

Pengaruh Penggunaan Variasi Bahan Kimia *Repulping Aid* dalam Penghilangan Resin *Wet Strength* pada Tisu *High Wet Tensile*

Muhammad Iqbal¹, Ni Njoman Manik Susantini*²

Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Paper, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi dan Sains Bandung

*Corresponding author

*Email: njoman.manik@itsb.ac.id

Abstrak

Penggunaan resin wet strength pada pembuatan tisu menimbulkan gumpalan serat (*white spot*) saat limbah produk tisu (*broke*) diolah kembali (*repulping*). *White spot* ini dapat dihilangkan dengan menggunakan bahan kimia *repulping aid* yang bersifat oksidatif seperti hidrogen peroksida (H_2O_2), natrium hipoklorit ($NaClO$) serta sodium dichlorotriazine dehydrate ($NaC_3N_3Cl_2 \cdot 2H_2O$). Dengan menggunakan ke tiga *repulping aid* ini akan ditentukan bahan mana yang paling tepat digunakan pada *repulping broke high tensile tissue*. Metode yang digunakan adalah dengan meninjau dosis optimum dan *save time* yang dihasilkan. Sebagai sampel digunakan *broke towel tissue* dengan *wet strength* 350 gf/ 25 mm. Eksperimen *repulping* menunjukkan *white spot* paling rendah diberikan sodium dichlorotriazine dehydrate dengan dosis 5 kg/ton pada putaran 3000. *Save time* yang didasarkan pada nilai refining adalah 44,3% pada penggunaan hidrogen peroksida 5% dengan pH 11, natrium hipoklorit dengan dosis 2,5% memiliki *save time* 49,8% dan sodium dichlorotriazine dehydrate dengan *save time* sebesar 72,8%.

Kata kunci : *wet strength, tensile, tisu, repulping, broke*

Abstract

The use of wet strength resin in the manufacture of tissue creates white spots when tissue product waste (*broke*) is reprocessed (*repulping*). These white spots can be removed by using *repulping aid* chemicals that are oxidative, such as hydrogen peroxide (H_2O_2), sodium hypochlorite ($NaClO$), and sodium dichlorotriazine dehydrate ($NaC_3N_3Cl_2 \cdot 2H_2O$). By using these three *repulping aids*, it will be determined which material is the most appropriate for *repulping broken high tensile tissue*. The method used is to review the optimal dose and save the resulting time. As a sample, towel tissue with a wet strength of 350 gf/25 mm was used. The *repulping* experiment showed the lowest white spot given sodium dichlorotriazine dehydrate at a dose of 5 kg/ton at revolution 3000. The *save time* based on the refining value was 44.3% with the use of 5% hydrogen peroxide with a pH of 11, sodium hypochlorite at a dose of 2.5% had a *save time* of 49.8% and sodium dichlorotriazine dehydrate with a *save time* of 72.8%.

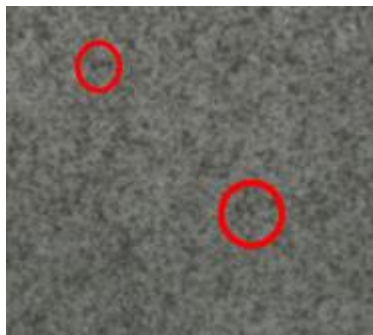
Keywords : *Wet strength, tensile, tissue, repulping, broke*.

Pendahuluan

Pembentukan kekuatan pada kertas tisu dipengaruhi oleh gaya van der Waals, ikatan hydrogen (A.Vainio & Paulapuro, 2007), dan kandungan selulosa. Kandungan selulosa ini berkontribusi pada tarik dan sifat mekanis (Ikhsani et al., 2025). Hingga kini *wet strength* pada kertas tisu masih menjadi perhatian karena nilainya menurun saat kertas tisu dibasahi (Salmen, 1985). Umumnya, penurunan ini dapat diatasi dengan menambahkan

resin *wet strength* kedalam pulp (Fellers & Norman, 1998), (Lindström et al., 2005), (Francolini et al., 2023). Namun hal ini dapat menimbulkan masalah baru selama proses repulping jika proses penambahan ditargetkan untuk mendapatkan kekuatan kertas tisu yang tinggi (Alén, 2007). Resin *wet strength* juga mengubah sifat fisik misalnya pada *dry strength* yang memiliki tendensi menurunkan kualitas kertas yang diberi resin tersebut (Małachowska, 2024). Resin *wet strength* yang umum digunakan sejak tahun 1957 adalah Polyaminoamide-Epichlorohydrin (PAE) (Liu & Li Qiuyue, 2014), (Eder et al., 2013).

PAE ini juga termasuk polimer penting dalam industry kertas (Francolini et al., 2023). *Broke* dan *trim* adalah bagian kertas yang dipotong atau dibuang saat produksi berlangsung. *Broke* dan *trim* akan diolah kembali untuk mengurangi limbah dan efisiensi bahan baku. *Broke* dengan *wet strength* tinggi akan sulit hancur dan menggumpal, yang disebut dengan *white spot*, yang menjadi indikasi kondisi serat. Jika serat tidak hancur, maka jumlah *white spot* akan bertambah dan begitu juga sebaliknya (Alén, 2007). Proses ini membutuhkan bahan kimia yang bersifat oksidatif untuk menghancurkan resin *wet strength* (Melchiorre, 1997). Keberadaan *white spot* ini akan mempengaruhi sifat optik tisu. Pada gambar 1 berikut adalah contoh *white spot* pada *handsheet*



Gambar 1 Handsheet yang dipenuhi white spot

Bahan kimia yang banyak digunakan dalam industri kertas untuk menghilangkan *white spot* adalah sodium dichlorotriazine dehydrate. Bahan kimia ini bersifat racun yang dapat membahayakan pekerja (*Compound Summary, Sodium Dichloro-s-Triazinetrione*

Dihydrate, n.d.). Oleh sebab itu diperlukan bahan kimia pengganti yang dapat mendegradasi *resin wet strength* tetapi aman serta ramah terhadap lingkungan.

Berdasarkan pemaparan di atas dilakukan penelitian yang bertujuan melakukan *repulping broke* tisu yang memiliki *wet strength* yang tinggi dengan menggunakan bahan kimia *repulping aid*. Kinerja yang dilihat adalah jumlah *white spot* pada kertas *handsheet* kemampuan pengeluaran air dari serat atau biasa disebut *freeness* (dihitung dengan standar Canadian Standard Freeness -CSF) (*Glossary of Papermaking Terms*, n.d.) dan adanya penghematan waktu *repulping (save time)*.

Bahan kimia yang digunakan adalah hidrogen peroksida dan natrium hipoklorit. Kinerja kedua bahan kimia tersebut akan dibandingkan terhadap sodium dichlorotriazine dehydrate (Melchiorre, 1997). Pemilihan hidrogen peroksida karena memiliki sifat oksidator dan ramah terhadap lingkungan. Hidrogen peroksida menghasilkan air dan gas oksigen di lingkungan akuatik. Bahan lainnya yaitu natrium hipoklorit yang memiliki sifat sehingga sering digunakan sebagai pembersih serta memiliki kandungan klorin dalam bentuk senyawa sehingga aman digunakan dalam dosis rendah (Eder et al., 2013).

Teori

Faktor yang mempengaruhi *repulping* diantaranya penggunaan suhu yang tinggi, pH , konsistensi dan intensitas. Suhu yang tinggi akan meningkatkan kerusakan ikatan serat dan resin, namun hal ini mempersingkat *repulping*. Penyesuaian pH sangat penting untuk *wet strength resin* dan tiap jenis resin memiliki kondisi yang khas. Dalam *repulping* perlakuan mekanis harus dicermati agar diperoleh hasil yang efisien. Perlakuan mekanis ini membutuhkan energi yang besar dan mahal namun serat yang dipulihkan tidak banyak. Prinsipnya adalah memulihkan sebanyak mungkin serat.

Penggunaan suhu yang lebih tinggi dalam proses *repulping* akan meningkatkan kerusakan ikatan serat dan resin, sehingga membantu mempersingkat proses *repulping* dan mengurangi biaya seluruh operasi (Barthel, 1965). Hal lainnya adalah penyesuaian

pH. Penyesuaian pH ini sangat penting untuk *wet strength resin*. Penyesuaian pH harus disesuaikan dengan setiap jenis resin.

Wet strength resin dapat dihilangkan dengan cara mekanis, tetapi daya yang digunakan sangat besar dan mahal. Hasil dari proses mekanis adalah serat yang kurang memenuhi standar. Serat yang dipulihkan namun kurang memenuhi standar masih dapat digunakan kembali sebagai bahan pengisi/ *filler*.

Resin PAE banyak digunakan karena karena stabil, efisien, sifat kertas, dan dapat mengurangi maintenance mesin. Namun saat *repulping*, dibutuhkan *wet strength resin* asam. Dalam resin poliamida, gugus amida pada rantai polimer tidak mudah terhidrolisis, dan ikatan nitrogen-karbon dari ikatan silang antar rantai tidak dapat terhidrolisis. Oleh karena itu, kekuatan basah yang diberikan oleh resin poliamida tahan lama sehingga diperlukan perlakuan khusus agar pemulihan *broke* dapat berhasil.

Resin tipe poliamida mengalami hidrolisis basa. Laju hidrolisis tergantung pada konsentrasi yang digunakan. Natrium hidroksida berhasil merepulping resin tipe poliamida pada pH sekitar 10 (Schmalz, 1961). Penambahan hipoklorit adalah repulping aid yang efektif untuk broke jenis ini karena klorinasi gugus amida akan membentuk produk yang kurang stabil sehingga mudah terdegradasi. Walaupun penggunaan hipoklorit efektif, tetapi memiliki kelemahan. Residunya juga merusak kinerja resin yang baru ditambahkan saat digunakan kembali. Untuk menghilangkan residu pulp broke akan dicuci menggunakan antiklor. Namun, proses pencucian ini dapat menghilangkan terlalu banyak *finer* (material selulosa yang kecil) dari sistem.

Untuk mempercepat proses *repulping* diperlukan bahan kimia yang tepat, berikut adalah bahan kimia yang dapat digunakan sebagai repulping aid pada penelitian ini. Yang pertama adalah Hidrogen peroksida (H_2O_2) yang merupakan oksidator kuat. Hidrogen peroksida dapat digunakan untuk mendegradasi kertas berbasis PAE. Peningkatan hasil degradasi dengan penambahan natrium hidroksida (Eder et al., 2013) [8]. Hidrogen peroksida (H_2O_2) digunakan untuk penghilangan lignin, tetapi dalam beberapa tahun terakhir penggunaannya dalam pemutihan pulp kimia telah meningkat pesat.

Penggunaan hidrogen peroksida sangat dipengaruhi oleh pH. Konsentrasi ion perhidroksil aktif (-HOO) meningkat seiring bertambahnya nilai pH. Aspek terpenting dari hidrogen peroksida adalah ketergantungannya pada konsentrasi. Semakin tinggi konsentrasi dalam *pulper* untuk jumlah tertentu hidrogen peroksida, semakin efektif bahan kimia tersebut (Sjostrom, 1993).

Bahan kimia berikutnya yang dapat digunakan adalah natrium hipoklorit. Natrium hipoklorit merupakan bahan utama dalam cairan pemutih. Zat ini digunakan secara luas sebagai zat pemutih pada produk tekstil, industri kertas dan pulp. Natrium hipoklorit juga digunakan sebagai zat pengoksidasi pada produk organik dalam industri petrokimia dan penyulingan produk minyak bumi. Natrium hipoklorit memiliki oksidasi yang baik dalam mendegradasi *wet strength resin*, sehingga tidak perlu penyesuaian pH dan temperatur. Kekurangan natrium hipoklorit adalah adanya kandungan klorin dan kontribusinya dalam jumlah AOX pada industri kertas.

Bahan kimia yang terakhir adalah Natrium-dichloro triazine dehydrate. Bahan ini biasanya digunakan dalam bentuk butiran sebagai disinfektan, dan pemurnian air. Dalam aplikasinya adalah sumber klorin akan lepas dalam konsentrasi rendah dengan laju yang relatif konstan [14]. dapat digunakan untuk menghilangkan *wet strength* dari *broke*. Bahan ini merupakan agen oksidasi yang baik, dan lebih besar dari natrium hipoklorit (Boettcher et al., 2007)

Secara ringkas komparasi bahan kimia untuk degradasi *wet strength* PAE dapat diuraikan sbb :

Tabel 1 Komparasi Bahan Kimia untuk Degradasi PAE

Aspek yang ditinjau	Hidrogen Peroksida(Zheng Dang, 2007)	Natrium Hipoklorit(Hashizume et al., 2022)	Natrium-dichloro triazine dehydrate(Hashizume et al., 2022; Kuznesof, 2004; Zheng Dang, 2007)
---------------------	--------------------------------------	--	---

Prinsip kerja	- Memutus ikatan organic pada resin - Bekerja pada pH alkali	- Memutus ikatan amina	- Mirip dengan natrium hipoklorit namun pelepasannya bertahap
Kecepatan degradasi PAE	- Sedang karena membutuhkan pH dan temperature optimal	- memberikan reaksi cepat	- sedang karena waktu reaksi lebih Panjang sehingga lebih terkendali
Sisi keamanan	Relatif aman jika sesuai prosedur	- Perlu pengendalian yang ketat karena korosif	- mudah disimpan - Pelepasan klorin terukur

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan kimia yaitu hidrogen peroksida (H₂O₂), natrium hipoklorit (NaClO) dan natrium dichlorotriazine dehydrate (NaC₃N₃Cl₂·2H₂O) sebagai agen repulping aid. Bahan kimia ini berfungsi untuk menghancurkan tisu *high wet tensile*. Penelitian ini dilakukan pada volume, *speed*, konsistensi, dan suhu yang tetap.

Dalam menyiapkan *stock* (suspensi dari air, serat dan bahan kimia) untuk penelitian ini digunakan *broke* dan bahan kimia repulping aid. *Broke* yang digunakan berasal dari jenis *Towel Tissue* yang memiliki *wet tensile* 350 gf/25 mm. *Towel tissue* memiliki nilai *wet strength* paling tinggi karena digunakan pada area yang penyerapan cairan (Gigac & Fiserova, 2008). Sebelum dimasukkan ke disintegrator, dilakukan uji moisture pada broke dengan memanaskannya dalam tungku (oven). Selanjutnya *broke* dengan berat 30 gram OD (*Outside Diameter*) dipotong dengan ukuran 3x3 cm agar mempermudah proses disintegrasi.

Broke dilarutkan dalam disintegrator dengan penambahan air sebanyak 2 L untuk mendapatkan konsistensi 1,5%. Disintegrator diatur pada jumlah putaran sejumlah 3.000, 5.000, 7.000 dan 10.000 atau masing-masing selama 10, 16, 22 dan 30 menit . Pemilihan putaran ini sesuai dengan TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) standard T 205.(*TAPPI Standards: Regulations and Style Guidelines*, 2018)

Tahap berikutnya adalah menambahkan repulping aid yaitu hidrogen peroksida, natrium hipoklorit dan sodium dichlorotriazine dehydrate. Penyesuaian pH pada hipoklorit dilakukan dengan menggunakan natrium hidroksida.

Stock 1 sebelum ditambahkan hidrogen peroksida, larutan pulp ditambahkan NaOH agar didapat pH larutan sebesar 9 , 10 dan 11. Setelah itu ditambahkan H₂O₂ dengan dosis 1%, 2,5% dan 5%. *Stock* 2, larutan pulp diberi natrium hipoklorit dengan dosis 1 %, 2.5% dan 5%. Untuk *stock* 3 larutan pulp ditambahkan sodium dichlorotriazine dehydrate dengan dosis 1 kg ton⁻¹, 2,5 kg ton⁻¹ dan 5 kg ton⁻¹. Dari ke 4 jenis stock ini dibuat *handsheet*, untuk kemudian akan masuk ke tahap 3 atau tahap *uji white spot* secara visual. Hasil uji visual ini akan dibandingkan dengan stock 4 (blanko).

Setelah proses dalam disintegrator, dilakukan uji fisik seperti *freeness*, temperatur dan pH serta pembuatan *handsheet* dari *stock*. *Handsheets* diperlukan untuk pengujian *white spot*. Semua hasil uji ini menjadi bahan untuk analisis guna menentukan *save time*.

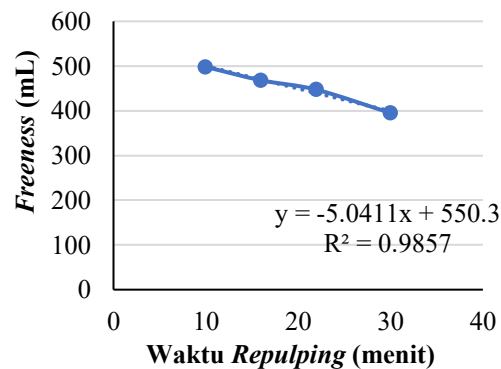
Hasil dan Pembahasan

Tahapan awal adalah identifikasi broke pada keadaan awal yaitu sebelum dilakukan treatment dengan penambahan repulping aid. Hasil pada tahapan awal ini akan dibandingkan dengan hasil treatment setelah penambahan repulping aid dengan dosis dan pH yang berbeda. Perbandingan ini dilakukan dengan membuat *handsheet* blanko. *Handsheets* blanko ini diposisikan sebagai standar. Parameter yang dibandingkan adalah sifat optik dan jumlah *white spot* yang terbentuk.

Pengujian Freeness pada Blanko

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah *broke towel tissue* dengan *wet tensile* 350 gf/25 mm. Pengujian yang dilakukan berupa pengecekan *white spot* dan nilai *freeness* pada revolusi/ waktu yang berbeda-beda.

Freeness atau derajat giling adalah kemampuan serat untuk mengeluarkan kadar air yang ada didalamnya sehingga kita bisa mengetahui kualitas fiber yang akan digunakan dalam proses produksi. Pengujian ini bertujuan melihat kemampuan fiber menahan air sebagai indikasi ukuran fiber. Fiber dengan ukuran yang kecil menunjukkan area kontak yang luas sehingga memiliki kemampuan menahan partikel air. Hasil pengujian freeness ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.







Gambar 2 Nilai Freeness blanko

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat semakin lama proses *repulping* akan membuat nilai *freeness* semakin kecil. Hal ini membuktikan semakin lama proses *repulping* maka ukuran *broke* semakin kecil yang juga menjadi indikasi *broke* hancur sehingga luas permukaan fiber akan semakin besar. Semakin luas area kontak juga semakin besar hal ini akan membuat celah antar fiber semakin rapat dan menghambat proses *dewatering*. Hasil tertinggi terletak di revolusi 3000 atau 10 menit dengan hasil Canadian Standard Freeness (CSF) 498 dan nilai terendah pada revolusi 10.000 atau waktu 30 menit dengan CSF 395.

Tujuan pengujian white spot adalah untuk mengetahui efektifitas proses disintegrasi dalam penghancuran broke. Pada table 1 menunjukkan jumlah white spot yang terbentuk pada saat desintegrator diputar dengan putaran 3.000, 5.000, 7.000 dan 10.000. Untuk mempermudah analisis dilakukan pembuatan skala jumlah *white spot* berdasarkan revolusi /waktu repulping.

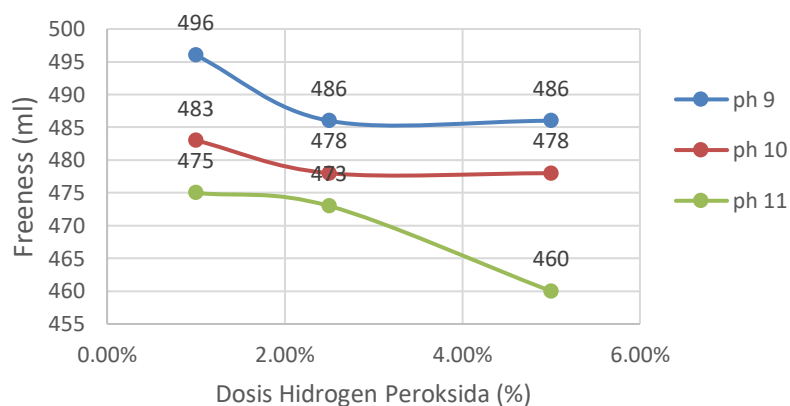
Tabel 2 Skala Kondisi white spot terhadap revolusi repulping

Skala	Revolusi <i>Repulping</i>	Kondisi <i>WhiteSpot</i>	Keterangan
1	3.000		- Jumlah <i>white spot</i> banyak - Ukuran <i>white spot</i> banyak
2	5.000		- Jumlah <i>white spot</i> banyak - Ukuran <i>white spot</i> lebih kecil dari skala 1
3	7.000		- Jumlah <i>white spot</i> berkurang - Ukuran <i>white spot</i> mengecil
4	10.000		- Jumlah <i>white spot</i> sedikit - Ukuran <i>white spot</i> sangat kecil

Pengujian Freeness terhadap *Treatment* dengan Hidrogen Peroksida

Treatment broke towel tissue dengan *wet tensile* 350 gf/25 mm adalah dengan menambahkan hidrogen peroksida sebagai repulping aid. Pengujian yang dilakukan terhadap *white spot* dan nilai *freeness* pada dosis dan pH yang berbeda. Hasil pengujian ini ditampilkan pada gambar 3

Penurunan nilai *freeness* pada masing-masing pH terjadi dari dosis 1% ke 2,5%. Pada pH 9 dan 10, nilai *freeness* tetap walau dosis dinaikkan menjadi 5%. Pada pH 11, tetap terjadi penurunan nilai *freeness*, dari dosis 1 %, 2,5% dan 5% . Hal ini membuktikan semakin tinggi nilai pH dan dosis maka konsentrasi ion perhidroksil aktif (OOH-) maka *broke* akan lebih cepat hancur. Peningkatan ion perhidroksil aktif akan semakin banyak mendegradasi gugus amida yang mengikat gugus O- pada selulosa yang teroksidasi.



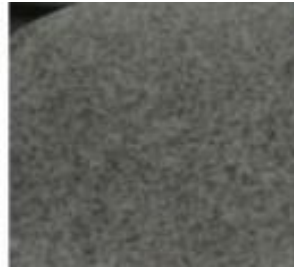
Gambar 3 Pengaruh Penambahan hidrogen peroksida terhadap nilai *freeness*

Pengujian White Spot terhadap *Treatment* dengan Hidrogen Peroksida

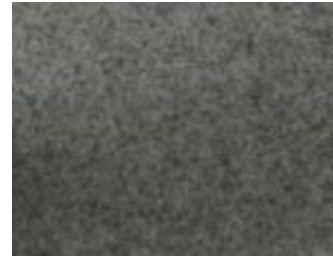
Berikut ini adalah hasil repulping dengan pH 9, pH 10, dan pH 11 dan waktu selama 10 menit ditunjukkan pada gambar 3, 4 dan 5. Pada gambar 4 dapat dilihat jumlah white spot mengalami penurunan namun masih berukuran besar. Secara visual bentuk dan ukuran white spot ini adalah hampir identik dengan white spot dari revolusi 3000 atau disebut skala 1.



Dosis 1%

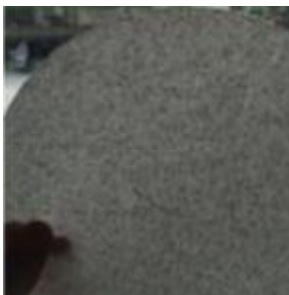


Dosis 2,5%



Dosis 5%

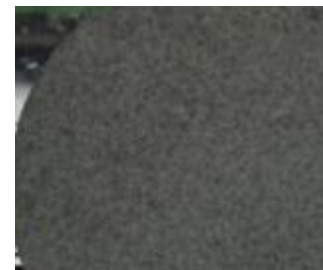
Gambar 4 Kondisi *white spot* pada Penambahan Hidrogen Peroksida pada pH 9



Dosis 1%



Dosis 2,5%



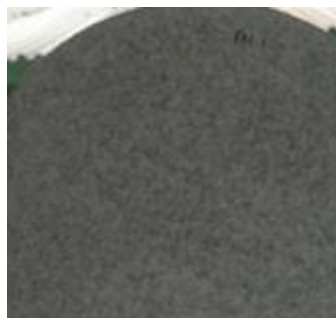
Dosis 5%

Gambar 5 Kondisi *White Spot* pada penambahan Hidrogen Peroksida dengan pH 10

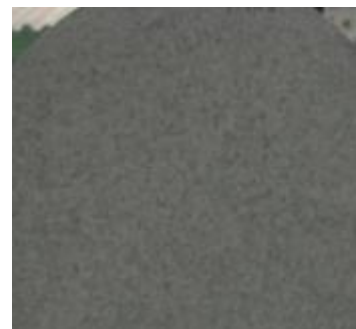
Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa pada pH 10 dengan waktu repulping 10 menit menghasilkan ukuran white spot yang lebih kecil. Namun dari segi jumlah, white spot ini masih cukup banyak seperti pada revolusi 5000 atau skala 2.



Dosis 1%



Dosis 2,5 %



Dosis 5%

Gambar 6 *White spot* dengan Penambahan Hidrogen Peroksida pada pH 11

Pada gambar 6 dapat dilihat kondisi *white spot* pada *handsheet* pada pH 11 dengan waktu repulping 10 menit. Pada dosis 1% dan 5% jumlah dan ukuran white spot dapat

masuk kategori skala 2. Pada dosis 5% terlihat bahwa ukuran white spot sangat kecil tetapi jumlahnya masih cukup banyak. Dengan demikian dosis 5% dapat masuk kategori antara skala 2 dan skala 3.

Dari pengujian dan pengamatan hasil percobaan, terlihat bahwa penurunan jumlah white spot berhubungan dengan kenaikan pH dan dosis. Hal ini karena *wet strength* resin polyamidaamina epichlorohydrin, yang pada awalnya berikatan dengan fiber, akan berikatan dengan ion perhidroksil aktif. Pembentukan aglomerasi di tahap awal, yang menyebabkan terjadinya gumpalan serat (*white spot*), akan berkurang. Muatan fiber tidak lagi disatukan oleh muatan *wet strength* resin dan akan terjadi tolak menolak antar fiber yang akan mengurangi jumlah *white spot*.

Save Time dengan Penambahan hidrogen peroksida

Save time adalah persentase penghematan waktu yang didapat setelah penambahan hidrogen peroksida. Berikut ini adalah tabel save time pada penelitian ini

Tabel 3 Save time pada Penambahan Hidrogen Peroksida

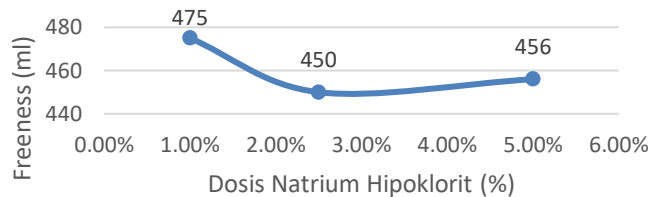
Nama Bahan kimia	pH	Dosis	Waktu penambahan H ₂ O ₂ [menit]	Waktu sebelum penambahan H ₂ O ₂ (Blanko) [menit]	Save time (%)
Hidrogen Peroksida – H ₂ O ₂	9	1%	10	10,912	8,35777
		2,5%		12,867	22,28181
		5%		12,867	22,28181
	10	1%		13,4535	25,66990
		2,5%		14,431	30,70473
		5%		14,431	30,70473
	11	1%		15,0175	33,41102
		2,5%		15,4085	35,10076
		5%		17,95	44,28969

Nilai waktu blanko didapatkan dari regresi nilai CSF blanko terhadap waktu. Dengan demikian dapat ditentukan sehingga didapatkan waktu yang dibutuhkan broke untuk mencapai nilai CSF tanpa penambahan bahan kimia.

Berdasarkan tabel 2, terlihat bahwa save time akan sebanding dengan penambahan dosis hidrogen peroksida dan pH. Nilai save time tertinggi pada 44,3% pada dosis 5% dan pH 11.

Pengujian *Freeness* terhadap Treatment dengan Natrium Hipoklorit

Treatment ini menggunakan *Broke tissu towel* dengan *wet tensile* 350 gf/25 mm ditambahkan natrium hipoklorit sebagai *repulping aid*. Bentuk pengujian yang dilakukan berupa uji white spot dan perhitungan nilai *freeness* pada dosis yang berbeda. Nilai pH berubah seiring penambahan dosis natrium hipoklorit.



Gambar 7 Nilai *freeness* pada Penambahan Natrium Hipoklorit

Gambar 7 menunjukkan pengaruh dosis natrium hipoklorit terhadap nilai *freeness*. Pada dosis dari 1% dengan pH 10,7 nilai *freeness* menjadi 475, pada dosis 2,5% dengan pH 11,2 menjadi 450 dan pada dosis 5% dengan pH 11,5 kembali naik dengan *freeness* 456.

Dari percobaan dapat dilihat perubahan *freeness* pada dosis 1% ke 2,5% cukup jauh dan kinerja tidak efektif lagi pada 5% sehingga terjadi kenaikan nilai *freeness*. Hal ini menunjukkan bahwa dosis efektif berada di kisaran 2,5% untuk mengurangi *white spot*. Hal yang diduga kuat berpengaruh pada penurunan *white spot* adalah proses pembentukan anion hipoklorit (OCl^-) di dalam air dan peningkatan nilai pH.[6]

Anion hipoklorit akan mengklorinasi gugus amida pada polyamidaamina epichlorohydrin sehingga akan lebih cepat menghancurkan broke yang mengandung *wet strength* tersebut. Tetapi, jika dosis natrium hipoklorit terlalu tinggi maka pHnya akan semakin tinggi dan mencapai kestabilan pada pH mendekati 12 dan tidak bereaksi dengan senyawa lainnya, sehingga pada dosis 5% pHnya sebesar 11,5, akan mengurangi kinerja dari bahan kimia tersebut.

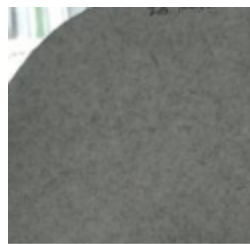
Pengujian White Spot terhadap Treatment dengan Natrium Hipoklorit

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa pada dengan penambahan natrium hipoklorit dengan waktu repulping 10 menit. Pada dosis 1% terlihat masih cukup banyak white spot seperti blanko dengan revolusi 5000 atau 16 menit tetapi lebih sedikit dari revolusi 3000 atau 10 menit (skala 1-2). Pada dosis 2,5% penurunan jumlah white spot cukup signifikan mendekati nilai 7000 revolusi atau 22 menit (skala 3), dan terjadi penambahan jumlah white spot pada dosis 5% seperti pada jumlah white spot 5000 revolusi atau 16 menit dengan ukuran white spot yang lebih kecil (skala 2 – 3)

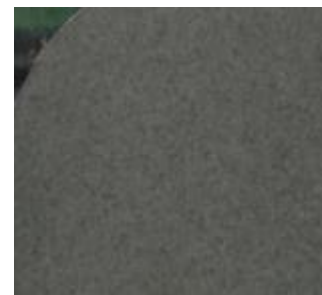
Dari penelitian ini didapatkan bahwa penurunan jumlah *white spot* diikuti dengan kenaikan dosis hingga batas tertentu. Hal ini diakibatkan oleh *wet strength resin* polyamidaamina epichlorohydrin (bermuatan positif) yang semulanya berikatan dengan fiber (bermuatan negatif), akan berikatan dengan ion anion hipoklorit (OCI-) (bermuatan negatif). Pembentukan algomerasi yang menyebabkan terjadinya gumpalan serat (*white spot*) akan berkurang, karena muatan dari fiber tidak lagi disatukan oleh muatan *wet strength resin* dan akan terjadi gaya tolak antar fiber. Hal ini yang pada akhirnya akan mengurangi jumlah *white spot*. Kenaikan nilai pH natrium hipoklorit hingga di angka 12 akan membentuk produk yang lebih stabil sehingga efektivitas akan berkurang.



Dosis 1%



Dosis 2.5%



Dosis 5%

Gambar 8 *White spot* pada penambahan natrium hipoklorit dengan waktu *repulping* 10 menit

Save Time

Save time atau persentase penghematan waktu yang dapat dilakukan setelah penambahan natrium hipoklorit dapat dilihat pada tabel 2.

Nilai waktu blanko didapatkan dari regresi nilai CSF blanko terhadap waktu sehingga didapatkan waktu yang dibutuhkan broke untuk mencapai nilai CSF tanpa penambahan bahan kimia.

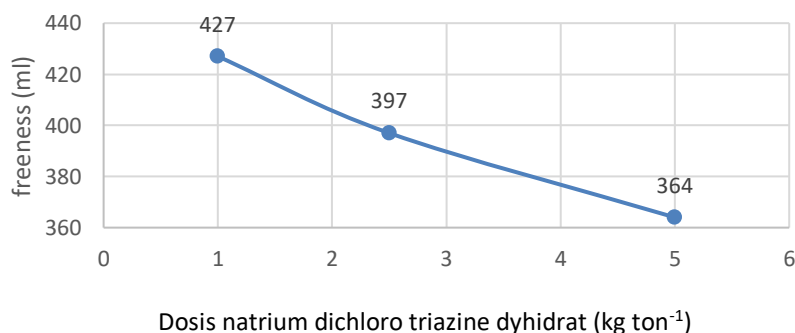
Tabel 4 Save time dengan Penambahan Natrium Hipoklorit

Nama Bahan Kimia	pH	Dosis	Waktu Penambahan dengan NaOCl [menit]	Waktu tanpa penambahan NaOCl (Blanko) [menit]	Save time (%)
Natrium Hipoklorit	10,7	1%	10	15,0175	33,41102
	11,2	2,5%		19,909	49,76137
	11,5	5%		18,732	46,61542

Dari tabel 4 didapatkan bahwa nilai save time akan naik saat dosis natrium hipoklorit naik dan akan konstan diatas dosis 2,5%. Nilai save time tertinggi pada 49,8% pada dosis 2,5% dan pada dosis 5% sebesar 46,6%.

Pengujian Freeness terhadap Treatment Sodium Dichlorotriazine Dehydrate

Broke tisu towel dengan wet tensile 350 gf/25 mm ditambahkan dengan sodium dichlorotriazine dehydrate sebagai repulping aid. Pengujian yang dilakukan berupa pengecekan white spot dan nilai freeness pada dosis yang berbeda, pH digunakan sesuai dengan industri yaitu pH 6.



Gambar 9 Pengaruh penambahan Dosis Sodium Dichlorotriazine Dehydrate terhadap nilai *freeness*

Gambar 9 menunjukkan pengaruh dosis sodium dichlorotriazine dehydrate terhadap nilai *freeness*. Pada dosis dari 1 kg ton^{-1} nilai *freeness* menjadi 427, pada dosis $2,5 \text{ kg ton}^{-1}$ menjadi 397 dan pada dosis 5 kg ton^{-1} adalah 364. Dari percobaan ini dapat dilihat perubahan *freeness* menurun seiring penambahan jumlah dosis sangat jauh dengan penurunan tertinggi di 364 dengan dosis 5 kg ton^{-1} .

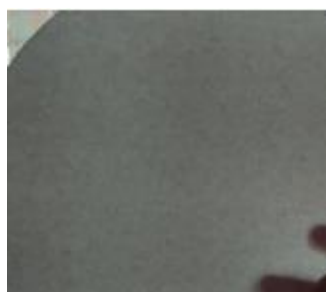
Dari gambar 9 dapat dilihat akan terjadi penurunan nilai *freeness* yang diikuti oleh kenaikan dosis. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan nilai dosis hingga batas tertentu dapat mengurangi nilai *white spot* karena sodium dichlorotriazine dehydrate akan membentuk anion hipoklorit (OCl^-) didalam air, tetapi tidak terjadi peningkatan nilai pH karena produk sampingnya $\text{NaH}_2(\text{NCO})_3$. Anion hipoklorit akan mengklorinasi gugus amida pada Polyamino Polyamide Epichlorohydrin sehingga akan lebih cepat menghancurkan *broke* yang mengandung *wet strength* tersebut.

Pengujian White Spot terhadap Treatment Sodium Dichlorotriazine Dehydrate

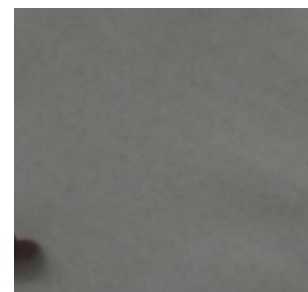
Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa pada dengan penambahan sodium dichlorotriazine dehydrate dengan waktu repulping 10 menit, pada dosis 1 kg/ton terlihat jumlah white spot sedikit seperti blanko dengan revolusi 7000 atau 22 menit (skala 3). Pada dosis $2,5 \text{ kg ton}^{-1}$ terjadi penurunan jumlah white spot seperti nilai white spot 10.000 revolusi atau 30 menit (skala 4) , dan pada dosis 5 kg ton^{-1} terlihat hampir tidak ada white spot melebihi blanko dengan 10.000 revolusi.



Dosis 1 kg ton^{-1}



Dosis $2,5 \text{ kg ton}^{-1}$



Dosis 5 kg ton^{-1}

Gambar 10 *White spot* pada Penambahan Natrium Dichlorotriazine Dehydrate dengan Waktu *Repulping* 10 menit

Dari percobaan ini penambahan dosis akan mengurangi nilai white spot secara signifikan, dan penurunan tertinggi pada dosis 5 kg ton⁻¹ dengan menghilangkan white spot secara total. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pengurangan jumlah white spot diikuti dengan kenaikan dosis, ini diakibatkan oleh wet strength resin polyamidaamina epichlorohydrin (bermuatan positif) yang semulanya berikatan dengan fiber (bermuatan negatif), akan berikatan dengan ion anion hipoklorit (OCI-) (bermuatan negatif), sehingga yang awalnya terbentuk alomerasi yang menyebabkan terjadinya gumpalan serat (*white spot*) akan berkurang, karena muatan dari fiber tidak lagi disatukan oleh muatan *wet strength resin* dan akan terjadi tolak menolak antar fiber yang akan mengurangi jumlah white spot.

Save Time terhadap Treatment Sodium Dichlorotriazine Dehydrate

Save time atau persentase penghematan waktu yang dapat dilakukan setelah penambahan sodium dichlorotriazine dehydrate dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5 Save Time dengan Penambahan Sodium Dichlorotriazine Dehydrate

Nama Bahan Kimia	pH	Dosis (kg/ton)	Waktu dengan Penambahan <i>natrium dichlorotriazine dehydrate</i> [menit]	Waktu tanpa Penambahan <i>natrium dichlorotriazine dehydrate</i> (blanko) [menit]	Save time (%)
<i>natrium dichlorotriazine dehydrate</i>	6	1	10	24,402	59,01891
		2,5		30,267	66,96017
		5		36,718	72,76540

Nilai waktu blanko didapatkan dari regresi nilai CSF blanko terhadap waktu sehingga didapatkan waktu yang dibutuhkan broke untuk mencapai nilai CSF tanpa penambahan bahan kimia. Dari tabel diatas didapatkan bahwa nilai save time akan naik saat dosis sodium dichlorotriazine dehydrate naik, dengan Nilai save time tertinggi pada 72,8% pada dosis 5 kg/ton.

Kesimpulan

Eksperimen dengan menggunakan hidrogen peroksida, natrium hipoklorit dan natrium dichlorotriazine dehydrate menunjukkan bahwa ke 3 bahan kimia ini dapat menjadi repulping aid. Hal ini ditunjukkan adanya penurunan nilai freeness, penurunan jumlah

white spot dan peningkatan *save time* . Namun natrium dichlorotriazine dehydrate menunjukkan kinerja paling baik karena penurunan *freeness* terbesar yaitu dari CSF 498 menjadi CSF 364, penurunan jumlah *white spot* yang melebihi skala 4 dan *save time* tertinggi yaitu sebesar 72,8%.

Daftar Referensi

- Alén, R. (2007). *Papermaking Science and Technology* (Vol. 4). Papermaking Chemistry.
- A.Vainio, & Paulapuro, H. (2007). Interfiber bonding and fiber segment activation in paper. *Bioresources*, 2(3), 442.
- Barthel, J. C. (1965). *How Wet-Strength Broke is Being Reclaimed by a Number of Mills*.
- Boettcher, J. A., Chao, M., & Tufano, T. P. (2007). *Process for repulping wet-strength broke* (Patent 11/228, 127).
- Compound Summary, Sodium dichloro-s-triazinetrione dihydrate*. (n.d.).
- Eder, S., Wafa, N., Nathalie, M., Séverine, S., & Evelyne, M. (2013). Effect of chemical additives on the degradation of PAE films and PAE-based papers made from bleached kraft pulps. *Pulp&Paper Research Journa*, 28(4), 529–540.
- Fellers, C., & Norman, B. (1998). *Pappers Teknik. Avdelingen for Pappers och Massateknik*. Kungsliga Tekniska Hogskolan.
- Francolini, I., Galantini, L., Rea, F., Di Cosimo, C., & Di Cosimo, P. (2023). Polymeric Wet-Strength Agents in the Paper Industry: An Overview of Mechanisms and Current Challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 24.
- Gigac, J., & Fiserova, M. (2008). Influence of pulp refining on tissue paper properties. *TAPPI JOURNAL*, 7(8), 27–32.
- Glossary of Papermaking Terms*. (n.d.).
- Hashizume, T., Okamoto, Y., Nagai, K., & Shimamoto, S. (2022). Mechanism of sodium-hypochlorite-induced degradation of cellulose acetate and the enhancement of its degradation resistance by chemical modification. *Textile Research Journal*, 92.
- Ikhsani, N., Fahmi Fawzy, R., Wijayono, A., Nurazizah, V., Pradifta, R. A., & Murti, W. (2025). Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Proses Kostikasi Pengurangan Massa Serat Daun Nanas. *Journal of Research and Education Chemistr*, 7(1), 135–147.
- Kuznesof, P. M. (2004). *SODIUM DICHLOROISOCYANURATE (NaDCC – anhydrous and dihydrate)* (Vol. 61).

- Lindström, T., Wågberg, L., & Larsson, T. (2005). On the nature of joint strength in paper—A review of dry and wet strength resins used in paper manufacturing. *Proceedings of the 13th Fundamental Research Symposium; Cambridge, UK. 11–16 September 2005*.
- Liu, K., & Li Qiuyue. (2014). *Wet Strength Paper*. Tampere University.
- Małachowska, E. (2024). Striving for Sustainable Solutions: Optimizing Utility Properties of Recycled Paper with the Addition of Wet Strength Resin. *Sustainability*, 16.
- Melchiorre, A. N. (1997). *The Repulping Of Wet-Strength Paperboard*. Western Michigan University.
- Salmen, N. L. (1985). *Mechanical properties of wood fibers and papers in Cellulose Chemistry and its Applications*.
- Schmalz, A. (1961). Handling of Polyamide-Type Wet Strength Broke. *TAPPI*, 44(4).
- Sjostrom, E. (1993). *Wood Chemistry. Fundamental and Applications* (2nd ed.). Academi Press.
- TAPPI Standards: Regulations and Style Guidelines*. (2018).
- Zheng Dang. (2007). *The Investigation of Carboxyl Groups of Pulp Fibers during Kraft Pulping, Alkaline Peroxide Bleaching, and TEMPO-mediated Oxidation*. Georgia Institute of Technology.