

Pengaruh Sistem *Tandem Flocculation Agent* Terhadap *Non Process Element (NPE) Lime Mud*

Effect of Tandem Flocculation Agent System on Lime Mud NPE (Non Process Element)

Ahmad Wahyu Shaputra*, Rachmawati Apriani

Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sains Bandung, Jl. Ganesha Boulevard No.1, Pasirranji, Kec. Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat, 17530, Indonesia

Artikel histori :

Diterima xxx
Diterima dalam revisi xxx
Diterima xxx
Online xxx

ABSTRAK: *Non Process Element (NPE)* merupakan zat pengotor yang tidak diharapkan kehadirannya pada sistem kaustik karena dapat menyebabkan gangguan pada proses dan mempengaruhi kualitas produk. Salah satu cara untuk meminimalkan masukan NPE ialah melalui proses penjernihan *raw green liquor* menjadi *clean green liquor* menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan bahan kimia Poly Dimethyl-Diallyl-Ammonium Chloride (PDADMAC) dan Anionic Polyacrylamide (A-PAM). Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh sistem *tandem flocculation agent* terhadap NPE *lime mud* dengan memperhatikan standar kualitas beberapa senyawa *Non Process Element (NPE)* pada *lime mud*, sebagai berikut : $P_2O_5 < 1\%$, $SiO_2 < 0,5\%$, $MgO < 0,75\%$, $Fe_2O_3 < 0,3\%$, Mn_2O_3 , dan $Al_2O_3 < 0,5\%$. Pembuatan *clean green liquor* menggunakan variasi dosis PDADMAC (0, 3, dan 5 ppm), sedangkan dosis A-PAM diatur tetap sejumlah 7 ppm pada setiap variasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio dosis optimal PDADMAC : A-PAM dari segi teknis adalah variasi kedua (PDADMAC 3 ppm : A-PAM 7 ppm), dimana nilai P_2O_5 : 0,7159%, SiO_2 : 1,4856%, MgO : 0,2234%, Fe_2O_3 : 0,2568%, Mn_2O_3 : 0,0055% , dan Al_2O_3 : 0,5988%. Namun, senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 pada rasio dosis ini masih melebihi standar kualitas *lime mud*. Walaupun demikian, rasio dosis PDADMAC 3 ppm : A-PAM 7 ppm menunjukkan hasil yang lebih signifikan dibandingkan rasio lainnya.

Kata Kunci: Flokulasi; *Lime Mud*; *Non Process Element*; PDADMAC; Sistem Kaustik

ABSTRACT: *Non Process Element (NPE)* is an impurity substance that is not expected to be present in the caustic system because it can cause disruption to the process and affect the product quality. One way to minimize NPE input is through the process of clarifying raw green liquor into clean green liquor using the coagulation-flocculation method with PDADMAC and A-PAM chemicals. The aim of this study is to determine the effect of tandem flocculation agent system on lime mud NPE taking into account the quality standards of several *Non Process Element (NPE)* compounds in lime mud, as follows : $P_2O_5 < 1\%$, $SiO_2 < 0.5\%$, $MgO < 0.75\%$, $Fe_2O_3 < 0.3\%$, Mn_2O_3 , and $Al_2O_3 < 0.5\%$. The clean green liquor production uses variations in PDADMAC doses (0, 3, and 5 ppm), while the A-PAM dose is fixed at 7 ppm for each variation. The results show that the optimal dose ratio of PDADMAC: A-PAM from a technical point of view is the second variation (PDADMAC 3 ppm: A-PAM 7 ppm), where the P_2O_5 value : 0.7159%, SiO_2 : 1.4856%, MgO : 0.2234%, Fe_2O_3 : 0.2568%, Mn_2O_3 : 0.0055% , and Al_2O_3 : 0.5988%. But, the SiO_2 and Al_2O_3 compounds at this dose ratio still exceed the lime mud quality standard. However, the dose ratio of PDADMAC 3 ppm : A-PAM 7 ppm showed more significant result than the other ratios.

Keywords: Caustic System;Flocculation;Lime Mud;Non Process Element;PDADMAC

1. Pendahuluan

Sistem kaustik merupakan bagian penting dari siklus *chemical recovery* pada proses produksi pulp *kraft*. *Recausticizing* merupakan unit yang melakukan proses pemurnian kembali bahan kimia anorganik hasil pembakaran pada *recovery boiler* berupa *smelt* melalui reaksi kimia sederhana yaitu pelarutan

dengan cairan sisa pencucian *dregs* yang masih memiliki tingkat kaustik (*weak wash liquor*) sehingga diperoleh *green liquor* (Maulia. G, 2020). Setelah itu, proses dilanjutkan dengan penambahan *lime milk* pada *slaker* dan penyempurnaan reaksi pada *causticizer* menggunakan peralatan dengan prinsip pemisahan padat cair secara kompleks sehingga dihasilkan cairan pemasak sebagai produk

* Corresponding Author
Email: wshaputra1@gmail.com

utama dan *lime mud* sebagai produk samping (Prastyo, A, 2020).

Lime mud kemudian diolah terlebih dahulu melalui proses kalsinasi pada *lime kiln* menjadi *burnt lime*, lalu dimanfaatkan kembali pada unit *recausticizing* sebagai bahan tambahan untuk mengkonversi senyawa Na_2CO_3 menjadi NaOH pada proses *slaking*. Komponen penyusun lime mud didominasi oleh kalsium karbonat yaitu lebih dari 85% (Abdillah. F, 2020), sedangkan sisanya merupakan *impurities* berupa NPE dan kapur bebas,

Non Process Element (NPE) adalah akumulasi senyawa logam karena penggunaan bahan kimia dari beberapa proses yang berbeda dalam pembuatan pulp sehingga menjadi zat pengotor pada proses pemurnian kimia dan sebagian besar berasal dari *green liquor* hasil pengolahan (Laurikainen. T, 2019). Disisi lain, NPE dan *impurities* lain yang telah dipisahkan dari sistem sebagai *dregs* dan *grits* juga dapat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak ditangani secara profesional. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan limbah yang kompeten dan mumpuni agar hal tersebut dapat dihindari.

NPE yang lazim ditemukan pada proses *chemical recovery* terutama sistem kaustik adalah P_2O_5 , SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Mn_2O_3 , dan Al_2O_3 . Hal ini dikarenakan unsur tersebut ditemukan sebagai penyusun kadar abu pada kayu berdaun lebar di iklim tropis (Hastuti. N, dkk., 2017) dan juga didapati pada bahan bakar *lime kiln* hasil gasifikasi dikarenakan konsentrasi NPE di kulit kayu jauh lebih tinggi daripada di batang kayu dengan basis massa kering (Mousavi. S, 2019). Oleh karena itu, NPE berpotensi terbawa oleh *synthesis gas* (Mufid dan Anis, 2019) dan mengontaminasi produk kapur (*burnt lime*). Sedangkan, pada proses *slaking* penambahan kapur (CaO) jenis *burnt lime* lebih dominan dibandingkan *fresh lime*. Tentunya, hal tersebut dapat mempengaruhi persentase *impurities* (NPE) yang terkandung dalam produk (Tamara. Y, 2021).

Tabel 1. Sumber *Non Process Element* (NPE) (Mousavi. S, 2019)

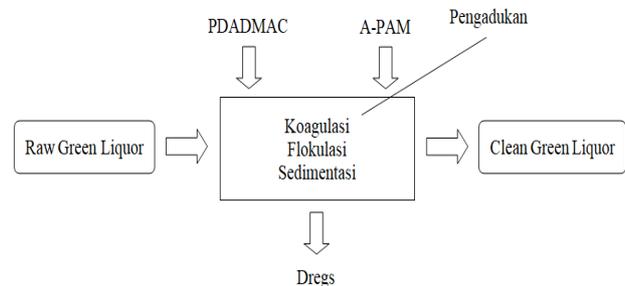
Senyawa	Input	Output
Mn_2O_3	Kayu dan air proses	<i>Dregs</i>
MgO	Kayu, <i>make up chemical</i> dan air proses	<i>Dregs</i> dan <i>lime mud</i>
P_2O_5	Kayu dan <i>make up chemical</i>	<i>Grits</i> dan <i>lime mud</i>
SiO_2	Kayu, <i>make up chemical</i> , air proses dan <i>synthesis gas</i>	<i>Dregs</i> , <i>grits</i> dan <i>lime mud</i>
Al_2O_3	Kayu, <i>make up chemical</i> dan air proses	<i>Dregs</i> dan <i>lime mud</i>
Fe_2O_3	Kayu, korosi, <i>make up chemical</i> dan air proses	<i>Dregs</i> dan <i>grits</i>

NPE merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan pada sistem pembuatan pulp, hal tersebut dikarenakan NPE berpotensi terakumulasi dalam jumlah besar karena terbawa oleh beberapa sumber seperti yang tercantum pada **Tabel 1**.

Mengingat NPE dapat berasal dari beberapa proses maka diperlukan pencegahan dan pengendalian agar tidak terakumulasi dalam jumlah berlebih pada sistem melalui pemilihan bahan baku berupa kayu dan kapur alam yang telah memenuhi spesifikasi, meningkatkan kebersihan bahan bakar gas hasil gasifikasi pada *lime kiln*, dan mengatur parameter proses seperti kualitas *green liquor* melalui perlakuan khusus menggunakan metode kimia yaitu koagulasi-flokulasi sebelum diproses pada sistem kaustik (Kashikara, dkk., 2020).

Proses penjernihan *green liquor* pada sistem kaustik dilakukan dengan penambahan polimer dalam dosis tertentu. Akan tetapi, hal tersebut dinilai belum optimal lantaran persentase NPE pada *green liquor* seringkali berlebih, sedangkan pada proses selanjutnya sistem kaustik berpotensi mengalami lonjakan NPE yang berasal dari sumber lain (Bialik. M., dkk, 2015). Oleh karena itu, penting untuk menjaga persentase NPE seminimal mungkin pada setiap sumber daya salah satunya *green liquor* melalui optimalisasi proses koagulasi-flokulasi untuk mencegah akumulasi NPE pada sistem kaustik.

Sistem *tandem flocculation agent* merupakan salah satu bentuk optimalisasi proses penjernihan *green liquor* dengan memadukan dua jenis bahan kimia flokulan PDADMAC dan A-PAM seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Sistem *Tandem Flocculation Agent* PDADMAC : A-PAM

PDADMAC dipilih karena memiliki kepadatan muatan yang tinggi dan kemampuan kopolimerisasi dengan polimer sintetik atau alami seperti A-PAM untuk meningkatkan berat molekul serta menghadirkan efek positif terhadap proses flokulasi. Pada proses flokulasi berkelanjutan PDADMAC ditambahkan terlebih dahulu pada *green liquor* dengan tujuan destabilisasi partikel koloid sehingga mendekat satu sama lain dan membentuk gumpalan kecil (mikroflo). Sementara A-PAM yang memiliki berat molekul tinggi berperan dalam menjembatani hubungan antara mikroflo sehingga saling berikatan membentuk makroflo (Ningrum. E, dkk, 2019).

Tentunya dengan rasio dosis yang tepat, maka semakin banyak makroflo yang terbentuk dan mengendap sebagai aglomerat (*dregs*). Hal tersebut dapat memberikan efek positif terhadap tingkat kebersihan *green liquor* yang

semakin tinggi karena sebagian besar NPE telah dipisahkan ke luar sistem sehingga persentase NPE berlebih pada lime mud dan beberapa gangguan operasional dapat diminimalisir.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan meliputi persiapan alat dan bahan percobaan dan pengujian, pembuatan *clean green liquor* menggunakan metode *jar test*, pembuatan *white liquor* dan *lime mud* skala lab, uji NPE *green liquor* dan *lime mud* menggunakan dua metode yaitu ICP (*Inductively Coupled Plasma*) untuk mengetahui persentase senyawa NPE yang seringkali ditemukan berlebih dan berpotensi menyebabkan gangguan pada proses dan berdampak negatif terhadap kualitas produk antara lain SiO₂, MgO, Fe₂O₃, Mn₂O₃, Al₂O₃, dan metode *gravimetry* untuk mengetahui persentase senyawa P₂O₅. Kemudian, untuk variasi rasio dosis antara PDADMAC dan A-PAM yang digunakan ialah (0 ppm : 7 ppm); (3 ppm : 7 ppm); (5 ppm : 7 ppm).

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: *jar test*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, gelas beaker, termometer, *vacuum filter*, dan rangkaian alat pengujian NPE (*digest*, *Inductively Coupled Plasma* (ICP), dan *gravimetry*). Selanjutnya, bahan utama yang digunakan adalah *raw green liquor*, *burnt lime*, *fresh lime*, PDADMAC 0,1%, A-PAM 0,1%, HNO₃, HBF₄, dan *aquades*. Sebelum digunakan, sampel kalsium oksida jenis *burnt lime* dan *fresh lime* terlebih dahulu dilakukan pengujian tingkat kemurnian melalui prosedur berikut ini: Sampel dihaluskan menggunakan alu dan mortar, kemudian ditimbang sebanyak 0,5 gram. Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer dan ditambahkan 20 mL *water free CO₂*, lalu ditutup menggunakan *aluminium foil*.

Selanjutnya, sampel dipanaskan menggunakan *hot plate* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm dan temperatur 100 °C. Apabila telah mendidih sampel diangkat dan didinginkan terlebih dahulu, kemudian ditambahkan 15 gram gula pasir sebagai pelarut dan 150 mL *water free CO₂*, dan dilakukan pengadukan kembali menggunakan *stirrer* selama 10 menit hingga sampel tercampur rata. Kemudian, ditambahkan indikator *phenolphthalein* sebanyak 3-5 tetes ke dalam sampel yang awalnya berwarna putih lalu titrasi menggunakan larutan HCl 0,5 N sampai berubah warna menjadi putih kembali. Volume titrasi kemudian dicatat dan dilakukan perhitungan tingkat kemurnian menggunakan rumus (1) dibawah ini :

$$\text{Kemurnian CaO (\%)} = \frac{V_t \cdot N \cdot F \cdot 28}{W_s \cdot 1000} \times 100 \quad (1)$$

- V_t : Volume titrasi (ml)
- N : Normalitas larutan HCl
- F : Faktor koreksi larutan HCl
- W_s : Berat sampel (gram)

2.2 Proses Penjernihan *Green Liquor*

Penjernihan *raw green liquor* dilakukan melalui proses *jar test* yang berpedoman pada SNI 19-6449-2000 (Badan Standarisasi Nasional, 2000). Sebanyak 3 liter *raw green liquor* terlebih dahulu dituang ke dalam masing-masing gelas beaker (3 variasi). Selanjutnya PDADMAC 0,1% ditambahkan ke dalam sampel dengan dosis sebagai berikut: : 0 ppm (beaker 1), 3 ppm (beaker 2), 5 ppm (beaker 3). Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 150 rpm selama 1 menit. Setelah itu, ditambahkan larutan A-PAM 0,1% pada setiap sampel dan dilakukan pengadukan kembali dengan kecepatan 150 rpm selama 1 menit. Pengadukan sampel dilanjutkan dengan kecepatan 50 rpm selama 2 menit. Sampel kemudian didiamkan selama 5 menit untuk proses sedimentasi. Kemudian sampel *clean green liquor* yang diperoleh disimpan untuk proses selanjutnya.

2.3 Proses Pembuatan *White Liquor* dan *Lime Mud*

Pembuatan *white liquor* dan *lime mud* dilakukan pada skala laboratorium dengan target *causticizing efficiency* (CE) 82%, nilai tersebut dianggap cukup ideal mengingat CE (%) yang digunakan pada industri berada pada rentang 80-83. Penetapan CE (%) bertujuan untuk mengetahui jumlah kapur yang akan ditambahkan pada proses *causticizing* dengan memperhatikan nilai *Total Titratable Alkali* (TTA) pada *clean green liquor* yang akan dikonversi menjadi *white liquor*, dengan target CE (%) 82 diharapkan senyawa Na₂CO₃ dapat terkonversi menjadi NaOH secara optimal sehingga diperoleh *white liquor* yang memenuhi kriteria untuk digunakan kembali pada proses pemasakan *chip*.

Proses diawali dengan penambahan 200 mL *green liquor* ke dalam labu erlenmeyer 300 ml dan kemudian ditutup menggunakan *aluminium foil*. Sampel kemudian dipanaskan di atas *hot plate* serta diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga temperatur *green liquor* menjadi 87°C. Kemudian dilakukan penambahan kapur (CaO) dengan rasio 90% *burnt lime* dan 10% *fresh lime* ke dalam *green liquor* pada tahapan *slaking* yang dilakukan selama 20 menit dengan temperatur proses dijaga pada rentang 104-106°C menggunakan termometer.

Selanjutnya, proses memasuki tahap kaustisasi dimana proses pemanasan dilanjutkan selama 100 menit dengan temperatur proses dijaga pada 101-103°C. Setelah proses kaustisasi berakhir, dilakukan pemisahan antara padatan (*lime mud*) dan filtrat (*white liquor*) secara filtrasi menggunakan kertas saring. *Lime mud* yang telah diperoleh lalu disimpan untuk tahapan selanjutnya.

2.4 Perlakuan *Lime Mud*

Pada tahapan ini, *lime mud* yang telah diperoleh dalam wujud *slurry* dilakukan perlakuan terlebih dahulu melalui proses dilusi untuk memperoleh *lime mud ready to kiln*. Pertama, *lime mud* hasil filtrasi ditimbang untuk mengetahui volume air panas yang akan ditambahkan pada proses dilusi melalui rumus (2) di bawah ini :

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2)$$

- V : Volume air panas (ml)
- m : Massa lime mud (gram)
- ρ : Densitas air (1,05 g/ml)

Selanjutnya, *lime mud* dimasukkan ke dalam gelas beaker lalu diaduk hingga merata. Kemudian, campuran disaring menggunakan alat *vacuum filter*. Setelah itu, *lime mud* disimpan untuk selanjutnya dilakukan tahap pengujian.

2.5 Pengujian Non Process Element (NPE)

Pengujian NPE pada *lime mud* dilakukan menggunakan metode ICP (*Inductively Coupled Plasma*) dimana kadar logam multi-unsur dideteksi menggunakan sumber plasma berupa gas argon sehingga atom sampel mengeluarkan radiasi yang dipantulkan menuju prisma untuk kemudian dikategorikan berdasarkan panjang gelombang. Pengujian kadar pengotor dengan metode ICP dimulai dengan penimbangan sampel sebanyak 0,5 gram ke dalam tabung *digest*. Kemudian ditambahkan 8 ml HNO₃ dan 2 ml HBF₄.

Selanjutnya, tabung dimasukkan ke dalam *vessel* 200 ml dan dilakukan pemanasan pada suhu 80 °C menggunakan alat *microwave digest* selama 2 jam. Setelah itu, tabung dikeluarkan dari alat *digest* dan campuran sampel dituang ke dalam labu 100 ml lalu dilakukan dilusi dengan air *demin* sampai garis batas volume. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi 10 ml untuk kemudian dilakukan pengujian kandungan logam. Setelah beberapa waktu, kandungan pada sampel berupa unsur unsur logam akan terbaca pada sistem. Untuk memperoleh kadar senyawa logam yang ingin diketahui maka dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumus (3) disamping ini :

$$\text{NPE (\%)} = \frac{\text{Hasil ICP} \times \text{BM senyawa logam} \times 100}{\text{BM unsur logam} \times \text{berat sampel} \times 10.000} \quad (3)$$

Selain itu, pengujian NPE juga dilakukan menggunakan metode *gravimetry* dimana sampel disaring menggunakan kertas khusus untuk mendeteksi senyawa P₂O₅. Langkah pertama pengujian metode *gravimetry* adalah sampel *lime mud* ditimbang sebanyak 5 gram ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan pelarut HNO₃ 1:1 sebanyak 30 ml. Selanjutnya, sampel dipanaskan di atas *hot plate* dengan *setting* temperatur 100 °C, setelah mendidih sampel diangkat dan didinginkan. Sampel kemudian dipindahkan ke dalam labu 250 ml dan dilakukan dilusi menggunakan air *demin* hingga mencapai batas. Setelah itu, sebanyak 25 ml sampel diambil ke dalam gelas beaker, kemudian ditambahkan 50 ml air *demin* dan 10 ml HNO₃ 1:1 lalu dipanaskan kembali di atas *hot plate* pada temperatur 100 °C. Setelah mendidih ditambahkan *quimociac reagent* sebanyak 50 ml lalu sampel dipanaskan kembali hingga mendidih dan muncul padatan berwarna kuning.

Setelah itu, angkat dan dinginkan sampel terlebih dahulu sebelum disaring menggunakan alat *gravimetry* dengan tipe kertas saring GF/D yang telah di Oven Dry (OD) pada temperatur 180 °C (W₁). Kertas saring kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* dengan *setting* temperatur

180 °C selama 2 jam, hasilnya kemudian ditimbang (W₂). Untuk mengetahui persentase senyawa P₂O₅ pada *lime mud*, dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumus (4) dibawah ini :

$$\text{P}_2\text{O}_5 (\%) = \frac{(W_2 - W_1) \cdot \text{BM P}_2\text{O}_5 \cdot 100}{\text{Ws. Pengenceran}} \quad (4)$$

- W₁ : Berat awal kertas saring (gram)
- W₂ : Berat akhir kertas saring (gram)

3. Hasil dan Pembahasan

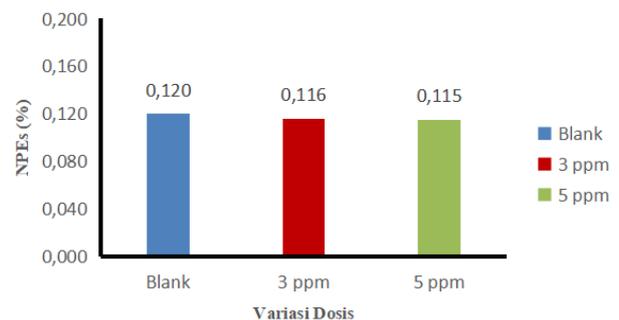
3.1 Pengaruh Variasi Rasio Dosis PDADMAC : A-PAM Terhadap NPE Clean Green Liquor

Efektivitas pemisahan NPE pada proses penjernihan *green liquor* menggunakan sistem *tandem flocculation agent* sangat dipengaruhi oleh sifat alami senyawa tersebut seperti tingkat kelarutan. Semakin tinggi kelarutan suatu senyawa NPE pada *green liquor* maka semakin sulit untuk dipisahkan menjadi endapan (*dregs*) pada proses koagulasi-flokulasi.

Hal tersebut dapat terlihat pada **Tabel 2** dimana persentase senyawa silikon dioksida terbilang cukup tinggi dibandingkan dengan NPE lain karena senyawa ini cenderung larut dalam *green liquor* (Laurikainen, T, 2019). Begitu pula sebaliknya, jika suatu senyawa NPE memiliki kelarutan yang rendah, maka dapat dengan mudah dipisahkan dari *green liquor*. Contohnya seperti senyawa magnesium oksida, besi (III) oksida, mangan (III) Oksida, dan aluminium oksida yang cenderung tidak larut pada *green liquor* sehingga ketika dilakukan proses koagulasi-flokulasi senyawa tersebut dapat dengan mudah dihilangkan dari sistem dan mengendap bersama partikel koloid lainnya menjadi *dregs* (Mousavi, S, 2019).

Rasio dosis PDADMAC : A-PAM dapat mempengaruhi persentase NPE (SiO₂, MgO, Fe₂O₃, Mn₂O₃, dan Al₂O₃) pada *clean green liquor* secara keseluruhan, dimana hampir setiap senyawa NPE mengalami penurunan kadar seiring bertambahnya dosis PDADMAC seperti pada **Tabel 2** dan **Gambar 2**.

Total NPEs Clean Green Liquor



Gambar 2. Pengaruh rasio dosis PDADMAC : A-PAM terhadap NPE *clean green liquor*

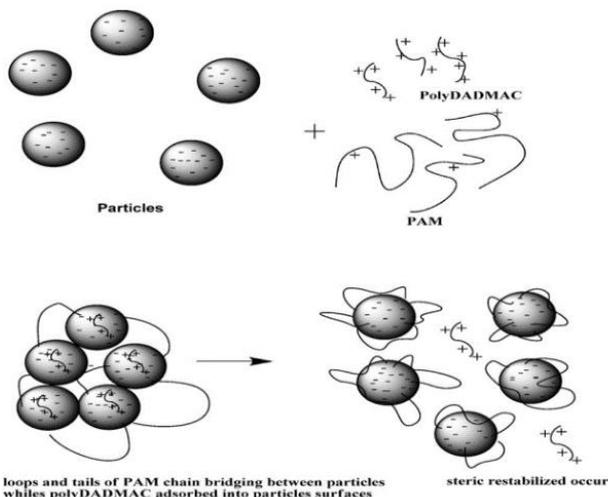
Hal tersebut dapat terjadi karena PDADMAC memiliki muatan positif (kationik) dan densitas muatan yang tinggi sehingga mempunyai kecenderungan lebih besar untuk mengadsorbsi muatan negatif dan dapat berperan sebagai

“destabilizer” karena ketika PDADMAC ditambahkan ke dalam sampel terjadi reaksi destabilisasi partikel koloid yang umumnya bermuatan negatif menjadi netral melalui gaya Van Der Waals dan didukung dengan adanya pengadukan cepat 150 rpm pada proses koagulasi sehingga partikel koloid cenderung berdekatan satu sama lain dan terjadi tumbukan sehingga membentuk mikrofluk (Arirahman, I, 2020). Kemudian, dilakukan penambahan A-PAM yang berperan sebagai "bridger" untuk mengurangi celah antar partikel dengan membentuk jembatan antar mikrofluk dan dibantu oleh pengadukan lambat 50 rpm sehingga menyebabkan mikrofluk yang tersebar di dalam larutan menjadi saling berikatan dan membentuk makrofluk.

Tabel 2. Pengaruh Rasio Dosis PDADMAC dan A-PAM Terhadap *Non Process Element (NPE) Clean Green Liquor*

Sampel	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Blank	0,1165	0,0009	0,0030	0,0001	0,0004
3 ppm	0,1134	0,0007	0,0023	0,0001	0,0003
5 ppm	0,1129	0,0006	0,0021	0,0001	0,0002

Seiring berjalannya waktu, makrofluk yang terbentuk akan terendapkan menjadi aglomerat karena gaya gravitasi pada dasar gelas beaker. Tentunya, seiring meningkatnya partikel koloid yang terendapkan menjadi aglomerat (*dregs*) berdampak positif terhadap *green liquor* hasil pengolahan yang menjadi lebih bersih sebelum digunakan sebagai umpan pada unit *slaker* dan *causticizer* menjadi *white liquor* dan *lime mud*. Hal tersebut cukup penting mengingat NPE tidak hanya berasal dari *green liquor*, akan tetapi juga dapat berasal dari bahan pendukung seperti kalsium oksida, *synthesis gas*, dan air proses yang juga dapat mempengaruhi persentase NPE pada setiap produk yang dihasilkan (Mousavi, S, 2019).



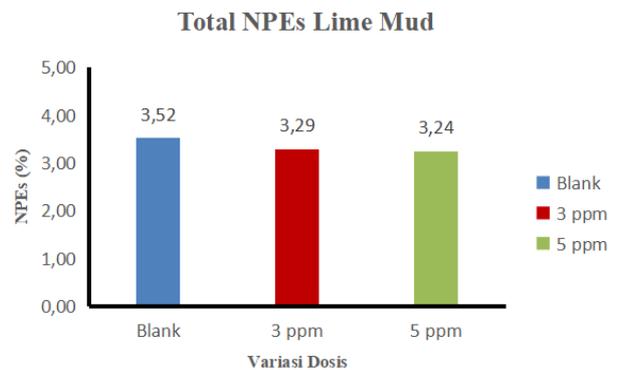
Gambar 3. Reaksi PDADMAC : A-PAM pada partikel koloid (Arrifin, A., dkk, 2012)

Tabel 3. Pengaruh Rasio Dosis PDADMAC dan A-PAM Terhadap *Non Process Element (NPE) Lime Mud*

Sampel	P ₂ O ₅	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Blank	0,747	1,592	0,253	0,290	0,006	0,632
3 ppm	0,715	1,485	0,223	0,256	0,005	0,598
5 ppm	0,701	1,484	0,212	0,249	0,005	0,587

3.2 Pengaruh Variasi Rasio Dosis PDADMAC : A-PAM Terhadap NPE Lime Mud

Hasil pengujian NPE *lime mud* menunjukkan bahwa rasio dosis PDADMAC : A-PAM dapat mempengaruhi persentase NPE secara keseluruhan. NPE yang lazim ditemukan seperti P₂O₅, SiO₂, MgO, Fe₂O₃, Mn₂O₃, dan Al₂O₃ mengalami penurunan persentase seiring dengan meningkatnya dosis PDADMAC.



Gambar 4. Pengaruh rasio dosis PDADMAC : A-PAM terhadap NPE *lime mud*

Berdasarkan **Tabel 3** dan **Gambar 4** dapat diketahui bahwa persentase NPE pada lime mud memiliki tren yang mirip seperti hasil pengujian *clean green liquor*. Di mana terjadi penurunan NPE seiring dengan meningkatnya rasio dosis PDADMAC : A-PAM.

Tabel 4. Standar Persentase NPE Lime Mud (%)

Senyawa	Kontrol
P ₂ O ₅	<1
SiO ₂	<0,5
MgO	<0,75
Fe ₂ O ₃	<0,3
Mn ₂ O ₃	-
Al ₂ O ₃	<0,5
Total NPE	<3,05

Secara tidak langsung, hal tersebut mengindikasikan bahwa tingkat kebersihan *green liquor* memiliki kontribusi terhadap persentase NPE pada *lime mud*, sehingga dengan adanya sistem *tandem flocculation agent* dapat dihasilkan penurunan persentase NPE yang lebih optimal dibandingkan sistem *single flocculation agent*. Hal tersebut dapat dilihat dari beberapa senyawa NPE yang telah memenuhi standar operasional perusahaan seperti pada **Tabel 4**. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, senyawa silikon dioksida yang memiliki kelarutan tinggi pada *green liquor* dapat terbawa hingga proses kaustisasi sehingga menyebabkan persentasenya pada *lime mud* melebihi standar yang telah ditetapkan. Selain itu, persentase senyawa aluminium oksida pada *lime mud* juga masih di atas standar operasi walaupun tidak terpaut jauh. Tentunya, NPE yang memiliki persentase melebihi ambang batas pada **Tabel 4** harus mendapat perhatian khusus agar tidak menimbulkan beberapa permasalahan baik dari segi operasional maupun kualitas produk (Standar Operasional Perusahaan, 2022). Akumulasi NPE pada proses proses *chemical recovery* dapat menyebabkan beberapa gangguan seperti endapan dan korosi pada utilitas seperti nozel, pompa, pemipaan dan instrumentasi (Pöykiö, R., dkk, 2015) seperti yang tercantum pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Efek Akumulasi *Non Process Element* (NPE) (Mousavi, S. 2019)

Senyawa	Masalah yang ditimbulkan
Mn ₂ O ₃	Material <i>inert</i> dalam siklus kaustik (<i>dead load</i>)
MgO	Menghambat pengendapan dan filtrasi <i>lime mud</i>
P ₂ O ₅	Mengurangi <i>lime availability</i>
SiO ₂	Meningkatkan beban filtrasi, beban mati <i>lime kiln</i> , serta memperlambat drainase <i>lime mud</i>
Al ₂ O ₃	Kerak
Fe ₂ O ₃	Peningkatan pembentukan debu pada <i>lime kiln</i>

Kemudian, juga dapat diketahui bahwa penurunan NPE pada rasio dosis PDADMAC 3 ppm : A-PAM 7 ppm terpaut 6,71% lebih rendah dibandingkan *blank*. Selanjutnya, terdapat *gap* antara rasio dosis PDADMAC 5 ppm : A-PAM 7 dan *blank* yaitu 8,02%. Namun, apabila ditinjau dari penurunan persentase masing-masing senyawa NPE, maka rasio dosis PDADMAC 3 ppm : A-PAM 7 ppm menunjukkan penurunan yang lebih signifikan dibandingkan rasio dosis PDADMAC 5 ppm yang cenderung stagnan. Hal ini disebabkan karena PDADMAC telah mendekati titik jenuh sehingga muncul fenomena pembalikan muatan dimana setelah netralisasi lengkap, rantai lain dari PDADMAC menempel atau diserap oleh partikel yang dinetralkan. Rantai yang melekat ini membawa molekul N⁺ yang dapat menyebabkan partikel menjadi bermuatan positif dan cenderung menjadi stabil. Oleh karena itu, terjadi gaya tolak-menolak antara rantai PDADMAC yang sudah teradsorpsi pada permukaan partikel koloid dengan molekul PDADMAC yang berlebih sehingga

cenderung tidak terjadi penurunan NPE (Ali. M.N, dkk, 2021).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa peningkatan rasio dosis PDADMAC : A-PAM pada sistem *tandem flocculation agent* memiliki pengaruh positif terhadap efektivitas dan efisiensi proses koagulasi-flokulasi sehingga persentase NPE (P₂O₅, SiO₂, MgO, Fe₂O₃, Mn₂O₃, dan Al₂O₃) pada *green liquor* dan *lime mud* secara keseluruhan mengalami penurunan. Kemudian, rasio dosis PDADMAC 3 ppm : A-PAM 7 ppm merupakan opsi yang paling optimal pada proses penjernihan *green liquor* karena menunjukkan penurunan persentase NPE pada *green liquor* dan *lime mud* yang lebih signifikan dibandingkan rasio dosis lainnya. Akan tetapi, diperlukan strategi lain dalam meminimalisir senyawa NPE yang larut dalam *green liquor* seperti silikon dioksida dan aluminium oksida melalui peningkatan kebersihan *synthesis gas* seperti pengendalian kualitas kulit kayu dan optimalisasi proses penyaringan abu terbang agar persentasenya pada sistem kaustik tidak berlebihan.

Daftar Pustaka

- Abdillah, F., 2020, Pengaruh penambahan burnt lime dan fresh lime terhadap efisiensi kaustisasi. Tugas Akhir Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Indonesia: Institut Teknologi Sains Bandung (ITSB).
- Ali, M.N., Fahmy, A.S. & Elhefny, R.M., 2021, Application of synthetic and grafted polymeric flocculants in agricultural wastewater treatment, *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, Vol.8 No.3, April: 2829-2836.
- Ariffin, A., Razali, M.A. & Ahmad, Z., 2012, PolyDADMAC and polyacrylamide as a hybrid flocculation system in the treatment of pulp and paper mills wastewater, *Chemical Engineering Journal*, No.179, Oktober: 107-111.
- Arirahman, I., 2020, Peningkatan kinerja elektroflotasi menggunakan biokoagulan biji alpukat (*persea americana*) dan kulit buah naga (*hylocerus polyhizus*) untuk pengolahan limbah laboratorium kimia. Skripsi Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Indonesia: Universitas Islam Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2000, SNI 19-6449-2000 tentang metode pengujian koagulasi-flokulasi dengan cara jar, DKI Jakarta: BSN.
- Bialik, M., Jensen, A. & Ahlroth, M., 2015, New challenges regarding non process element in the liquor and lime cycle, *TAPPI Journal*, Vol.14 No.7, Juli: 421-429.
- Hastuti, N., dkk, 2017, Komponen kimia dan potensi penggunaan lima jenis kayu kurang dikenal asal jawa barat, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol.35 No.1, Maret: 15-27.
- Kashikara, C.S., Borikarb, D.M. & Borikarc, M.A., 2020, Effect of causticizing temperature and retention time on

- desilication of green liquor, *Journal of Critical Reviews*, Vol.7 No.16, Juni: 1099-1105.
- Laurikainen, T., 2019, Zeta potential in lime mud evaluation. Thesis Program of Chemical and Process Engineering, School of Engineering Science, Finland: Lahti University of Technology (LUT).
- Maulia, G., 2020, Pembuatan PCC (Precipitated Calcium Carbonate) menggunakan bahan baku lime mud dengan metode kaustik soda, *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, Vol.2 No.2.
- Mousavi, S., 2019, Phosphorus in the lime cycle of kraft pulp mills. Thesis Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, Canada: University of Toronto.
- Mufid, F. & Anis, S., 2019, Pengaruh jenis dan ukuran biomassa terhadap proses gasifikasi menggunakan downdraft gasifier, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.10 No.3, Juli: 217-226.
- Ningrum, E., dkk, 2019, Sintesis Poly (Sodium Acrylate-Co-Acrylamide) Sebagai Flokulan Anionik Pada Pemurnian Nira, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, hlm. B5(1)-B5(7)
- Pöykiö, R., dkk, 2015, Evaluation of the bio-accessible non-process element concentrations in slaker grits by synthetic sweat and gastric fluids extraction, *Journal of Environmental and Occupational Science*, Vol.3 No.2, Maret: 65-70.
- Prastyo, A., 2020, Pembuatan PCC (Precipitated Calcium Carbonate) menggunakan bahan baku lime mud dengan metode kaustik soda. Tugas Akhir Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Indonesia: Institut Teknologi Sains Bandung (ITSB).
- Standar Operasional Perusahaan, 2022, Standar persentase NPE lime mud.
- Tamara, Y., 2021, Pengaruh variasi penambahan burnt lime dan fresh lime terhadap kualitas lime mud. Tugas Akhir Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Indonesia: Institut Teknologi Sains Bandung (ITSB).