SISTEM PEMBERSIHAN STOK MULTI TAHAP UNTUK PENGHILANGAN *PITCH* DARI PULP KAYUDAUN

Lies Indriati
Balai Besar Pulp dan Kertas
Jl. Raya Dayeuhkolot no. 132, Bandung – 40258
Telp. 022-5202980, 5202871 Fax. 022-5202871
e-mail : liesinag@yahoo.com; liesinag@gmail.com

Naskah diterima tanggal : 20 Mei 2009

THE MULTISTAGE CLEANING SYSTEM REMOVAL FOR HARDWOOD PULP PITCH

ABSTRACT

The most common problem found in the use of hardwood pulps as paper raw material is pitch problems which will affect the paper machine runnability and the quality of paper produced. One of treatment to overcome those pitch problems is done by removing as much as possible extractives content of pulp used in the stock preparation process. A multistage cleaning system consisted of screens and a series of cleaners, is applied to remove contaminants including extractives of hardwood pulp which is used as 100% paper raw material. The eficiency of cleaning system on pitch removal of Mixed Tropical Hardwood (MTH) and Acacia mangium *pulps were 95-99% and 85-97% respectively.*

Keywords : pitch problem, extractives, mixed tropical hardwood, MTH, Acacia mangium, cleaning system, dirt

INTISARI

Permasalahan yang umum terjadi pada penggunaan pulp kayudaun sebagai bahan baku kertas adalah permasalahan pitch yang dapat mempengaruhi kelancaran jalannya proses produksi pada mesin kertas dan kualitas kertas yang dihasilkan. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan pitch ini adalah dengan menghilangkan semaksimal mungkin kandungan ekstraktif pulp yang digunakan pada proses penyiapan stok. Suatu sistem pembersihan multi tahap yang terdiri dari screen dan serangkaian cleaner digunakan untuk menghilangkan kontaminan termasuk senyawa ekstraktif dari pulp kayudaun yang digunakan sebagai 100% bahan baku kertas. Sistem pembersihan ini mampu menghilangkan kandungan pitch pada pulp kayudaun tropis campuran (*Mixed Tropical Hardwood* atau MTH) dan pulp Acacia mangium berturut-turut 95-99% dan 85-97%.

Kata kunci : masalah pitch, ekstraktif, kayudaun tropis campuran, *Acacia mangium*, sistem pembersihan, noda

PENDAHULUAN

Persaingan yang semakin ketat akibat diberlakukannya perdagangan bebas menyebabkan industri harus mampu meningkatkan daya saing. Salah satu cara yang dilakukan oleh industri adalah dengan meningkatkan kualitas produk melalui berbagai cara, seperti melakukan modifikasi proses atau peralatan produksi, bahkan sampai pada penerapan teknologi modern bagi industri berskala besar.

Indonesia dengan potensi bahan serat dari kayudaun yang cukup besar dengan 14 pabrik pulp, baik yang terpadu maupun tidak terpadu, pada tahun 2005 sampai dengan 2007 menempati peringkat 9 terbesar dunia dengan kapasitas produksi 6,5 juta ton pulp per tahun (APKI, 2007). Produk pulp yang dihasilkan umumnya adalah pulp putih kayudaun yang

diperoleh dari proses *kraft* atau sulfat. Ienis pulp ini dikenal dengan nama *Leaf Bleached Kraft Pulp* atau disingkat LBKP, dan banyak digunakan sebagai serat dalam proses produksi kertas putih.

Permasalahan yang umum dihadapi dalam penggunaan pulp kayudaun, khususnya kayudaun tropis campuran (*Mixed Tropical Hardwood* atau MTH) sebagai bahan baku kertas adalah masalah *pitch*. Masalah ini disebabkan oleh kandungan ekstraktif dalam kayu MTH yang tinggi. Penggunaan kayudaun jenis *Acacia mangium* juga dapat menimbulkan masalah *pitch* walaupun tidak sebesar masalah yang ditimbulkan oleh kayu MTH. Masalah *pitch* ini dapat mengganggu kelancaran proses pada mesin kertas, dan menurunkan kualitas kertas yang dihasilkan.

Berbagai cara dapat dilakukan untuk mengatasi masalah *pitch* ini. Perlakuan tersebut dapat diberikan pada saat proses pembuatan pulp di pabrik pulp, atau pada saat penggunaannya sebagai bahan baku kertas di pabrik kertas. Salah satunya dijelaskan dalam tulisan ini, yaitu proses pembersihan pulp pada tahap penyiapan stok kertas menggunakan rangkaian sistem pembersih yang diterapkan pada suatu industri kertas di Indonesia. Dalam tulisan ini dijelaskan tentang deskripsi dan kinerja sistem pembersihan stok yang berfungsi untuk menghilangkan kontaminan dari pulp kayudaun, termasuk ekstraktif yang berpotensi menyebabkan masalah *pitch*.

Ekstraktif dalam Pulp Kayu

Seperti telah diketahui bahwa pulp kayu terdiri atas 3 komponen utama, yaitu holoselulosa, lignin dan ekstraktif. Pada Tabel 1 dapat dilihat kandungan ketiga komponen kimia tersebut pada kayujarum (*softwood*) yang berserat panjang dan kayudaun (*hardwood*) yang berserat pendek.

Tabel 1. Kompisisi Kimia Pulp Kayu

Komponen	*Softwood*	*Hardwood*
Alfaselulosa, %	47	47
Hemiselulosa, %	22	29
- Pentosan, %	9	21
- Mannan, %	6	-
Lignin, %	28	21
- Metoksil, %	5	6
Ekstraktif, %	3	3

Sumber : Tasman, J.E (1992)

Tabel 1. menunjukkan bahwa besar kandungan ekstraktif pada pulp kayudaun maupun pulp kayujarum relatif sama. Ekstraktif dalam pulp kayu terdiri dari berbagai bahan terekstraksi yang terendapkan di seluruh bagian kayu selama terjadi pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan kelarutannya, komponen ekstraktif dikelompokkan ke dalam dua kelompok, yaitu larut dalam air dan larut dalam pelarut organik. Komponen yang larut air meliputi tanin, gum, dan berbagai senyawa berwarna. Sedangkan komponen yang larut dalam pelarut organik meliputi asam-asam resin seperti asam abitat, asam lemak seperti asam oleat, serta berbagai senyawa organik aromatik (Tasman, J.E., 1992).

Masalah *Pitch*

Pitch merupakan senyawa berbentuk resin yang umumnya terdapat dalam pulp asli (*virgin pulp*) (Thorn, I.dkk., 2009). *Pitch* berasal dari pulp kimia dan pulp mekanis kayu, berupa rosin dan ekstraktif yang bersifat tidak larut dan tidak suka air atau hidrofobik (Holik, H., 2006).

Kandungan ekstraktif, khususnya resin dan lemak, merupakan salah satu penyebab timbulnya masalah *pitch* pada pabrik kertas (Holik, H., 2006; Tasman, J.E., 1992; Scott, W.E., 1991; Casey, J.P., 1981).

Dalam sistem pembuatan kertas selalu ada *pitch* berbentuk koloid (*colloidal pitch*). Selama *pitch* tersebut berbentuk koloid yang stabil, masalah *pitch* tidak akan timbul. Namun kondisi pH dan suhu tertentu dapat menyebabkan terjadinya agregasi partikel-partikel kecil menjadi lebih besar yang menimbulkan permasalahan *pitch* pada proses pembuatan kertas (Scott, W.E., 1991).

Menurut Casey, J.P. (1981), *pitch* terlepas dari serat selama proses penggilingan dan cenderung berakumulasi membentuk suspensi koloid dari partikel yang bermuatan negatif. Partikel-partikel ini dapat menyumbat *wire* pada mesin kertas atau terakumulasi pada *felt* dan atau pada bagian mesin lainnya membentuk gumpalan yang lengket dan berwarna gelap, sehingga menyebabkan terbentuknya lubang pada lembaran kertas yang dihasilkan. Dalam beberapa kasus, *pitch* juga dapat menimbulkan masalah pada mesin *calendar*.

Berdasarkan pengalaman, baik kayujarum maupun kayudaun, keduanya berpotensi menyebabkan timbulnya masalah *pitch*. Namun besarnya kandungan ekstraktif tidak selalu

sejalan dengan intensitas timbulnya masalah *pitch*. Terbukti bahwa kayu pinus dengan kandungan ekstraktif yang tinggi hingga mencapai 20 % resin, tidak menimbulkan masalah *pitch* jika dimasak menggunakan proses sulfat. Bahkan dilaporkan bahwa adakalanya pulp dengan kandungan resin tinggi dapat diproses dengan lancar pada mesin kertas, sementara pulp dengan kandungan resin relatif kecil dapat menimbulkan masalah yang serius pada mesin kertas. Berdasarkan hasil penelitian selanjutnya ternyata ekstraktif yang larut dalam *naphta* atau *petroleum ether* merupakan penyebab masalah *pitch* yang paling dominan. Selain itu, komponen asam lemak dan tak tersabunkan di dalam ekstraktif merupakan penyebab yang signifikan terjadinya masalah *pitch* (Casey, J.P., 1981).

Selain jenis kayu, faktor yang berpengaruh terhadap timbulnya masalah *pitch* adalah jenis pulp yang digunakan, dan kondisi pada mesin kertas. Jenis pulp sulfit coklat menimbulkan masalah *pitch* yang terburuk, sementara pulp soda dan pulp sulfat sedikit menimbulkan masalah *pitch*. Suhu stok dan kandungan udara dalam stok merupakan faktor penting untuk mencegah terjadinya masalah *pitch* (Casey, J.P., 1981).

Pengendalian *Pitch*

Berbagai upaya dapat dilakukan untuk mengatasi masalah *pitch* ini, baik pada proses pembuatan pulp di pabrik pulp maupun pada proses pembuatan kertas di pabrik kertas. Dalam tulisan ini, uraian lebih diarahkan pada pengendalian *pitch* pada proses pembuatan kertas.

Pada prinsipnya ada dua cara yang umum dilakukan untuk mengendalikan *pitch* pada mesin kertas, yaitu mencegah pembentukan *pitch* atau dengan menjaga *pitch* tetap dalam kondisi terdispersi (Scott, W.E., 1991; Casey, J.P., 1981).

Pitch penyebab masalah deposit umumnya terdiri atas garam-garam kalsium dari asam lemak dan asam resin. Adanya ion kalsium dalam stok umumnya bersumber dari air proses. Oleh karena itu, penggunaan air proses dengan kesadahan tinggi hendaknya dihindari. Pencucian pulp yang baik dapat mengurangi kandungan kalsium dan juga asam-asam resin. Sementara pengaturan pH stok lebih dari 6 dapat mencegah terjadinya presipitasi garam kalsium tak larut (Casey, J.P., 1981).

Jika tidak memungkinkan untuk mencegah pembentukan partikel koloid *pitch*, maka partikel koloid *pitch* dipresipitasikan menjadi massa berukuran lebih besar dan dicegah penempelannya pada permukaan peralatan pada mesin kertas. Dalam keadaan ideal, presipitat tersebut menempel pada permukaan serat dan dikeluarkan dari sistem bersama dengan lembaran kertas yang dihasilkan. Beberapa pigmen yang diketahui efektif untuk cara ini adalah talk, bentonit, dan kaolin (Scott, W.E., 1991; Casey, J.P., 1981).

Untuk menjaga agar partikel *pitch* stabil dalam kondisi koloid, atau dalam bentuk terdispersi dalam stok, digunakan polimer dispersan larut air dan bahan aktif permukaan (surfaktan). Dari berbagai jenis surfaktan yang ada, jenis nonionik dilaporkan paling efektif dalam menjaga stabilitas dispersi koloid *pitch*. Dengan cara ini, partikel *pitch* dalam stok diharapkan dapat keluar dari sistem melalui titik-titik pengeluaran air pada mesin kertas (Scott, W.E., 1991; Casey, J.P., 1981)

Pembersihan Stok

Pembersihan stok merupakan salah satu tahapan penting dalam proses penyiapan stok yang akan dikirim ke mesin kertas. Tahapan ini dimaksudkan untuk membersihkan stok, dari kontaminan yang dapat mengganggu jalannya proses di mesin kertas dan atau menurunkan kualitas kertas yang dihasilkan.

Berdasarkan ukurannya, kontaminan dibagi atas 4, yaitu kontaminan yang :
- berukuran besar pada ketiga dimensinya
- berukuran besar pada dua dimensi
- berukuran besar pada satu dimensi, serta
- berukuran kecil pada ketiga dimensinya.

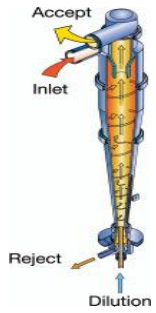
Sedangkan berdasarkan berat jenisnya, kontaminan dibagi atas 2 kelompok, yaitu kontaminan dengan berat jenis lebih besar daripada serat dan kontaminan dengan berat jenis lebih kecil daripada serat (Crossland W.E., 1988).

Atas dasar perbedaan ukuran dan berat jenis inilah proses pembersihan stok dilakukan menggunakan peralatan seperti *screen* untuk memisahkan kontaminan berdasarkan perbedaan ukuran, serta *cleaner* untuk memisahkan kontaminan berdasarkan perbedaan berat jenisnya dengan serat (Crossland W.E., 1988).

Karena sifatnya yang kurang menguntungkan bagi kelancaran proses di mesin kertas serta dapat menurunkan kualitas kertas

yang dihasilkan, maka kandungan ekstraktif dalam pulp kayu yang digunakan dikategorikan sebagai kontaminan yang harus dihilangkan semaksimal mungkin dari pulp yang akan digunakan pada proses pembuatan kertas.

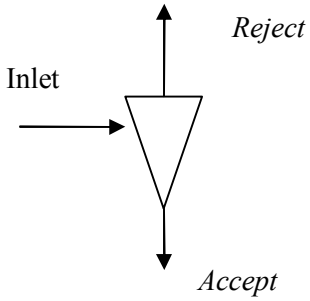
Pada prinsipnya secara mekanis, kandungan ekstraktif dalam stok dapat dihilangkan baik menggunakan *screen* maupun *cleaner*. Penghilangan *pitch* menggu-nakan *screen* dapat dilakukan jika partikel ekstratif didispersikan dengan baik di dalam stok sehingga dapat lolos pada saat disaring. Sedangkan penghilangan *pitch* menggunakan *cleaner* dilakukan atas dasar berat jenisnya yang lebih rendah daripada serat. Penggunaan *reverse cleaner* merupakan pilihan yang tepat untuk mengeluarkan partikel *pitch* yang ringan bersama dengan *reject*.



Gambar 1. *Forward Cleaner*

Pada proses pembersihan menggunakan *cleaner*, stok masuk secara tangensial dari bagian atas *cleaner* sehingga menghasilkan arus pusaran dalam tabung *cleaner*. Kontaminan dengan berat jenis lebih besar daripada serat akan terlempar ke dekat dinding dan turun ke bawah sebagai *reject*, sedangkan serat yang ringan akan berada di bagian tengah dan berbalik ke atas keluar sebagai *accept*. Mekanisme di atas berlangsung pada *forward cleaner* (Gambar 1) atau disebut juga *heavy weight cleaner* (Holik, H., 2006).

Pada Gambar 2 dapat dilihat bagan *reverse cleaner* atau disebut juga *light weight cleaner*. Dengan prinsip kerja yang sama, *Reverse Cleaner* memisahkan kontaminan dengan berat jenis yang lebih rendah daripada serat. *Reject* yang lebih ringan daripada serat keluar melalui bagian atas, sedangkan *accept* berupa serat keluar melalui bagian bawah (Holik, H., 2006).



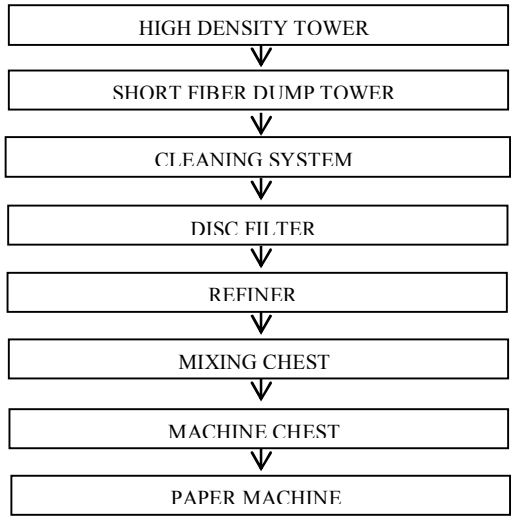
Gambar 2. *Reverse Cleaner*

DESKRIPSI SISTEM PEMBERSIHAN STOK MULTI TAHAP

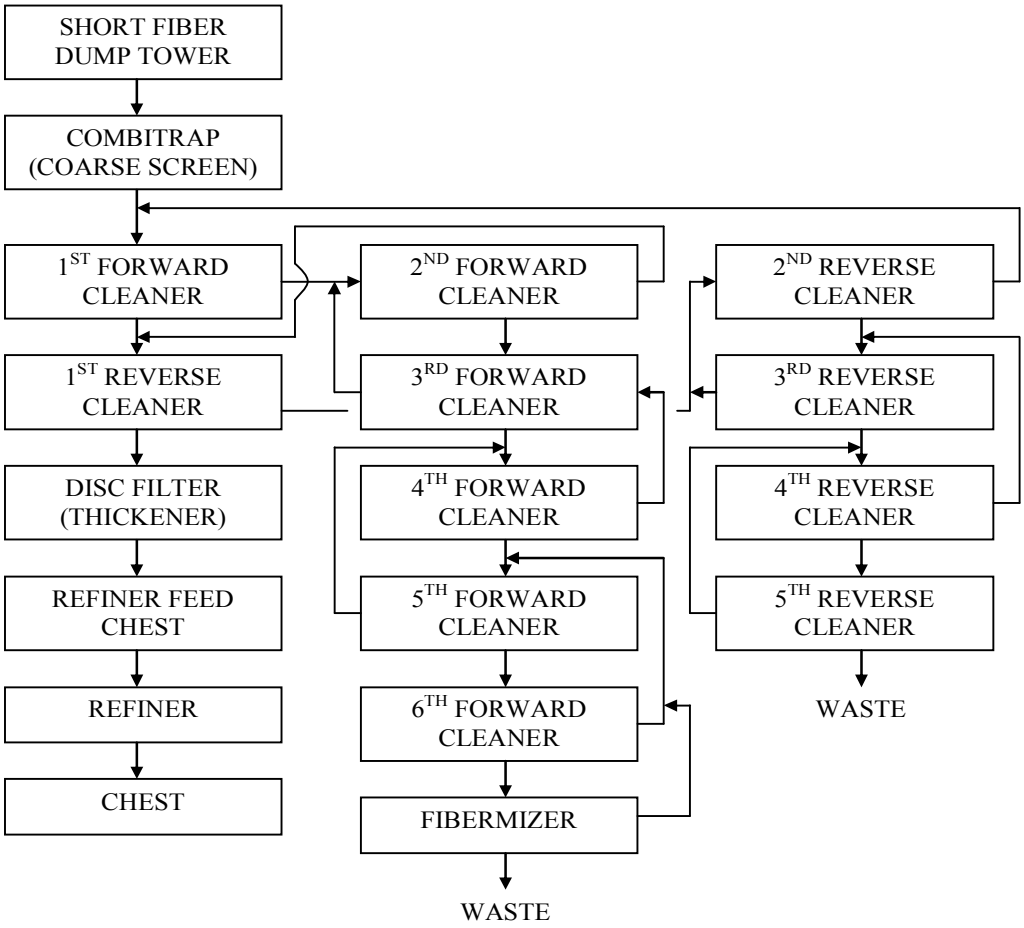
Sistem pembersihan stok yang diuraikan dalam tulisan ini adalah yang diaplikasikan oleh suatu pabrik kertas tulis-cetak tanpa salut. Pulp yang digunakan sebagai bahan baku kertas adalah 100% pulp kraft putih kayudaun atau *Leaf Bleached Kraft Pulp* (LBKP) dari kayudaun campuran (*mixed tropical hardwood*) atau *Acacia mangium*.

Sistem tersebut merupakan serangkaian *screen* dan *cleaner* yang berfungsi untuk menghilangkan kontaminan dari pulp baik atas dasar perbedaan ukuran maupun perbedaan berat jenisnya dengan serat, termasuk diantaranya adalah *pitch*.

Pada Gambar 3 dapat dilihat skema proses penyiapan stok, khususnya untuk pulp MTH. Sedangkan pada Gambar 4 dapat dilihat skema sistem pembersihan pulp yang merupakan salah satu unit proses pada penyiapan stok dalam Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Penyiapan Stok



Gambar 4. Diagram Sistem Pembersihan Stok Multi Tahap

Karena pabrik kertas dimana sistem pembersihan stok ini dioperasikan merupakan industri yang terintegrasi, maka pulp MTH yang diolah dalam unit penyiapan stok kertas sudah berbentuk bubur (*slurry*). Hal ini terlihat pada Gambar 3 dimana tidak tedapat unit *hydrapulper* yang berfungsi untuk menguraikan serat seperti yang biasa terdapat pada pabrik kertas yang tidak terintegrasi.

Bubur pulp dari menara densiti tinggi (*high density tower*) langsung dikirim ke *short fiber dump chest* untuk selanjutnya mengalami proses pembersihan sebelum digiling dalam *refiner*. Sistem pembersihan stok (Gambar 4) yang digunakan untuk mengolah bubur pulp MTH, selanjutnya disebut 'stok', berlangsung pada kondisi suhu 50 ^{o}C dan pH 3-6.

Stok dengan konsistensi 3,5-4% dari *dump tower* kemudian diencerkan sampai konsistensi 3,2% dan dialirkan ke *Combitrap* yang merupakan kombinasi dari *cyclone* dan *inward flow coarse screen*. Di sini stok dibersihkan dari kontaminan yang berat dan berukuran besar untuk melindungi peralatan selanjutnya pada sistem pembersihan stok.

Selanjutnya stok masuk ke dalam rangkaian *forward cleaner* yang terdiri dari 6 unit *cleaner*. Tahap ini berfungsi untuk memisahkan kontaminan yang bersifat abrasif seperti pasir, logam, kulit dan *shieve*, yang memiliki berat jenis lebih besar daripada serat. *Reject* dari *forward cleaner* ke-6 kemudian masuk kedalam *Fibermizer* yang merupakan unit pemulihan serat (*fiber recovery*) untuk mengambil kembali serat yang terbawa bersama *reject*.

Tahap pembersihan selanjutnya adalah menggunakan *reverse cleaner* untuk memisahkan kontaminan yang lebih ringan daripada serat, diantaranya adalah *pitch*. Tahap ini terdiri atas 5 unit *reverse cleaner* dimana *accept* dari tahap ini masuk kembali ke unit *forward cleaner* 1, sedangkan *reject* dari *reverse cleaner* ke-5 langsung dibuang.

Stok yang keluar dari tahap ini sudah cukup bersih dan selanjutnya dikentalkan dalam *disc filter* dari konsistensi 0,8% menjadi 12 % dan stok siap untuk difibrilasikan dalam *refiner*.

KINERJA PEMBERSIHAN STOK

Partikel *pitch* yang terbawa ke dalam lembaran kertas menyebabkan timbulnya noda berwarna gelap pada kertas (Scott, W.E., 1991; Roehjati, J., 2002). Berbagai metode dapat diaplikasikan untuk menganalisis masalah *pitch*, salah satunya adalah dengan menentukan banyaknya noda pada sampel pulp atau sampel kertas yang berbentuk lembaran.

Untuk melihat kinerja sistem pembersihan stok yang diterapkan pada penghilangan *pitch* dari pulp kayudaun yang digunakan, dilakukan pengujian noda pada sampel sebelum dan sesudah proses pembersihan. Noda yang bersumber dari kandungan ekstraktif pulp yang digunakan sebagai bahan baku umumnya berwarna coklat sampai coklat muda dan agak transparan. Untuk kepentingan tulisan ini, jenis noda inilah yang diamati dan ditentukan jumlahnya.

Sampel sebelum pembersihan diambil dari *high density tower*. Sedangkan untuk sampel pengujian sesudah pembersihan digunakan lembaran kertas yang diambil dari gulungan induk (*jumbo reel*). Dalam proses pembuatan kertas yang dilakukan pada pabrik kertas yang diamati, 100% bahan baku serat yang digunakan adalah pulp *kraft* putih kayudaun dari MTH atau *Acacia mangium;* tidak ada pencampuran dengan bahan serat lainnya. Oleh karena itu, hasil uji noda yang terdapat dalam lembaran kertas yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengevaluasi efektifitas sistem pembersihan yang diaplikasikan pada tahap penyiapan stok.

Untuk sampel yang diambil dari *high density tower*, karena masih berbentuk *slurry*, maka dibuat lembaran tangan (*handsheet*) terlebih dahulu.

Pengujian noda pada lembaran kertas dari gulungan induk dilakukan menggunakan metode TAPPI 437, sedangkan noda pada lembaran pulp diuji menggunakan metode TAPPI 213.

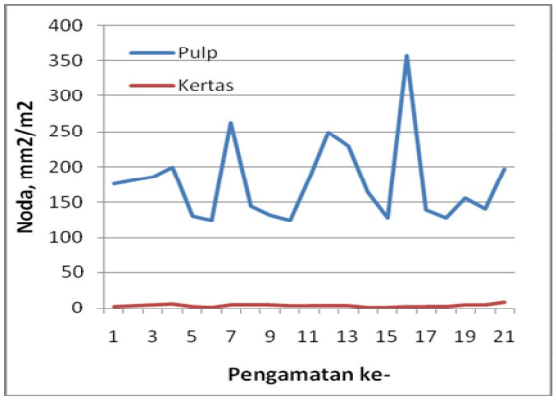
Selanjutnya kinerja sistem pembersihan dievaluasi dengan melakukan pendekatan melalui perhitungan tingkat penurunan noda pada lembaran kertas dibandingkan dengan noda pada lembaran pulp. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Penurunan noda} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100\%$$

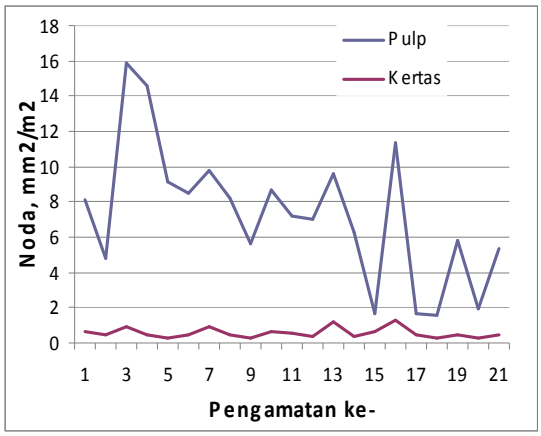
Keterangan :
A : noda pada lembaran kertas, mm^2/m^2
B : noda pada lembaran pulp, mm^2/m^2

Pengamatan dilakukan terhadap pulp dari kayudaun tropis campuran (MTH) dan pulp *Acacia mangium* selama 7 hari masing-masing dengan 3 kali pengambilan sampel, sehingga diperoleh 21 data.

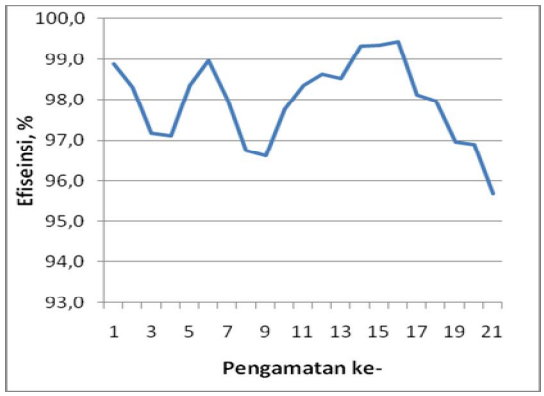
Hasil uji noda lembaran kertas dan lembaran tangan dapat dilihat pada gambar 5 dan 6, sedangkan tingkat penurunan noda diperlihatkan pada gambar 7 dan 8.



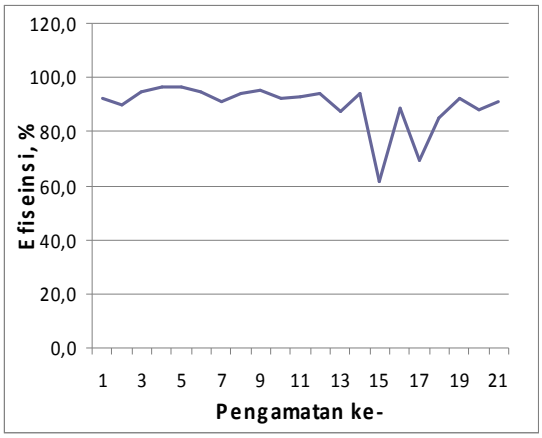
Gambar 5. Hasil Uji Noda MTH



Gambar 6. Hasil Uji Noda *Acacia Mangium*



Gambar 7. Kinerja Pembersihan Stok MTH



Gambar 8. Kinerja Pembersihan Stok *Acacia Mangium*

Gambar 5 dan 6 menunjukkan jumlah noda pada lembaran pulp yang lebih tinggi dibandingkan dengan noda pada lembaran kertas. Khususnya pada pulp MTH, perbedaan ini sangat mencolok sekali, yang mengindikasikan bahwa kandungan ekstraktif pulp MTH lebih tinggi dibandingkan dengan pulp *Acacia mangium*.

Setelah melalui proses pembersihan stok multi tahap terlihat penurunan jumlah noda yang sangat sgnifikan, dari 125-358 mm^2/m^2 menjadi 1,1-8,5 mm^2/m^2 untuk pulp MTH dan dari 1,6-15,8 mm^2/m^2 menjadi 0,2-1,3 mm^2/m^2 untuk pulp *Acacia mangium*.

Hal ini lebih diperjelas pada gambar 7 dan 8 yang menunjukkan efisiensi pembersihan yang sangat tinggi yaitu berkisar 95-99% untuk pulp MTH dan 85-97 % untuk pulp *Acacia mangium*. Data pengamatan efisiensi ke-15 dan 17 untuk pulp *Acacia mangium* menunjukkan nilai yang rendah yaitu sekitar 60%. Bila dilihat dari nilai nominalnya, jumlah noda sebelum proses pembersihan sudah cukup rendah, yaitu $\pm$ 1,6 mm^2/m^2. Setelah proses pembersihan jumlah noda menjadi sekitar 0,5-0,6 mm^2/m^2. Data ini menunjukkan pulp sudah cukup baik, sehingga pengaruh proses pembersihan pulp tidak lagi terlalu signifikan.

Dari gambaran di atas terlihat bahwa sistem pembersihan multi tahap yang dioperasikan sangat efektif dalam membersihkan stok, khususnya untuk pulp MTH.

KESIMPULAN

Suatu sistem pembersihan stok multi tahap yang diawali dengan *coarse screen*, dilanjutkan 6 tahap *forward cleaner* dan 5 tahap *reverse cleaner*, telah diaplikasikan pada proses penyiapan stok kertas pada industri kertas tulis-cetak tanpa salut di Riau. Sistem ini diterapkan untuk membersihkan stok dari kontaminan, baik atas dasar perbedaan ukuran maupun perbedaan berat jenisnya dengan serat.

Aplikasi sistem ini untuk pulp kayudaun dari MTH dan *Acacia mangium* menunjukkan kinerja yang baik dalam penghilangan *pitch* yang berasal dari ekstraktif yang terkandung dalam pulp. Tingkat efisiensi pembersihan stok mencapai 95-99 % untuk pulp MTH dan 85-97% untuk pulp *Acacia mangium*.

DAFTAR PUSTAKA

APKI, 2007, *Indonesian Pulp and Paper Industri - Directory 2007*, Indonesian Pulp and Paper Association, Jakarta

Casey, J.P., 1981, *Pulp and Paper – Chemistry and Chemical Technology*, Third Edition, Volume 3, John Wiley & Sons, Inc., New York

Crossland, W.E., 1988, *General Screening and Cleaning Systems*, TAPPI Wet End Operations Seminar, USA

Holik, H., 2006, *Handbook of Paper*, WILEY-VCH Verlag BmbH & Co. KgaA, Weinheim (Federation Republic of Germany)

Roehjati, J., 2002, *Indonesian Natural Resources for Pulp and Paper*, The Yudosubroto Foundation, Jakarta

Scott, W.E., 1991, *Papermaking Chemistry*, di dalam Pulp and Paper Manufacture, Third Edition, Volume 7, The Joint Textbook Committee of the Paper Industry, United States & Canada

Tasman, J.E., 1992, *Evaluation of Raw Materials and Product Quality*, di dalam Pulp and Paper Manufacture, Third Edition, Volume 9, The Joint Textbook Committee of the Paper Industry, United States & Canada

Thorn, I., On Au, C., 2009, *Applications of Wet-End Paper Chemistry*, 2nd Edition, Springer Science+Business Media B.V., London – New York