

# ANALISIS PENGARUH ASH CONTENT TERHADAP PENENTUAN STICKY TEMPERATURE DAN FIRST MELTING TEMPERATURE RECOVERY BOILER

Ni Njoman Manik Susantini<sup>1\*</sup>, dan Muhamad Gamal Kalifatullah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sains Bandung

## ABSTRAK

*Recovery boiler* merupakan unit yang berfungsi sebagai pereduksi senyawa anorganik. Proses reduksi senyawa anorganik sering mengalami permasalahan berupa pembentukan deposit. Deposit terbentuk akibat penempelan *ash content* yang dihasilkan dari proses pembakaran pada lapisan pipa atau dinding-dinding pada *recovery boiler*. Deposit tersebut mampu menurunkan kinerja boiler, antara lain jalannya *flue gas* terhambat, proses perpindahan panas terhambat, menyebabkan *plugging* dan *scalling*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *ash content* terhadap penentuan *first melting temperature* dan *sticky temperature*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *ash content* mampu mempengaruhi besar kecilnya *sticky temperature* dan *first melting temperature*. *Sticky temperature* dan *first melting temperature* terendah dihasilkan oleh *ash content* dengan konsentrasi tertinggi, sedangkan *sticky temperature* dan *first melting temperature* tertinggi dihasilkan oleh *ash content* dengan konsentrasi terendah. *Ash content* merupakan indikator penentu *sticky temperature* dan *first melting temperature* terhadap deposit sehingga mampu memperpanjang *life team* dan kerja alat *recovery boiler*.

**Kata kunci** : *recovery boiler, ash content, sticky temperature, first melting temperature.*

## ABSTRACT

*Recovery boiler is a unit that have function as anorganic compound reducer. The process of reducing anorganic compound have problem which is deposit produce. The deposit is formed caused by sticking ash content from combustion process on layer pipes or walls in recovery boiler. That deposit is able to reduce boiler performance like hampered flue gas flow, hampered heat transfer process, caused plugging and scaling. The purpose of this research is to know the effect of ash content to determining first melting temperature and sticky temperature. The results is show that ash content have a impact to determining the value of first melting temperature and sticky temperature. Lowest value first melting temperature and sticky temperature is produced by ash content with highest concentration. While the highest sticky and first melting temperature is produced by ash content with lowest concentration. Ash content is an indicator to determine sticky and first melting temperature against deposit, so it can extend the lifetime and performance of equipment on recovery boiler.*

**Keywords**: *recovery boiler, ash content, sticky temperature, first melting temperature.*

---

<sup>1\*</sup>Corresponding author: [njoman.manik@gmail.com](mailto:njoman.manik@gmail.com); [gamalkalifatullah00@gmail.com](mailto:gamalkalifatullah00@gmail.com)

## PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, berdampak terhadap kebutuhan manusia terhadap barang-barang kebutuhan sehari-hari akan meningkat. Salah satu kebutuhan tersebut yakni, kertas. Kertas diperlukan tidak hanya sebagai alat tulis melainkan sebagai kebutuhan sehari-hari seperti, tissue, pembungkus rokok, pembungkus makanan dan minuman.

Meningkatnya permintaan pasar domestik berdampak terhadap meningkatnya produksi pada industri *pulp & kertas* sehingga kebutuhan akan proses pengolahan limbah dan pasokan energi akan ikut meningkat. Salah satu sistem yang dapat menangani limbah dan memenuhi pasokan energi pada suatu industri *pulp & kertas*. Limbah yang dihasilkan pada proses pembuatan *pulp* dan kertas salah satunya *black liquor*. *Black liquor* merupakan limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Sehingga perusahaan dapat dituntut untuk tetap beroperasi setiap hari untuk mencegah limbah *black liquor* mencemari lingkungan. Sistem yang pengolahan yang harus beroperasi penuh dalam proses berjalannya industri adalah *recovery boiler* (Shalihin, 2021).

*Recovery boiler* merupakan salah satu kunci utama dari proses pemulihan *chemical* yang digunakan pada saat proses pembuatan *pulp* secara *kraft*, atau yang dikenal dengan sebutan *black liquor*. *Recovery boiler* juga memiliki andil dalam proses produksi *steam* yang akan digunakan sebagai tenaga elektrikal pabrik dalam proses pembuatan *pulp & Kertas*.

Dalam proses pemulihan *black liquor*, *recovery boiler* memanfaatkan proses pembakaran dan tekanan pada *furnace*. Selama proses pembakaran berlangsung, *recovery boiler* menghasilkan produk

berupa senyawa organik dan anorganik. Senyawa organik yang dihasilkan akan mengikuti *flow* yang di vakum oleh *ID fan* sehingga akan melalui beberapa alat seperti *superheater* dan *boiler bank*. Senyawa *anorganik* memiliki suatu kecenderungan untuk jatuh ke *bottom furnace*. Namun, senyawa anorganik sering ikut terangkat menuju *upper furnace* dan ikut membentuk endapan (deposit) bersama senyawa organik pada pipa-pipa boiler. Deposit yang terbentuk mengakibatkan terjadi permasalahan berupa terhambatnya proses perpindahan panas, terhambatnya jalannya *flue gas*, dan *slagging*. Hal ini mengakibatkan korosi pada permukaan pipa-pipa *recovery boiler* sehingga menurunkan *life time* dan kinerja alat.

Tingkat keparahan akumulasi deposit *recovery boiler* dipengaruhi oleh *stickiness* atau lengketan partikel. Sebab, partikel yang bersifat lengket akan mudah menempel pada permukaan alat sehingga membentuk deposit. Temperatur dimana partikel berubah dari keadaan lengket ke keadaan tidak lengket disebut dengan *sticky temperature*. Temperatur tersebut penting untuk diketahui. Selain *sticky temperature*, *first melting temperature* penting untuk diketahui. *First melting temperature* merupakan temperature dimana suatu partikel mulai meleleh dan bersifat lengket sehingga memperparah deposit. Nilai *sticky temperature* dan *first melting temperature* dipengaruhi oleh komposisi partikel seperti klorida, kalium, karbonat, dan sulfida. Senyawa tersebut termasuk ke dalam *ash content* yang merupakan senyawa organik yang dihasilkan dalam proses pembakaran.

Proses terbentuknya endapan pada pipa *boiler* dapat diketahui dengan menentukan *first melting temperature* dan *sticky temperature*. Sebab, terdapat hubungan antara *first melting temperature* dan *sticky temperature* dengan *black liquor* (Isaak, 1986).

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis tertarik untuk meneliti mengenai penentuan titik *first melting temperature & sticky temperature* berdasarkan *ash content*. Permasalahan berupa terbentuknya deposit dapat dikurangi dengan cara mengatur temperatur operasi agar tidak mencapai *first melting temperature* dan *sticky temperature*.

## BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah deskriptif kuantitatif dengan teknik analisis data berupa *Statistical Process Control (SPC)*. *SPC (statistical process control)* merupakan alat kualitas yang digunakan demi memecahkan permasalahan sehingga tercapainya kestabilan proses (Montgomery, 1999). Proses pembuatan *countour map first melting temperature* dilakukan dengan menggunakan aplikasi berupa ArcGIS.

Penelitian ini diawali dengan cara pengambilan sampel, pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. *Ash Content* diambil pada area *electrostatic precipitator*. Sampel yang diperoleh akan dilakukan pengujian kandungan *ash* seperti, klorida, kalium, karbonat, sulfat, natrium dan total solid. Dengan demikian diperoleh data *ash content* dan dilakukan proses perhitungan mol% pada konten yang diperoleh.

### Perhitungan Mol%

Perhitungan mol% dilakukan dengan melihat data *ash content* yang sebelumnya sudah diperoleh. Proses perhitungan mol% meliputi mol%  $Cl/(Na+K)$ , mol%  $Cl/(K+Na)$ , dan  $CO_3^{2-}/(Na_2+K_2)$ .

- Mole%  $Cl/(Na+K)$

$$\frac{Cl}{K + Na} \times 100\%$$

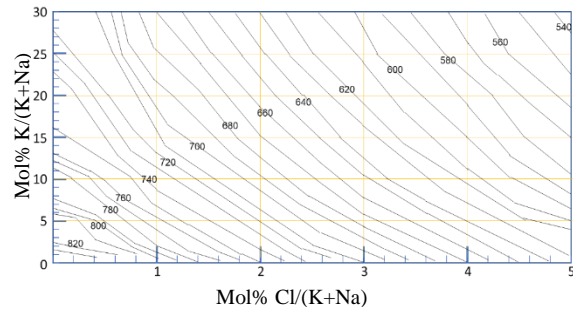
- Mole%  $K/(Na+K)$

$$\frac{K}{Na + K} \times 100\%$$

- Mole%  $CO_3^{2-}/(Na_2+K_2)$

$$\frac{CO_3}{Na_2 + K_2} \times 100\%$$

### Penentuan *Sticky Temperature*

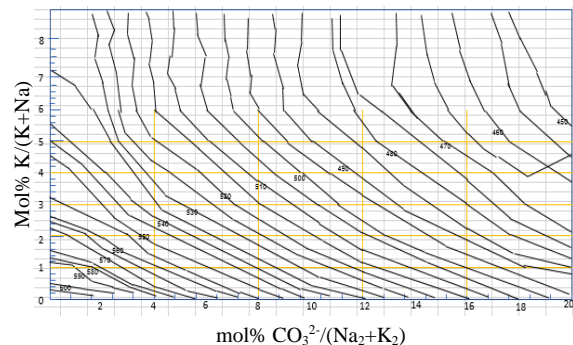


**Gambar 1** *Countour map sticky temperature*

**Sumber: Tran, H., dkk. 2002.**

Dilakukan plot data *ash content*, yaitu mol%  $Cl/(K+Na)$  disumbu x, dan  $K/(K+Na)$  disumbu y pada *countour map*. Tentukan titik temu antara sumbu x dan y, dan diperoleh data *sticky temperature* berdasarkan indikator garis pada *countour map* nilai yang terdapat pada garis *countour map* adalah data *flue gas* aktual operasional. sehingga mampu menentukan titik *stticky temperature*.

### Penentuan *First Melting Temperature*



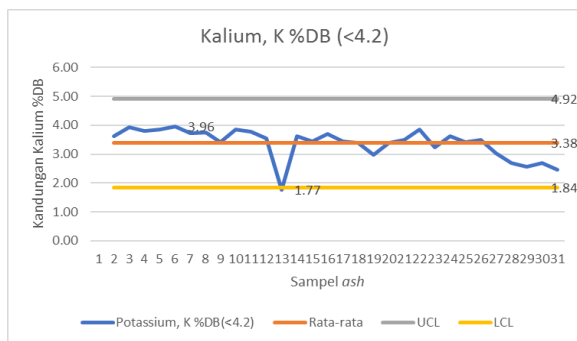
**Gambar 2** *Countour map first melting temperature*

Dilakukan plot data *ash content*, yaitu mol%  $K/(K+Na)$  pada sumbu y, dan mol%  $CO_3^{2-}/(Na_2+K_2)$  pada sumbu x. Tentukan titik temu antara sumbu x dan sumbu y, dan diperoleh data *first melting temperature* berdasarkan indikator garis pada *countour map*. Nilai yang terdapat pada garis *countour map* adalah data *flue gas* aktual operasional. Sehingga mampu menentukan *first melting temperature*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Kalium Pada *Recovery Boiler*

Kalium merupakan salah satu konten yang harus dihilangkan pada proses, hal ini dikarenakan konten tersebut mampu mengakibatkan permasalahan berupa korosif pada sistem *recovery boiler* (Basuki, 2009). Korosif yang terjadi pada sistem *recovery boiler* berdampak terhadap proses perpindahan panas menjadi terhambat sehingga kinerja sistem *recovery boiler* akan menurun.



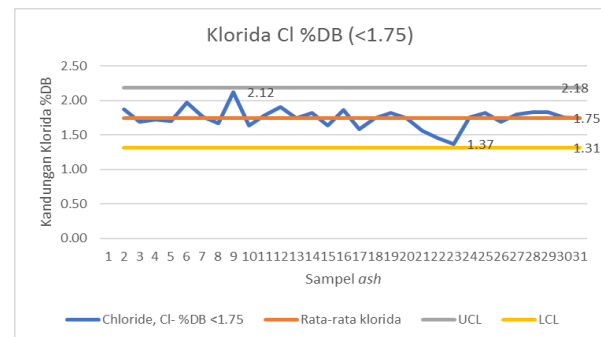
**Gambar 3** Hasil Pengujian Kalium

Berdasarkan gambar diatas dimana sumbu x merupakan sampel harian yang diambil, sedangkan sumbu y adalah kandungan kalium yang terkandung pada sampel. Nilai tertinggi pada kalium yakni sebesar 3.96%, sedangkan yang terendah sebesar 1.77%. Tinggi rendahnya konten, mampu diindikasikan tingkat keefektifitasan sistem. Indikasi tersebut mampu ditentukan dari nilai UCL (*under control limit*) dan *design aktual*, mampu didefinisikan bahwa sistem

proses pada *chloride removal plant* (CRP) bekerja secara efektif. Hal ini dikarenakan sistem tersebut mampu menghilangkan konten kalium sesuai dengan *design ash content* yang telah ditetapkan sehingga sistem pada *recovery boiler* dapat dikatakan efektif. Sebab, mekanisme korosi sangat bergantung pada komposisi *chemical*, suhu, suplai udara, dan bahan pipa. (Eonchemicals, n,d)

### Hasil Pengujian Klorida Pada *Recovery Boiler*

Klorida berdampak serupa dengan klorida pada sistem *recovery boiler*. Hal ini dikarenakan Klorida merupakan ion triger/ ion agresif yang mampu merusak permukaan baja dan metal. Sebab, ion tersebut mampu menarik unsur Fe bila bertemu dengan logam sehingga logam terserang korosi dan berkarat. (Septianingsih, 2014). Selain korosif, klorida juga mampu memperparah endapan (*Sticky*) pada sistem *recovery boiler*. Klorida mampu mengakibatkan endapan bila bertemu dengan ion yang berbeda (Tran, H, 1990).



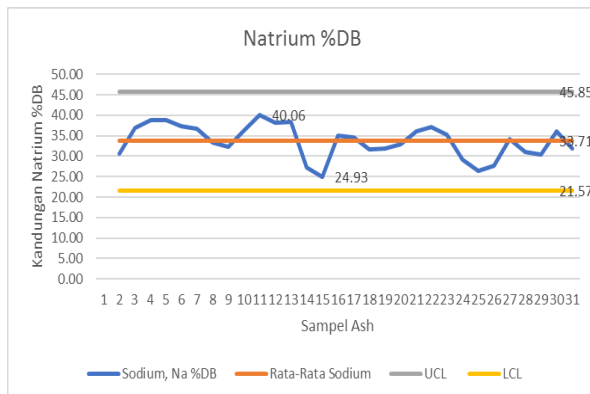
**Gambar 4** Hasil Pengujian Klorida

Berdasarkan gambar diatas sumbu x merupakan sampel harian yang diambil, sedangkan sumbu y adalah kandungan klorida yang terkandung pada sampel. Kandungan klorida tertinggi tercatat dengan presentase sebesar 2.12%, sedangkan kandungan klorida terendah terdapat pada presentase sebesar 1.37%. Tinggi rendahnya konten klorida mampu diindikasikan juga sebagai keefektifan dalam proses

pembakaran pada sistem. Menurut Bapak Idem Brutu, A.Md (2022), seorang *Head Unit Recovery Boiler*, nilai kalium dan klorida rendah diasumsikan sebagai hasil pembakaran dengan kondisi terbaik, karena memperkecil kemungkinan terjadinya korosif dan sticky pada pipa boiler. Konten klorida yang terkandung pada *ash content* harus berada pada standar yang telah ditetapkan yakni, (<1.75%).

### Hasil Pengujian Natrium Pada *Recovery Boiler*

Natrium merupakan konten yang harus dijaga tinggi rendahnya, dikarenakan natrium merupakan soda loss. Soda loss didefinisikan sebagai konten yang masih digunakan pada sistem. Menurut Bapak Toharudin, (2022). Soda loss mampu ditentukan dengan melihat kondisi pembakaran jika soda loss rendah maka kondisi pembakaran dapat dikatakan sempurna. Pembakaran sempurna mampu ditentukan berdasarkan parameter operasional yakni, *Smelt Redecution Efficiency* (SRE); tekanan primary air; tekanan Secondary air; tekanan DNCG air; tekanan tertiary air; temperatur furnace; Flow yang ditambahkan harus menyesuaikan load; dan O2% pembakaran.



**Gambar 5** Hasil Pengujian Natrium

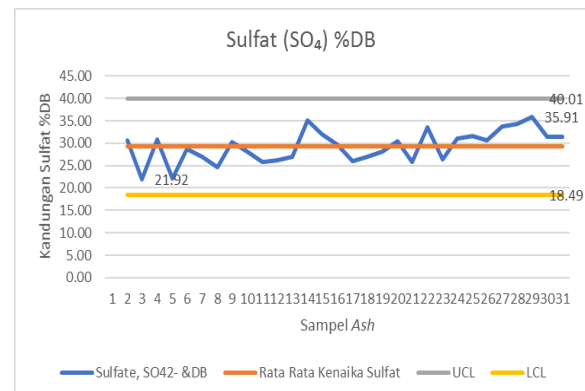
Berdasarkan gambar diatas, mampu ditentukan nilai konten natrium tertinggi dan terendah. Kandungan natrium tertinggi tercatat sebesar 40,06%, sedangkan natrium terendah sebesar 24,93%. Selain itu, mampu

ditentukan nilai tengah rata-rata, UCL (*upper control limit*) dan LCL (*lower control limit*). Nilai tengah mampu dijadikan indikator standar content natrium, sedangkan UCL, dan LCL merupakan batas atas dan batas bawah sebagai indikator sistem bahwa konten masih berada dibawah kendali proses. Dilihat dari grafik tersebut mampu diketahui bahwa natrium masih berada tepat diantara UCL dan LCL, hal ini mengindikasikan bahwa sistem bekerja dengan efektif dalam mengendalikan kualitas *ash content*. Natrium juga sebagai salah satu indikator penentu soda loss. Soda loss harus dijaga rendah. Sebab, kandungan soda masih dibutuhkan dalam proses pemulihan *chemical*.

### Hasil Pengujian Sulfat Pada *Recovery Boiler*

Kandungan SO<sub>4</sub> mampu memperparah *sticky* yang terjadi pada sistem *recovery boiler*. Sebab, SO<sub>4</sub> merupakan salah satu ion triger yang memiliki kecenderungan untuk membentuk senyawa campuran. Sifat SO<sub>4</sub> tersebut memiliki kecenderungan untuk bereaksi terhadap ion yang berbeda sehingga menghasilkan endapan atau bahkan memperparah deposit pada pipa boiler (Eonchemicals, n.d.). Hasil pengujian sulfat pada *recovery boiler* ditunjukkan pada

**Gambar 6.**



**Gambar 6** Hasil Pengujian Sulfat

Berdasarkan gambar diatas, dapat ditentukan nilai tertinggi dan terendah konten sulfat. Nilai tertinggi

sulfat sebesar 35.91%, sedangkan nilai terendah konten sulfat terdapat pada presentase 21.92%. Dari gambar diatas juga mampu ditentukan nilai tengah rata-rata, UCL (*upper control limit*) dan LCL (*lower control limit*). Nilai tengah mampu dijadikan indikator standar content natrium, sedangkan UCL, dan LCL merupakan batas atas dan batas bawah sebagai indikator sistem bahwa konten masih berada dibawah kendali proses. Dilihat dari grafik diatas mampu didefinisikan kualitas sulfat masih berada kendali proses karena data sampel tepat pada area tengah antara UCL, dan LCL. Hal ini mengartikan bahwa fluktuasi yang terjadi pada konten sulfate dapat dikatakan normal. Sebab, data sampel yang diperoleh tidak ada yang melebihi dari area UCL (*upper control limit*) dan LCL (*lower control limit*). Serupa dengan natrium, sulfate juga merupakan salah satu indikasi soda loss sehingga harus dijaga rendah.

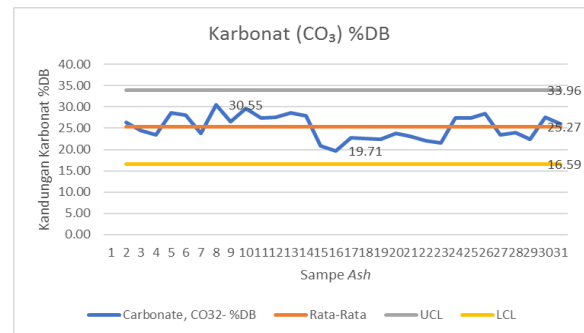
Sifat  $SO_4$  yang merupakan ion triger mampu memicu terbentuknya senyawa ionik bila bertemu dengan ion yang berbeda seperti, natrium (Na), dan Kalium (K) (Yuliani, 2018). Pembentukan senyawa ionik dapat membentuk dan memperparah deposit pada pipa boiler. Pembentukan deposit akan lebih diperparah jika temperatur pada sistem tinggi. Hal ini dikarenakan  $SO_4$  merupakan reaktan katalisator yang dapat mempercepat reaksi. Semakin cepat laju reaksi pada suatu sistem maka akan semakin tinggi laju oksidasi yang diterima pada sistem. (Purnawat, 2016)

#### Hasil Pengujian Karbonat Pada Recovery Boiler

Kandungan dari  $CO_3$  merupakan kandungan yang dijadikan acuan sebagai penentuan titik *first melting temperature* pada saat proses pembakaran. Hal ini dikarenakan  $CO_3$  akan bereaksi terhadap senyawa yang memiliki kesamaan dari segi struktur kristal, kesamaan unsur ion dan ukuran dari anion dan kation yang tidak terlalu berbeda jauh antar kedua senyawa

tersebut (Rahardjo, 2020). Dengan demikian pada saat proses pembentukan senyawa campuran, senyawa tersebut akan membentuk lelehan ionic pada temperatur eutetik. Senyawa campuran tersebut antara lain  $Na_2CO_3$ .

Selain itu juga kandungan  $CO_3$  merupakan kandungan yang mampu mempengaruhi tingkat endapan kerak/lelehan ionic pada *walltube* boiler. Hal ini dikarenakan  $CO_3$  merupakan senyawa yang memiliki intensitas tinggi untuk saling mengikat apabila bertemu dengan senyawa anion pada temperatur yang tinggi. Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses keralutan, hal ini dipengaruhi dari beberapa parameter seperti; temperature; tekanan; dan waktu tunggu. (Kronqvist, 2020).



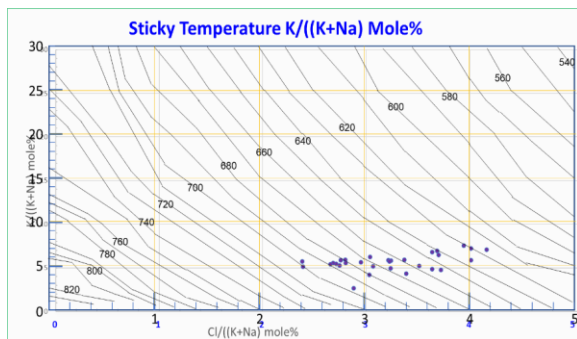
**Gambar 7** Hasil Pengujian Karbonat

Berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai tertinggi dan terendah konten karbonat. Nilai tertinggi karbonat terdapat pada presentase konten sebesar 30.55%, sedangkan nilai terendah terdapat pada konten karbonat dengan presentase sebesar 19.71%. Dari gambar diatas juga ditentukan nilai tengah rata-rata sampel, UCL (*upper control limit*) dan LCL (*lower control limit*). Nilai tengah mampu dijadikan indikator standar konten karbonat, sedangkan UCL, dan LCL merupakan batas atas dan batas bawah sebagai indikator sistem bahwa konten masih berada dibawah kendali proses. Dilihat dari grafik diatas mampu didefinisikan kualitas karbonat masih berada

kendali proses. Sebab, data sampel tepat pada area tengah antara UCL dan LCL. Hal ini mengartikan bahwa fluktuasi yang terjadi pada konten karbonat dapat dikatakan normal. Sebab, data sampel yang diperoleh tidak ada yang melebihi dari area UCL (*upper control limit*) dan LCL (*lower control limit*). Dengan demikian, karbonat yang terdapat pada sistem *recovery boiler* diindikasikan normal. Hal ini dikarenakan sistem masih mampu mengatasi permasalahan endapan yang diakibatkan oleh konten karbonat yang mampu mempengaruhi tingkat endapan kerak/ lelehan ionic pada *walltube boiler*, sehingga sistem *recovery boiler* dapat diasumsikan optimal dalam proses produksi.

### Sticky Temperature

*Sticky temperature* merupakan salah satu parameter untuk mengetahui pada temperatur berapa *ash content* dapat menempel pada pipa *boiler* sehingga membentuk atau memperparah deposit yang terbentuk. Penentuan nilai *sticky temperature*, dilakukan dengan cara melihat *countour map*. Penentuan nilai *sticky temperature* dapat diperoleh dari perhitungan data mol Cl/(K+Na) dan K/(K+Na) yang terdapat pada sampel *ash*.



**Gambar 8** *Countour Map* dan Data Hasil Perhitungan Mol% Cl(K+Na) dan K(K+Na)

Berdasarkan *countour map* diatas, dimana sumbu x merupakan mol% Cl/(K+Na), sedangkan sumbu y adalah mol% K/(K+Na). Nilai *sticky temperature*

dapat ditentukan berdasarkan titik *countour map* pada *sticky temperature* yang diperoleh disetiap konsentrasi mol% Cl/(K+Na) dan mol% K/(K+Na). Penentuan titik *sticky temperature* ditentukan dengan cara perhitungan untuk menemukan antara titik konsentrasi mol% pada sumbu y dan x, atau membuat sebaran data menggunakan *scatter plot* sehingga diperoleh hasil *sticky temperature* yang menyesuaikan dengan garis *countour flue gas* sistem *recovery boiler*.

**Tabel 1** Data Mol Cl/(K+Na), K/(K+Na) dan *Sticky Temperature*

No Sampel	Cl/((K+Na) Sumbu X	K/((K+Na) Sumbu Y	Sticky Temperature
	Mole%	Mole%	°C
1	3,70	6,50	640,00
2	2,80	5,92	670,00
3	2,71	5,46	690,00
4	2,68	5,54	690,00
5	3,21	5,88	662,00
6	2,95	5,66	670,00
7	3,04	6,22	668,00
8	4,01	5,89	635,00
9	2,75	5,88	685,00
10	2,74	5,27	688,00
11	3,06	5,18	672,00
12	2,88	2,65	705,00
13	4,01	7,24	630,00
14	3,94	7,53	632,00
15	3,24	5,85	665,00
16	2,80	5,57	680,00
17	3,37	5,92	660,00
18	3,51	5,21	655,00
19	3,22	5,72	665,00
20	2,65	5,42	695,00
21	2,38	5,75	700,00
22	2,39	5,14	700,00
23	3,64	6,81	640,00
24	4,16	7,10	625,00
25	3,68	6,93	645,00
26	3,23	4,96	670,00
27	3,64	4,87	660,00

28	3,72	4,76	655,00
29	3,03	4,20	680,00
30	3,39	4,34	665,00

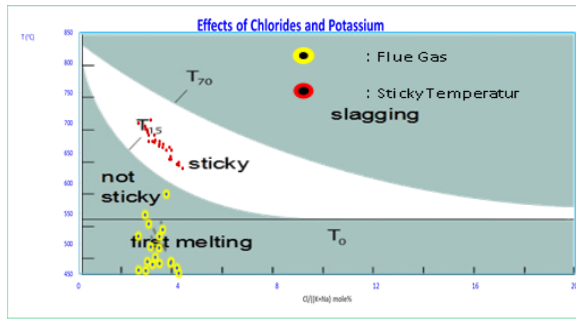
Berdasarkan **tabel 1** mampu diperoleh nilai *sticky temperature* berdasarkan konsentrasi mol% Cl/(K+Na) dan mol% K/(K+Na). Nilai *sticky temperature* terendah terdapat pada sampel ke-24 dengan persentase mol% Cl/(K+Na) dan mol% K/(K+Na) tertinggi, yakni sebesar 4.16% mol Cl/(K+Na) dan 7.16% mol K/(K+Na) sehingga menghasilkan nilai *sticky temperature* sebesar 625°C. Sementara itu, nilai *sticky temperature* tertinggi terdapat pada sampel ke-12 dengan persentase mol% Cl/(K+Na) dan mol% K/(K+Na) terendah, yakni sebesar 2,88% mol Cl/(K+Na) dan 2,65% mol K/(K+Na). Dilihat dari data *sticky temperature* yang diperoleh dapat ditentukan bahwa konsentrasi pada sampe *ash* berpengaruh terhadap *sticky temperature*. Hal ini sejalan dengan penelitian Tran (2002), besar kecilnya *sticky temperature* sangat dipengaruhi oleh konsentrasi mol% Cl/(K+Na) dan mol% K/(K+Na). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi mol Cl/(K+Na), dan mol K/(K+Na), maka akan mempercepat potensi terjadinya *sticky* pada dinding boiler. Begitupun sebaliknya jika mol yang dihasilkan rendah, maka potensi terbentuknya *sticky* kecil. Menurut Fristyanto Abdillah (2022), tinggi rendahnya mol% Cl/(K+Na) dan mol% K/(K+Na) dipengaruhi total solid *heavy black liquor* (HBL) dan *load*. Data *sticky temperature* dapat dikatakan baik jika berada jauh diatas data aktual operasional *flue gas*. Hal ini dikarenakan jika temperatur *sticky* berada dibawah *flue gas* mampu membentuk endapan atau bahkan memperparah endapan yang sebelumnya sudah terbentuk pada pipa *boiler*.

**Tabel 2 Data Aktual Operasional  
Flue Gas**

Data Aktual Operasional <i>Flue Gas</i>			
No Sampel	Data Flue Gas °C	No Sampel	Data Flue Gas °C
1	470.64	16	532.91
2	430.85	17	523.44
3	423.56	18	582.51
4	455.15	19	511.97
5	493.34	20	548.22
6	465.54	21	512.51
7	437.16	22	456.26
8	443.81	23	432.91
9	448.74	24	409.58
10	470.63	25	467.62
11	477.73	26	434.25
12	495.02	27	415.62
13	451.07	28	392.41
14	460.24	29	391.72
15	467.34	30	434.26

Dilihat dari **tabel 1** Sampel data dengan presentase mol% terendah menghasilkan temperatur *sticky* sebesar 705°C. Sementara itu, jika dilihat dari **tabel 2** aktual operasional *flue gas* pada hari tersebut adalah 495.02°C. Perbandingan antara *sticky temperature* dan data aktual operasional *flue gas* yang ditunjukkan pada **tabel 1** dan **tabel 2**, dapat diartikan bahwa sistem *recovery boiler* akan bekerja secara efektif. Hal ini dikarenakan *ash content* tidak akan membentuk deposit pada pipa *boiler*. Sebab, *ash content* yang dihasilkan dalam proses pembakaran tidak akan mencapai titik *sticky* karena data aktual operasional *flue gas* tidak melebihi dari nilai *sticky temperature* yang telah diperoleh.





**Gambar 9** Data Mol% Cl/(K+Na), Mol% K/(K+Na), dan Data actual operasional *flue gas*

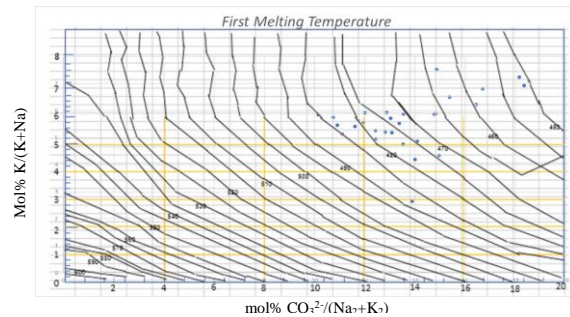
Dilihat dari grafik diatas dimana sumbu x merupakan mol% Cl/(K+Na), sedangkan sumbu y adalah mol% K/(K+Na). Data yang berwarna kuning merupakan data aktual operasioanl *flue gas*, sedangkan yang berwarna merah adalah data *sticky temperature*. Data aktual operasional *flue gas* PT. X berada pada area *first melting temperature* (FMT) T<sub>0</sub>. Sementara itu, data *sticky temperature* berada pada area *sticky* yakni pada temperatur T<sub>15</sub> sampai T<sub>70</sub>. *Sticky* mampu terjadi akibat data *flue gas* yang melebihi data *sticky temperature*. Indikasi yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan tinggi rendahnya *sticky teperature* adalah *ash content*. Hal ini dikarenakan unsur yang terkandung pada *ash* tersebut memiliki muatan yang berbeda. Dengan adanya perbedaan dari segi muatan tersebut, mampu mengakibatkan terbentuknya senyawa campuran, seperti halnya natrium chloride, natrium sulfat dan natrium carbonat. (Tran, H., dkk. 2002)

Proses terbentuknya *sticky* terjadi pada temperatur T<sub>15</sub> sampai T<sub>70</sub>, yakni pada temperature 600-800°C (Tran, H., dkk. 2002). T<sub>15</sub> Temperatur, dapat diartikan bahwa kandungan *ash* sudah mencair sebanyak 15%. Selain itu, temperatur T<sub>15</sub> merupakan indikator untuk menentukan suhu dimana partikel *ash content* akan mulai terjadi proses penempelan pada permukaan pipa lalu membentuk *sticky*. Serupa dengan T<sub>15</sub>, T<sub>70</sub> juga

dapat diartikan bahwa *ash content* sudah mencair sebanyak 70%. Hal ini mengartikan bahwa proses menempelnya *ash* pada pipa boiler dapat dikatakan ekstrim. Dengan mengetahui nilai *sticky temperature*, data aktual temperature *flue gas* mampu disesuaikan agar tidak melebihi nilai *sticky* yang ditetapkan.

### First Melting Temperature

*First melting temperature* merupakan salah satu parameter indikasi awal sebelum terjadinya *sticky temperature* pada pipa boiler. Dalam penentuan nilai *first melting temperature* (FMT), mampu ditentukan dengan cara perhitungan nilai Mol CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) dan mol% K/(K+Na), data yang diperoleh merupakan indikator yang dimasukkan pada *countour map* sehingga diperoleh data *first melting temperature*.



**Gambar 9** *Countour Map* dan Data Hasil Perhitungan Mol CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) dan mol% K/(K+Na)

Berdasarkan *countour map* diatas, dimana sumbu x merupakan mol% mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>), sedangkan sumbu y adalah mol% K/(K+Na). Nilai *first melting temperature* dipenaruhi dari mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>), dan mol% K/(K+Na) Dalam penentuan titik *first melting temperature* dapat ditentukan dengan cara perhitungan untuk menemukan antara titik konsentrasi mol% pada sumbu y dan x, atau membuat sebaran data menggunakan *scatter plot* sehingga diperoleh hasil *first melting temperature* yang menyesuaikan dengan garis *countour flue gas* sistem *recovery boiler*

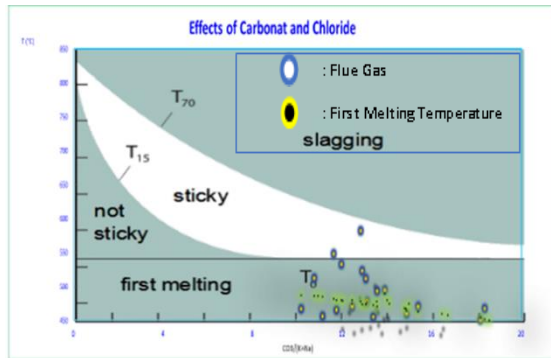
**Tabel 3 Data Mol% K/(K+Na), Mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>), dan First Melting**

No Sampel	K/(K+Na) Sumbu Y	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /(Na <sub>2</sub> +K <sub>2</sub> ) Sumbu X	FMT
	Mole%	Mole%	°C
1	6,50	15,38	463,00
2	5,92	12,00	479,00
3	5,46	10,90	486,00
4	5,54	13,37	473,00
5	5,88	13,54	471,00
6	5,66	11,72	480,00
7	6,22	16,44	460,00
8	5,89	14,83	467,00
9	5,88	14,76	468,00
10	5,27	12,43	475,00
11	5,18	13,08	477,00
12	2,65	13,89	490,00
13	7,24	18,16	454,00
14	7,53	14,86	464,00
15	5,85	10,15	487,00
16	5,57	11,94	480,00
17	5,92	12,87	474,00
18	5,21	12,81	478,00
19	5,72	13,03	474,00
20	5,42	11,60	482,00
21	5,75	10,73	486,00
22	5,14	11,10	485,00
23	6,81	16,70	458,00
24	7,10	18,55	450,00
25	6,93	18,35	452,00
26	4,96	12,42	480,00
27	4,87	14,09	475,00
28	4,76	13,52	478,00
29	4,20	13,99	480,00
30	4,34	14,96	475,00

Berdasarkan **tabel 2** mampu diperoleh data *first melting temperature*. berdasarkan konsentrasi mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) dan mol% K/(K+Na) sehingga mampu menentukan *first melting temperature* tertinggi dan *first melting temperature* terendah. Nilai *First melting temperature* tertinggi terdapat pada

sampel ke-12, dengan presentase mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) sebesar 13.89% dan presentase mol% K/(K+Na) sebesar 2,65% sehingga menghasilkan nilai *first melting temperature* sebesar 490°C. Sementara itu, nilai *first melting temperature* terendah terdapat pada sampel ke-24 dengan presentase mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) sebesar 18.55% dan presentase mol% K/(K+Na) sebesar 7.10% sehingga menghasilkan nilai *first melting temperature* sebesar 450°C. Data yang diperoleh menunjukkan semakin besar konsentrasi mol% CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) dan mol% K/(K+Na) maka semakin rendah *first melting temperature* sehingga data aktual lapangan *flue gas* dapat melewati *first melting* mengakibatkan terbentuknya deposit pada sistem *recovery boiler* (Gonsko, M., dkk. n.d.)

Data *first melting temperature* terbaik, ditandai jika data aktual operasional *flue gas* tidak melebihi data *first melting temperature* yang telah diperoleh sebelumnya dengan perhitungan mol%. CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>/(Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>) dan mol% K/(K+Na). Sebab, jika data *first melting temperature* yang dihasilkan tinggi, maka temperatur aktual operasional *flue gas* tidak mampu melebihi nilai *first melting temperature* sehingga proses terbentuknya deposit dapat berkurang. Sementara itu, jika nilai *first melting temperature* berada dibawah data aktual operasional *flue gas* mampu mengakibatkan terbentuknya deposit atau bahkan memperparah endapan yang sebelumnya sudah terbentuk pada sistem *recovery boiler*. Hal ini dikarenakan proses pembentukan suatu endapan mampu dipengaruhi suhu aktual operasional *flue gas* sehingga senyawa pada *ash content* mampu mencapai titik leburnya (Gonsko, M., dkk. n.d.)



**Gambar 10** Data mol%.  $\text{CO}_3^{2-}/(\text{Na}_2+\text{K}_2)$  dan mol%  $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$  dan Data aktual operasional *flue gas*

Berdasarkan **gambar 10** yang menjelaskan mengenai sebaran data *first melting temperature* dan data aktual operasional *flue gas*. Dilihat dari grafik diatas dimana sumbu x merupakan mol%  $\text{CO}_3^{2-}/(\text{Na}_2+\text{K}_2)$ , sedangkan sumbu y adalah  $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$ . Data plot yang berwarna hitam merupakan data aktual operasional *flue gas*, sedangkan yang berwarna kuning adalah data *first melting temperature*. Hal ini mengartikan bahwa terdapat beberapa sampel yang terindikasi terjadi permasalahan berupa *first melting temperature*. Sebab, terdapat beberapa data aktual operasional *flue gas* yang melebihi dari data *first melting temperature* yang sebelumnya sudah ditentukan.

*First melting temperature* terjadi akibat terbentuknya senyawa campuran pada sistem eutetik. Hal ini dikarenakan setiap senyawa memiliki titik lebur yang berbeda. Senyawa campuran terbentuk akibat perbedaan ion pada setiap unsur. Contohnya  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Na berperan sebagai anion sedangkan  $\text{SO}_4$  dan  $\text{CO}_3$  sebagai kation. Sementara itu, ion yang dihasilkan pada sistem *recovery* antara lain,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}^{2-}$ , dan Cl (Gonsko, M., dkk. n.d.). Ion *recovery boiler* mampu membentuk Senyawa campuran pada sistem eutetik, mengakibatkan senyawa meleleh dan membentuk endapan pada pipa boiler. Endapan pada pipa boiler akan mengeras

(*sticky*) jika kedua unsur tersebut membentuk senyawa campuran yang sempurna

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil penelitian menunjukkan perbandingan antara *ash content design* dan *ash content* aktual. Terdapat perbandingan, hal ini dapat dilihat dari data yang diperoleh. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat konten yang berada diluar *ash content design*. Konten tersebut adalah klorida, *ash content* aktual yang diperoleh berada diatas standar, standar *design* yakni (<1.75%). Selain itu, terdapat data *abnormal* pada konten kalium yang mengindikasikan kinerja boiler akan efektif. Sementara itu konten, sulfat, karbonat, dan natrium berada pada rentang UCL dan LCL. Hal ini mengartikan ketiga konten tersebut telah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
- Hasil penelitian menunjukkan tinggi dan rendahnya *temperature sticky* ( $T_{sk}$ ). Hal ini dapat dilihat pada data mol klorida  $\text{Cl}/(\text{K}+\text{Na})$  dan mol kalium  $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$  tertinggi menghasilkan temperatur *sticky* yang rendah yakni 625°C. sementara itu, data mol klorida  $\text{Cl}/(\text{K}+\text{Na})$  dan mol kalium  $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$  terendah yang menghasilkan temperature *sticky* yang tinggi yakni 705°C. Semakin tinggi *sticky temperature* mengindikasikan semakin baik keefektifan sistem *recovery boiler* bekerja, hal ini dikarenakan semakin sulit kemungkinan data aktual operasional *flue gas* melebihi nilai *sticky temperature*. Sementara itu, jika semakin rendah *sticky temperature* mampu mengakibatkan terbentuknya deposit. Hal ini dikarenakan potensi data aktual operasional *flue gas* dapat melebihi nilai *sticky temperature* yang telah diperoleh.

- Hasil penelitian menunjukkan tinggi dan rendahnya *first melting temperature* mampu kita tentukan dengan melihat indikator data mol kalium  $K/(K+Na)$  dan mol karbonat  $CO_3/(Na_2+K_2)$  tertinggi menghasilkan temperatur *first melting* yang terendah yakni 450°C. sedangkan data mol terendah  $K/(K+Na)$  dan mol karbonat  $CO_3/(Na_2+K_2)$  menghasilkan temperatur *first melting* yang tertinggi yakni 490°C. Semakin tinggi nilai *first melting temperature* maka dapat diartikan bahwa sistem *recovery boiler* akan bekerja dengan optimal. hal ini dikarenakan semakin sulit kemungkinan data aktual operasional *flue gas* melebihi nilai *first melting temperature*. Sementara itu, jika semakin rendah *first melting temperature* mampu mengakibatkan terbentuknya deposit. Hal ini dikarenakan potensi data aktual operasional *flue gas* dapat melebihi nilai *first melting temperature* yang telah diperoleh.

#### SARAN

Saran-saran yang diajukan demi pengembangan *ash content* sebagai salah satu indikator penentuan *first melting temperature* dan *sticky temperature* selanjutnya adalah sebagai berikut: (1) Sebaiknya dilakukan penelitian secara laboratorium (*lab trial*) menggunakan alat *entrained flow reactor* untuk mengetahui pengaruh parameter operasional seperti halnya *pressure*, *temperature*, dan *flow* terhadap tinggi rendahnya *ash content* pada sistem *recovery boiler*. (2) Dilakukan *lab trial* menggunakan *entrained flow reactor* agar mampu mengetahui waktu tunggu terbentuknya *sticky* dan *first melting temperature* pada pipa sistem boiler.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

1. Orang tua dan keluarga saya yang selalu memberikan dukungan selama proses penelitian.
2. Ibu Ni Njoman Manik S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas di Institut Teknologi dan Sains Bandung.
3. Ibu Ni Njoman Manik Susantini, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing saya selama penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Idem Brutu, A. Md., Kak Toharudin, A.Md, dan Kak Fristyanto Abdullah, S.Tr., selaku pembimbing lapangan yang telah banyak membantu saya ketika proses pengambilan data berupa arahan prosedural dan dukungan alat penelitian;

#### REFERENSI

- Abdillah, Fristyanto *Interview*. 2022. "Parameter-parameter tinggi rendahnya *ash content*". *Departement Recovery Boiler dan Vacuum Evaporator*
- Basuki, A., E. 2009. Pengembangan Baja Untuk Aplikasi Pada Power Plant. *Proseding Seminar Nasional Besi dan Baja*, Bandung: 26-27 Oktober 2009.
- Brutu. Idem *Interview*. 2022. "Pengaruh Kalium dan Klorida Terhadap Sistem *Recovery boiler*". *Departement Recovery Boiler dan Vacuum Evaporator*
- Eonchemicals. n.d. "Korosi Pada Boiler di Sisi Api". <https://www.eonchemicals.com/artikel/korosi-pada-boiler-fire-side>. Diakses pada 12 April 2022
- Gonsko, M., Tran, H., & Mao, X. n.d. Effect of Composition on the First Melting Temperature of Fireside Deposits in

- Recovery Boilers. *TAPPI Journal*. 9(82): 93-100
- Isaak, P., Tran, H. N., Darham, D., & Reeve, D. W. 1986. Stickiness of Fireside Deposits in Kraft Recovery Units. *Journal of Pulp and Paper Science*, 12(3): 84-88
- Kronqvist, Jacob. 2020. Effect of Dust Sintering on Fouling Recovery Boiler Flue Gas Ducting. Departement Chemical Engeenring: Abo Akademi University. Finlandia.
- Montgomery, D., C. 1991. Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Purnamawat, N., & Effendi, L., A. 2016. *Proseding Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIK)*, Pekanbaru: 9 November 2018.
- Rahardjo, Samsudi. 2020. Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral Di Dalam Pipa. *Buku Refrensi*. Semarang.
- Septianingsih, D., Suka, E., G., dan Suprihatin. 2014. Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Klorida Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendag Astm A 139 Tanpa Dan Dengan Inhibitor Kalium Kromat 0,2%. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 2(2): 147-1
- Shalihin. 2021. Analisa Keandalan Instrumen Pada *Recovery Boiler* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* PT. Indah Kiat *Pulp & Paper*. Tugas Akhir. Fakultas Sains dan Teknologi: Universitas Isalm Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Tran, H. N, Barham, D. & Reeve, D. W. 1990. Chloride and Potassium in The Kraft Chemical Recovery Cycle. *TAPPI*. 91(5): 185-190
- Tran. H. N, Et All. 2002. The Sticky Temperature of Recovery Boiler Fireside Deposits. *Journal of Pulp and Paper Science*. 109(9): T223-T227
- Yuliani, F., & Zainul, R. 2018. Analisis Termodinamika Molekul Magnesium Sulphate (MgSO<sub>4</sub>). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Universitas Negeri Padang.