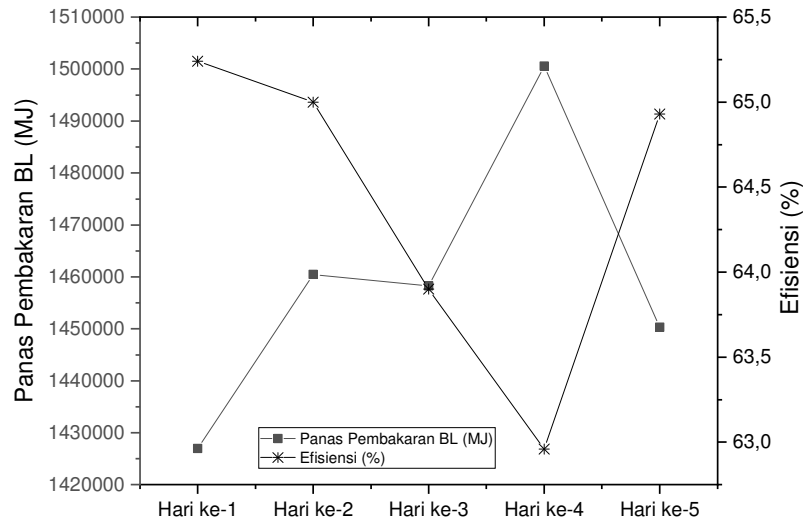
### 3.2 Pengaruh *Total Dry Solid* terhadap Efisiensi *Recovery Boiler*



Gambar 4. Pengaruh *Total Dry Solid* terhadap Efisiensi *Recovery Boiler*

Gambar 4. menunjukkan hubungan antara *total dry solid* (TDS) dan efisiensi *recovery boiler*. Data *total dry solid* (TDS) *black liquor* yang dihasilkan mengalami ketidakstabilan terhadap efisiensi *recovery boiler*, hal ini dikarenakan adanya pengaruh terhadap *flow feed water* ke steam drum dan juga dipengaruhi oleh *flow black liquor* (Sipahutar dkk, 2022). Semakin besar *flow* air yang diumpankan ke steam drum semakin banyak *flow black liquor* yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi pada *boiler feed water*.

### 3.2 Pengaruh Panas Pembakaran *Black Liquor* terhadap Efisiensi *Recovery Boiler*



**Gambar 5.** Pengaruh Panas Pembakaran *Black Liquor* terhadap Efisiensi *Recovery Boiler*

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara panas pembakaran *black liquor* terhadap Efisiensi *Recovery Boiler*. Dari grafik di atas dapat dianalisis bahwa efisiensi *boiler* tertinggi terjadi pada hari pertama dengan nilai panas pembakaran *black liquor* terkecil yaitu sebesar 1.426.992,2 MJ. Sedangkan efisiensi *boiler* terendah terjadi pada hari ke empat dengan nilai panas pembakaran *black liquor* tertinggi yaitu sebesar 1.500.592,76 MJ. Hal ini disebabkan karena massa *black liquor* yang memasuki ruang pembakaran mengalami peningkatan pada hari ke empat dan mengalami penurunan pada hari pertama.

## 4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, terjadi penurunan dan kenaikan pada efisiensi *recovery boiler*, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya proses penyerapan panas yang dialami oleh air umpan *boiler*, massa *black liquor*, dan persentase *total dry solid*. *Total dry solid* akan mempengaruhi kandungan air yang akan memasuki ruang pembakaran, semakin tinggi %TDS semakin banyak kandungan air yang masuk ruang pembakaran dan hal tersebut akan mempengaruhi efisiensi *recovery boiler*. Hasil perhitungan efisiensi *recovery boiler* tertinggi terjadi pada hari pertama yaitu 65,24% dan hasil perhitungan efisiensi *recovery boiler* terendah terjadi pada hari ke empat yaitu 62,96%

## DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N. A., Agustina, S., Darmawan, R. (2023). Pra Desain Pabrik Biopackaging dari Bagasse dan Waste Virgin Paper dengan Proses Kraft. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 12, No. 1, (2023) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)
- Ferreira, D. J. O., Cardoso, M., & Park, S. W. (2010). Gas flow analysis in a Kraft recovery boiler. *Fuel Processing Technology*, 91(7), 789–798. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.02.015>
- Helwani, Z., & Bahrudin, dan. (2017). Simulasi Termodinamika Gasifikasi Black Liquor Pabrik Pulp Larut Kraft Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 48–53.
- Hidayat & Syahtaria. (2023). Black Liquor sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan dari Industri Pulp dan Kertas. *Jurnal Kewarganegaraan* Vol. 7 No. 1 Juni 2023 P-ISSN: 1978-0184 E-ISSN: 2723-2328.

- Holak, H. 2006. *Hand book of pulp*. Vol. 1. New York: Willey Interscience Publisher
- Hougen, Olaf A. 1952. CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES. New York: John Wiley & Sons inc
- Morya, R., Kumar, M., Tyagi, I., & Pandey. A. K., Recent advances in black liquor valorization. In *Bioresource Technology* (Vol. 350). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126916>
- Naqvi, M., Yan, J., & Dahlquist, E. (2010). Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review. In *Bioresource Technology* (Vol. 101, Issue 21, pp. 8001–8015). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.013>
- Sipahutar, E., Sutanto, W., Candra, R. A., & Pasaribu, F. I. (2022). Perhitungan Efisiensi Recovery Boiler Pada Pt Toba Pulp Lestari, TBK Calculation of Boiler Recovery Efficiency at PT Toba Pulp Lestari, Tbk. *Majalah Ilmiah Teknologi Industri (SAINTI)*, 19(2), 64–67.
- Yadav, D., Pachauri, N., Verma, O. P., Sahu, D., Ratan, J. K., & Sharma, T. K. (2022). Controller design for optimal operation of Multiple Effect Evaporator of paper mills. *Results in Control and Optimization*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2022.100137>