Studi Kelayakan Penggunaan Air Kondensat dan Air Pendingin sebagai Pengencer pada Tahap Awal Proses Pemutihan Pulp

Andi Mulyadi¹, Ni Njoman Manik Susantini¹

¹ Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sains Bandung
Email : njoman.manik@gmail.com

Abstrak. Penggunaan *fresh water* di industri pulp sangat besar yaitu sekitar 25,000 galon per 1 ton kertas. Hal ini menuntut adanya inovasi terkait penghematan penggunaan air yang diambil langsung dari alam (*fresh water*). Inovasi terbaru terkait mengurangi atau mengganti *fresh water* adalah dengan menggunakan *condensate water* atau *cooling water* pada proses pemutihan pulp (*bleaching*). *Condensate water* diambil dari hasil samping proses di *Evaporation Plant*. Air pendingin (*cooling water*) yang digunakan dari *Cooling Tower*. *Cooling water* memiliki range yang rendah sehingga tidak efektif dalam pertukaran panas di *Cooling Tower*. Pada penelitian ini dilakukan variasi pencampuran *condensate water* yang akan diaplikasikan pada proses *bleaching* tahap awal dari serangkain pemutihan pulp (D0) yaitu : *condensate water* 10% + *fresh water* 90%, *condensate water* 20% + *fresh water* 80%, *condensate water* 30% + *fresh water* 70%, *condensate water* 40% + *fresh water* 60%, *condensate water* 50% + *fresh water* 50% dan *fresh water* 100%. Pada pencampuran *cooling water* yang akan diaplikasikan pada proses *bleaching* tahap D0 yaitu : *cooling water* 100%, *cooling water* 80% + *fresh water* 20%, *cooling water* 60% + *fresh water* 40%, *cooling water* 40% + *fresh water* 60%, *cooling water* 20% + *fresh water* 80%, dan *fresh water* 100%. Data *brightness cooling water* 100% yaitu 65,49% tidak berbeda dengan nilai *brightness fresh water* 100% yaitu 65,27% sedangkan nilai *brightness condensate water* 64,46% pada konsentrasi 10%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa mengganti *fresh water* dengan *cooling water* tidak mempengaruhi pulp yang dihasilkan sedangkan menggunakan *condensate water* sebagai pengencer pulp menyebabkan pulp yang dihasilkan mengalami penurunan *brightness*. *Cooling water* dapat menjadi pengganti *fresh water* sebagai pengencer pulp diproses *bleaching*.

Kata kunci: pemutihan pulp, *condensate water*, *cooling water*.

1 Pendahuluan

Industri pulp dan kertas merupakan industri yang menggunakan air dalam jumlah besar, yaitu 25,000 galon, sekitar 95,000 liter, *fresh water* untuk bisa menghasilkan 1 ton kertas [1]. *Fresh water* [2] didefinisikan sebagai air yang berasal dari sumber alam seperti sungai, embung dan lain sebagainya. Mengacu pada definisi *fresh water*, maka industri pulp dan kertas perlu mendapatkan cara baru atau inovasi untuk mengurangi penggunaan *fresh water*.

Inovasi terkait pengurangan *fresh water* selain tetap melindungi sumber air alami juga dibutuhkan untuk menekan biaya produksi yang pada akhirnya, meningkatkan keuntungan pada industri yang bersangkutan. Penekanan biaya produksi akan sangat membantu di saat ini yang sedang mengalami penurunan harga pulp hingga 20% [3]. Dengan mempertimbangkan faktor perlindungan sumber air alami dan cara penekanan biaya produksi, maka pada penelitian ini

memusatkan perhatian pada inovasi di pemutihan pulp (pulp *bleaching*).

Proses pada industri pulp, secara garis besar, dibagi menjadi 2 tahap utama yaitu persiapan bahan baku dan proses pembuatan pulp di unit mesin pulp (pulp *machine*). Tahap persiapan bahan baku pulp dibagi menjadi 4 sub tahap yaitu persiapan kayu (*wood preparation*), pemasakan (*pulp cooking*), pencucian (*pulp washing*) dan pemutihan (*pulp bleaching*). Pada tahap ke 2, dibagi menjadi beberapa sub tahap yaitu dari screening hingga penyimpanan dan distribusi. Setelah tahap ke 2 ini, pulp siap diolah menjadi berbagai produk kertas. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1

Gambar 1 Skema Singkat Proses Pembuatan Pulp

Kayu dari hutan industri masuk ke tahap *wood preparation*. Pada *wood preparation*, kayu, yang sudah berbentuk *log*, akan mengalami pengupasan kulit (*debarking*) terlebih dahulu. Dari unit *debarking*, maka kayu akan dibuat menjadi serpih kayu (*wood chip*). Proses selanjutnya adalah serpih kayu akan dimasak (*cooking*). Tujuannya adalah memisahkan lignin

dengan selulosa pada kayu [4]. Setelah *cooking*, proses berikutnya adalah pencucian (*washing*) yang bertujuan agar pulp bebas dari kotoran baik berupa emulsi *black liquor* (lindi hitam). Produk akhir dari proses *washing* adalah pulp yang kadar putihnya masih rendah (kurang dari 80%) Setelah proses *washing*, pulp masuk ke tahap pemutihan.

Proses pemutihan pulp adalah tahapan akhir sebelum masuk ke unit *pulp machine*. Unit pulp machine ada proses *screening*, pembuatan pulp hingga menjadi lembaran pulp hingga siap untuk didistribusikan ke industri kertas. Pada pemutihan ini, tahap yang krusial adalah tahap awal atau disebut D0. Pada tahap D0 proses pemutihan pulp menggunakan klorin dioksida (ClO_2) [5]. Klorin digunakan karena sifatnya yang reaktif, efektif dan menghasilkan pulp dengan sifat fisik dan derajat putih tinggi [6]. Pada D0 terjadi pengeluaran lignin, yang memberikan warna coklat pada pulp. Pada tahap D0 ini, pulp yang dihasilkan memiliki brightness sekitar 55-60% Tahap berikutnya, yaitu EOP (Ekstraksi Oksigen Peroksida) dan D1, adalah proses pemutihan dan pemurnian pulp [6] sehingga bisa didapatkan pulp dengan brightness di kisaran di atas 80%.

Proses pemutihan pulp menggunakan bahan kimia atau senyawa klorin dioksida [5]. Inovasi yang diharapkan mampu mengurangi biaya produksi pada proses DO adalah mengurangi atau mengganti *fresh water* dengan air kondensat (*condensate water*) atau dengan air pendingin (*cooling water*). Air kondensat adalah uap air yang berubah fasa menjadi air dari aliran proses karena penurunan suhu. Air kondensat dihasilkan dari *evaporation plant*. Penggunaan air kondensat sebagai air proses dipelajari dengan maksud menutup siklus air di perusahaan pulp dan mengurangi emisi [7].

Evaporation plant adalah bagian dari siklus chemical recovery di industry pulp. Pada plant ini, air diuapkan dengan panas tidak langsung melalui penggunaan steam [8]. Air Pendingin adalah air dari proses di *Cooling tower* yang berfungsi sebagai pendingin air atau untuk menurunkan suhu di aliran proses. Air pendingin bisa mengalami kejenuhan. Kejenuhan di sini berarti temperature *cooling water* memiliki range yang terlalu rendah sehingga proses penurunan temperature pada *cooling tower* tidak berjalan optimal dan perlu diganti. *Cooling water* dengan kondisi ini yang akan digunakan kembali sebagai pengencer pulp di proses pemutihan pulp tahap D0.

2 Metoda Penelitian

Untuk mengetahui apakah air kondensat dan air pendingin dapat digunakan untuk mengurangi *fresh water*, maka disusun langkah-langkah dengan melakukan percobaan terhadap pulp pada proses pemutihan Pulp tahap D0 dengan skala laboratorium.

Penelitian ini mengambil konsistensi pulp sebesar 10%. Nilai ini digunakan karena sample pulp yang digunakan adalah dari industri pulp yang sudah menetapkan nilai konsistensi sebesar 10%. Selain konsistensi, dosis ClO_2 yang digunakan adalah 18.5 kg/ton.

Variasi perbandingan dosis *fresh water* dengan air kondensat dan air pendingin dilakukan dengan tujuan memperoleh data parameter pulp seperti, bilangan kappa, viskositas CED, pH, residual chlorine, COD, dan brightness. Prosedur pengujian semua parameter pulp ini merujuk pada standar yang telah dirumuskan oleh TAPPI (Technical Association for the Pulp and Paper Industry). Prosedur ini dengan sendirinya akan dirujuk oleh semua industri pulp kertas termasuk industri pulp kertas di Indonesia.

2.1. Alat dan Bahan

Berikut adalah beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini :

Gelas beaker, gelas ukur, pipet ukur, magnetik stirrer, water bath, plastik, neraca analitik, dan alat screening adapun bahan yang digunakan yaitu *fresh water*, condensate water, cooling water, dan chlorine dioxide.

2.2 Variabel

Pada penelitian ini dilakukan variasi pencampuran air kondensat dengan *fresh water* dan variasi pencampuran air pendingin dengan *fresh water*. Sebagai tolok ukur digunakan 100 % *fresh water* dan pulp pada tahap tepat sebelum proses pemutihan (Pre D0)

Tabel 1 Variasi Pencampuran Air Kondensat

Variasi	Air Kondensat (%)	Fresh Water (%)
1	0	100
2	10	90
3	20	80
4	30	70
5	40	60
6	50	50

Tabel 2 Variasi Pencampuran Air Pendingin

Variasi	Air Pendingin (%)	Fresh Water (%)
1	0	100
2	20	80
3	40	60
4	60	40
5	80	20
6	100	0

2.3. Tahap Persiapan

Berikut adalah tahapan untuk mempersiapkan pengambilan data:

1. Pulp diambil dari tangki pre bleaching. Komposisi pulp acacia mangium (15%), acacia crasicarpa (55%), dan eucalyptus (30%).
2. Sampel pulp awal dilakukan pengujian seperti consistency, bilangan kappa, brightness, dan viskositas.
3. *Fresh water*, cooling water dan condensate water dilakukan pengujian seperti pH, color, turbidity, COD, conductivity, Fe, SiO_2 , total hardness, dan NaCl.

Berikut adalah hasil pengujian awal *fresh water*, condensate water dan cooling water. Standar yang disebutkan dalam table adalah standar yang digunakan pada plant Pengolahan Air.

Tabel 3 Hasil Pengujian Awal *Fresh Water*

Parameter	Standar	Unit	Hasil Uji
pH	6.5-7.5	-	6.8
Turbidity	≤ 2	NTU	0.8
Color	≤ 12	ppm	4.3
Conductivity	≤ 350	ppm	360
Fe	≤ 0.3	ppm	0.03
SiO_2	≤ 20	ppm	20.3
Total Hardness	≤ 70	ppm	56

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

NaCl	-	ppm	82.5
COD	-	ppm	121.0

NaCl	-	ppm	75.7
COD	-	ppm	212.8

Tabel 4 Hasil Uji Awal *Condensate Water*

Parameter	Standar	Unit	Hasil Uji
pH	6.5-7.5	-	8.7
Turbidity	≤ 2	NTU	5.9
Color	≤ 12	Ppm	50.5
Conductivity	≤ 350	Ppm	244
Fe	≤ 0.3	Ppm	0.08
SiO ₂	≤ 20	Ppm	4.3
Total Hardness	≤ 70	Ppm	8.7
NaCl	-	Ppm	1.4
COD	-	Ppm	520.8

Tabel 5 Hasil Uji Awal *Cooling Water*

Parameter	Standar	Unit	Hasil Uji
pH	6.5-7.5	-	6.9
Turbidity	≤ 2	NTU	1.4
Color	≤ 12	ppm	5.6
Conductivity	≤ 350	ppm	505
Fe	≤ 0.3	ppm	0.04
SiO ₂	≤ 20	ppm	31.1
Total Hardness	≤ 70	ppm	89.7

3. Pembahasan

3. 1. *Brightness*

Berikut adalah hasil pengujian kecerahan (*brightness*).

Gambar 2 Hasil Uji *Brightness* pada sample *condensate*

Pada gambar 2, variasi 1 dan 2 adalah variasi dengan *fresh water* dominan (*Fresh water* 100% dan 90%). Dari ke 2 variasi ini, nilai *brightness* memiliki nilai > 64%. Pada variasi ke 3 hingga ke 6 terjadi penurunan nilai *brightness*. Dari sisi besar persentase, penurunan ini belum signifikan karena penurunan terbesar antara variasi 1 dengan variasi 6 yaitu 2.52%. Target *brightness* pada pulp setelah bleaching adalah minimal 70% [9]. Namun mengingat bahwa makin kecil nilai *brightness* berarti akan membuat beban proses pemutihan di tahap EOP hingga D1 akan makin besar, maka dapat disimpulkan variasi 3 (20% *condensate* 80% *fresh water*) memberikan hasil yang optimal.

Gambar 3 Hasil Uji Brightness pada Campuran Condensate

Pada proses bleaching menggunakan air pengencer *fresh water* dengan rasio 100 ; 80 ; 60 ; 40 ; 20 ; 0 dan di campur dengan cooling water dengan rasio 0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 ; 100 di dapat data nilai brightness yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan bahkan data memberikan hasil yang sama. Hal ini berarti penggunaan *cooling water* tidak memiliki efek dalam menurunkan nilai *brightness*. Nilai brightness sampel 1 (*fresh water* 100%) adalah 65,27% dibandingkan dengan nilai brightness sampel 6 (*cooling water* 100%) adalah 65,49%. Dengan pulp yang air pengencernya menggunakan *fresh water* sebagai standar dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *cooling water* dapat menggantikan penggunaan *fresh water* sebagai air pengencer pulp dalam proses pemutihan tahap D0.

Adapun *optimal brightness pre D0 out* nilai standar nya minimal 45%. Dari gambar 3 terlihat *brightness* dari keluaran pre D0 memenuhi standar yaitu bernilai 48,2%. Untuk proses setelah D0, *brightness* optimal adalah minimal 70%. Nilai 70% diambil dengan memperhitungkan bahwa pulp setelah D1, memiliki *brightness* minimal 85%. Dengan 6 variasi yang digunakan tidak ada yang memenuhi target *brightness* untuk proses setelah D0.

Dengan membandingkan gambar 2 dan gambar 3, penggunaan *condensate* dan *cooling water*, belum memenuhi target 70%. Namun jika diperhatikan lebih jauh, pada Pre D0 pun nilai *brightness* masih di bawah 50%.

3.2. Viskositas

Hasil uji viskositas memberikan hasil seperti gambar berikut ini

Gambar 4 Hasil Uji Viskositas pada Cooling Water

Pada proses bleaching menggunakan air pengencer *fresh water* dengan rasio 100 ; 80 ; 60 ; 40 ; 20 ; 0 dan di campur dengan cooling water dengan rasio 0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 ; 100 di dapat data nilai viskositas yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan bahkan cenderung tetap. Hal ini berarti penggunaan *cooling water* tidak memiliki efek untuk menurunkan nilai viskositas. Nilai viskositas sampel 1 (*fresh water* 100%) adalah 653 cm³/gr dibandingkan dengan nilai viskositas sampel 6 (*cooling water* 100%) adalah 658 cm³/g. Adapun pada kondisi optimal nilai standar nya minimal 600 cm³/gr. Dengan pulp yang air pengencernya *fresh water* sebagai standar dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *cooling water* dapat menggantikan penggunaan *fresh water* sebagai air pengencer pulp dalam proses pemutihan tahap D0.

Gambar 5 Hasil Uji Viskositas pada Campuran kondensat

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

Dari gambar 4, terlihat bahwa kondisi optimum pada proses pemutihan pada sampel 2 (*fresh water* 90% + *condensate water* 10%) ditinjau dari nilai viskositas, diperoleh 707.62 cm³/gr dengan dosis ClO₂ 18.5 kg/T tidak terlalu beda dengan sampel 1 (*fresh water* 100%) dengan viskositas 708.21 cm³/gr dengan dosis ClO₂ 18.5 kg/T. Adapun pada kondisi optimal nilai standarnya minimal 600 cm³/gr. Dapat disimpulkan bahwa Penggunaan *Clean Condensate* berpengaruh terhadap penurunan Viskositas.

Viskositas yang menurun karena terjadi pemutusan rantai selulosa yang mengakibatkan rendahnya kekuatan pulp. Dari nilai viskositas diketahui kekuatan serat yang dimiliki oleh pulp serta hubungannya terhadap jumlah bahan pemutih yang diperlukan untuk proses pemutihan pulp. Dengan adanya nilai viskositas dapat diketahui perbandingan kekuatan serat yang dimiliki oleh pulp pada proses pemutihan pulp tahap pertama (D0) dan proses pemutihan pulp tahap kedua (D1). Penggunaan bahan kimia pemutih (ClO₂) yang berlebih menyebabkan degradasi selulosa sehingga mengurangi kekuatan pulp (viskositas Pulp).

3.3 Residual Cl

Gambar 6 Hasil Uji Residual pada Campuran Cooling Water

Dalam kondisi optimal nilai standar residual klorin adalah maksimal 10 ppm. Pada proses bleaching menggunakan air pengencer *fresh water* dengan rasio 100 ; 80 ; 60 ; 40 ; 20 ; 0 dan di campur dengan *cooling water* dengan rasio 0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 ; 100 di dapat data nilai residual chlorine yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan bahkan ada yang tidak berbeda. Dengan demikian, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7, menunjukkan penggunaan *cooling water* tidak mempengaruhi penurunan nilai *residual chlorine*. Nilai *residual chlorine* sampel 1 (*fresh water* 100%) adalah 7,6 ppm

dibandingkan dengan nilai residual *chlorine* sampel 6 (*cooling water* 100%) adalah 7,7 ppm. Dengan pulp yang air pengencernya *fresh water* sebagai standar dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *cooling water* dapat menggantikan penggunaan *fresh water* sebagai air pengencer pulp dalam proses bleaching tahap D0.

Gambar 7 Hasil Uji Residual pada Campuran Condensate

Dalam kondisi optimal nilai standar residual chlorine adalah maksimal 10 ppm. Dapat dilihat pada grafik diatas nilai residual chlorine yang terendah dihasilkan pada sampel 6 (*fresh water* 50% + *condensate water* 50%) dengan dosis penambahan ClO₂ 18.5 kg/T dan nilai residual chlorine 0.71, nilai ini sesuai standar untuk residual chlorine. Sedangkan untuk nilai *residual chlorine* tertinggi dihasilkan pada sampel 1 (*fresh water* 100%) dengan dosis penambahan ClO₂ 18.5 Kg/T dan nilai residual chlorine 7.48. Sehingga dapat disimpulkan untuk hasil nilai residual chlorine dapat di tekan dengan penambahan condensate water pada tahap bleaching D0.

3.4 End pH

Gambar 8 Hasil Uji pH pada Campuran Cooling Water

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

Nilai standar end pH adalah 2 hingga 3. Pada proses pemutihan menggunakan air pengencer *fresh water* dengan rasio 100 ; 80 ; 60 ; 40 ; 20 ; 0 dan di campur dengan *cooling water* dengan rasio 0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 ; 100 di dapat data nilai end pH yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan bahkan data memiliki persamaan yang artinya penggunaan *cooling water* tidak memiliki efek untuk menurunkan nilai end pH. Nilai end pH sampel 1 (*fresh water* 100%) adalah 2,7 dibandingkan dengan nilai end pH sampel 6 (*cooling water* 100%) adalah 2,8. Dengan pulp yang air pengencernya *fresh water* sebagai standard dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *cooling water* dapat menggantikan penggunaan *fresh water* sebagai air pengencer pulp dalam proses pemutihan tahap D0.

Gambar 9 Hasil Uji pH pada Campuran Condensate Water

Nilai standar End pH adalah 2-3. Dari gambar 9, hasil yang diperoleh adalah semua variasi dosis nilai End pH-nya sesuai standar dengan dosis penggunaan ClO_2 18.5 Kg/T dan nilai pH yang didapatkan 2.32 – 2.51. Sementara untuk nilai End pH tertinggi yaitu pada sampel 6 (*fresh water* 50% + *condensate water* 50%) dengan dosis penggunaan ClO_2 18.5 kg/T dengan nilai pH yang didapatkan 2.51, dan untuk nilai End pH terendah yaitu pada sampel 1 (*fresh water* 100%) dengan dosis penggunaan ClO_2 18.5 kg/T dengan nilai pH yang didapatkan 2.32. Dapat disimpulkan bahwa dosis penggunaan clean condensate pada saat proses pemutihan (D0) dapat mempengaruhi End pH yang didapatkan setelah proses pemutihan tersebut.

3.5 COD

Gambar 10 Hasil Uji COD pada Campuran Cooling Water

Nilai standar COD filtrate untuk ke waste water treatment maksimal 1400 ppm. Pada proses bleaching menggunakan air penencer *fresh water* dengan rasio 100 ; 80 ; 60 ; 40 ; 20 ; 0 dan di campur dengan *cooling water* dengan rasio 0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 ; 100 di dapat data nilai COD yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan bahkan data memiliki persamaan yang artinya penggunaan *cooling water* tidak memiliki efek untuk menurunkan nilai COD. Nilai COD sampel 1 (*fresh water* 100%) adalah 1106.68 ppm. dibandingkan dengan nilai COD sampel 6 (*cooling water* 100%) adalah 1138.47 ppm. Dengan pulp yang air pengencernya *fresh water* sebagai standard dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *cooling water* dapat menggantikan penggunaan *fresh water* sebagai air pengencer pulp dalam proses pemutih tahap D0.

Gambar 11 Hasil Uji COD pada Campuran Condensate Water

Research Paper Vol 3, No 1, Tahun 2021

Nilai standar COD filtrate untuk ke waste water treatment maksimal 1400 ppm. Hasil uji COD yang disajikan pada gambar 11 memperlihatkan semua variasi masih memenuhi standar. Dari hal ini, terlihat penggunaan condensate water pada proses bleaching D0 dapat mempengaruhi nilai COD. Semakin banyak penggunaan Clean Condensate semakin tinggi pula nilai COD-nya.

4. Kesimpulan dan Diskusi

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai studi kelayakan penggunaan *condensate water* dan *cooling water* sebagai air pengencer pulp pada proses bleaching tahap D0 dapat disimpulkan :

1. *Condensate water* sebagai pengencer pulp menyebabkan pulp yang dihasilkan mengalami penurunan *brightness* dan viskositas pulp sedangkan *cooling water* sebagai pengencer pulp tidak mempengaruhi *brightness* dan viskositas pulp yang dihasilkan. Optimasi penggunaan *condensate water* hanya 10% sedangkan optimasi penggunaan *cooling water* yaitu 100%.
2. Penggantian *fresh water* dengan *cooling water* tidak mempengaruhi limbah COD yang dihasilkan sedangkan menggunakan *condensate water* sebagai pengencer pulp menyebabkan limbah COD yang besar.
3. Nilai *brightness fresh water* yaitu 65,27% tidak berbeda secara signifikan dengan nilai *brightness cooling water* yaitu 65,49% serta didukung dengan nilai viskositas, end pH, residual chlorine, dan COD yang tidak berbeda secara signifikan sehingga *cooling water* dapat menjadi pengganti *fresh water* sebagai pengencer pulp di proses bleaching.

Upaya untuk mengurangi atau mengganti *fresh water* untuk proses pemutihan pulp ini sangat mungkin untuk dilanjutkan demi didapat hasil yang memenuhi persyaratan dan kebutuhan industri. Hal berikut yang dapat dijadikan tambahan untuk penelitian lanjutan diantaranya :

- Seluruh pembuatan pulp yaitu dari pembuatan serpih, pemasakan hingga pemutihan pulp, menggunakan *cooling water*

- Membuat kombinasi antara variasi *cooling water* dengan dosis ClO_2 untuk mendapatkan dosis yang tepat saat menggunakan *cooling water* sebagai pengganti *fresh water*
- Membuat variasi COD dan konduktivitas pada tahap D0 dengan pengencer air kondensat.

Referensi

1. <http://www.saka.co.id/news-detail/ph-white-water-dalam-industri-pulp-dan-kertas>
2. Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia no 11 tahun 2019 tentang Standar Industri Hijau untuk Industri Bubur Kertas dan Industri Bubur Kertas yang terintegrasi dengan Kertas.
3. <https://rivankurniawan.com/2019/01/15/industri-pulp-paper-indonesia/> - (diakses tanggal 13 Februari 2021)
4. <https://www.slideshare.net/JailaniIsmail/industri-pulp-dan-kertas-dari-kayu> (diakses tanggal 15 Februari 2021)
5. Silaban, K., dkk, Penentuan Suhu dan Waktu Optimum pada Tahap DO (Delignifikasi Pertama) Proses Bleaching Pembuatan Pulp, JOM FTEKNIK, Vol 2 no.2, Oktober 2015
6. Sihombing, F Penentuan Brightness Pulp pada D0, D1, dan D2 stage di unit Bleaching PT Toba Pulp Lestari, tbk porsea, Karya Ilmiah, 2008
7. Wang, Yang. (2017). *The Use of Secondary Condensate from Evaporation Plant in Pulp Bleaching*, master's thesis, Aalto University, School of Chemical Engineering.
8. Olsson, R. M., Simulation of Evaporation Plants in Kraft Pulp Mills: Including Lignin Extraction and Use of Excess Heat, Thesis for the degree of doctor philosophy, Heat and Power Technology, Dept of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2009
9. Bajpai, P, Biermann's Handbook of Pulp and Paper, 3rd edition, Elsevier Science, 2018