



KEMAMPUAN TEKNOLOGI PULP DAN KERTAS MUTAKHIR DALAM MEWUJUDKAN SUATU GREEN INDUSTRY

Ir. Soetrisno T. Sudirjo
Peneliti Senior Balai Besar Selulosa

Intisari

Teknologi pembuatan pulp dan kertas makin berkembang sejalan dengan kebutuhan dunia akan kertas. Kalau sebelumnya teknologi lebih difokuskan untuk mendukung jumlah kebutuhan (*demand*) yang tidak terlepas dari aspek peningkatan efisiensi, maka kini arah perkembangannya dimekarkan secara divergen meliputi aspek-aspek lainnya tanpa mengurangi rendemen dan efisiensi yang sudah dapat dicapai. Dengan demikian teknologi yang berkaitan dengan pemeliharaan keseimbangan ekosistem, sejalan dengan tuntutan yang berkembang, baik dari sisi konsumen maupun otoritas, turut berkembang pula.

Dalam bidang pembuatan pulp di samping teknologi pemulihan bahan kimia yang telah lama dikembangkan, kini telah dapat diproduksi dari hasil pemasakan pulp dengan bilangan kappa rendah yang mengantisipasi kebutuhan bahan kimia yang lebih sedikit pada proses pemutihannya. Pada pemutihannya sendiri telah berkembang proses pemutihan yang mereduksi atau menghilangkan pemakaian khlor elemental (teknologi ECF), sehingga dapat mereduksi secara nyata parameter AOX dalam air limbah. Juga telah berkembang pula teknologi yang tidak menggunakan unsur atau senyawa khlor sama sekali (TCF), sehingga buangan menjadi lebih aman lagi. Teknologi mutakhir menunjukkan bahwa limbah proses pemutihan khususnya yang mengandung khlor dapat didaur ulang ke bagian pencucian pulp coklat (*brown stock*) dan dipulihkan senyawanya sehingga memungkinkan melakukan suatu proses tertutup.

Dalam bidang pembuatan kertas telah berkembang penyempurnaan-penyempurnaan operasi khususnya pendaaur-ulangan air pasi (*white water*). Demikian pula pemakaian bahan kimia yang telah lebih terseleksi agar menjadi lebih ramah lingkungan, sekaligus juga diperoleh keuntungan-keuntungan tambahan.

Makalah ini membahas langkah-langkah yang dilakukan oleh industri pulp dan kertas dalam upaya meminimisasi limbahnya dengan jalan pemakaian teknologi bersih (*clean technology*). Langkah-langkah yang dilakukan secara internal ini pada umumnya masih didukung dengan perlakuan penanganan air limbah secara eksternal, namun beban polutan dari air limbah yang diolah menjadi lebih kecil. Perkembangan teknologi pada perlakuan eksternal ini juga dibahas.

1. Pendahuluan

Dalam era dewasa ini yang diliputi nuansa yang serba maju, kertas merupakan komoditi yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan moderen. Dengan kondisi kehidupan yang terus maju, kebutuhan akan kertas terus meningkat, baik secara regional maupun global. Berbarengan dengan itu masalah lingkungan juga menjadi isu yang menyita perhatian dunia karena dampak yang ditimbulkan oleh kegiatan industri pada umumnya eskalasinya telah mencapai tingkat yang harus mendapat perhatian serius.

Di dunia industri pulp dan kertas, masalah penyediaan bahan baku misalnya dapat mengakibatkan dampak negatif yang serius kalau tidak dikelola secara profesional. Kebutuhan akan serat *virgin* terus meningkat walaupun daur ulang serat bekas atau *secondary fibres* terus digalakkan. Dengan eskalasi kebutuhan akan serat yang begitu cepat, manajemen hutan dan sumber serat lainnya harus dikelola dengan benar. Semua kegiatan harus dilakukan secara profesional dengan asas berkelanjutan (*sustainable*).

Khususnya di negara-negara yang sedang berkembang, sumber serat alam sebenarnya tidak hanya berfokus pada kayu, tetapi juga pada sumber serat bukan-kayu. Di Indonesia misalnya perhatian akan kebutuhan serat alam dapat diarahkan pula kepada bahan baku serat yang merupakan limbah yang berlimpah, seperti jerami, ampas tebu, batang jagung, tandan kosong kelapa sawit dll; atau tanaman jangka pendek seperti kenaf, rosela, abaka, haramai dan bambu. Namun pemanfaatan bahan baku bukan-kayu ini perlu didukung oleh teknologi yang *proven* dan secara ekonomi harus fisibel. Teknologi *pulping* jerami misalnya masih dihadapkan kepada masalah kadar silika yang tinggi, sehingga proses desilikasi harus dimantapkan. Perhitungan ekonomi menyangkat biaya pengumpulan bahan baku harus dilakukan secara cermat, khususnya berkaitan dengan transportasi. Penggunaan bahan baku serat yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar misalnya ampas tebu harus

mendapat komitmen khusus, apalagi bahan baku ini sangat tergantung pada eksistensi industri gula, yang saat ini sedang menjadi pertanyaan kelangsungannya. Haramai dapat digunakan pula sebagai bahan baku industri tekstil, kenaf dan rosela untuk industri karung goni, bambu untuk kerajinan dan industri sumpit (*chop stick*) dsb. Namun, kalau potensi serat bukan kayu ini dapat dikembangkan, paling tidak dapat mengurangi tekanan pada eksploitasi hutan.

Dalam industri pulp dan kertas, konsumsi air cukup besar walaupun dalam perkembangan terakhir menunjukkan makin berkurangnya konsumsi tersebut diukur dalam satuan volume per satuan berat produk. Besarnya konsumsi air akan sangat berpengaruh pada besarnya air limbah yang keluar dari pabrik dan hal ini akan mempengaruhi biaya penanganannya. Kecuali air, energi juga banyak digunakan. Di samping memanfaatkan biomasa sisa proses pembuatan pulp, energi berasal dari bahan bakar fosil juga masih banyak digunakan, dan jenis ini bukan suatu yang *renewable*. Padahal pengetrapan konsep Produksi Bersih atau *Cleaner Production (CP)* yang benar-benar intensif, sebuah pabrik pulp kimia dapat mencukupi sendiri kebutuhan energi sehingga banyak mengurangi dampak lingkungan karena pembangkitan energi dengan penggunaan minyak. Kondisi ini dapat dicapai jika pemulihan bahan kimia pada lindi hitam dan penggunaan limbah bahan baku sebagai bahan bakar dapat dilakukan secara sangat efisien.

Pada tahun-tahun terakhir, industri pulp dan kertas lebih banyak melakukan upaya untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, antara lain dengan mengaplikasi konsep *CP*. Sebagai unsur dari kegiatan ini adalah digunakannya semaksimal mungkin teknologi bersih atau *Clean Technology (CT)* pada segala aspek dalam proses produksi. Dengan pengetrapan metoda ini, sebuah pabrik pulp atau kertas dapat mencapai standar lingkungan yang sangat tinggi. Hal ini tidak saja dapat dilakukan oleh industri besar, tetapi juga industri kecil dan menengah (*SME, small and medium scale enterprises*). Hasil pengalaman di Cina dan India membuktikan bahwa dengan sistim pencucian dan pemulihan bahan kimia (*chemical recovery*) yang sempurna, dari segi ecologi dan ekonomi mampu fisibel untuk sebuah pabrik pulp dengan kapasitas 50.000 ton per tahun (1). Oleh karena itu dengan jaminan teknologi bersih, fisibilitas dilihat dari segi ecologi dan ekonomi dapat dicapai sehingga dimungkinkan pengembangan agribisnis dalam bidang pulp dan kertas.

2. Tinjauan Mengenai Dampak Lingkungan

Sebelumnya perlu dipahami bahwa untuk menghasilkan 1 ton pulp (biasanya dinyatakan dalam ton dengan kadar air 10% atau t 90) berapa bahan dan energi yang diperlukan. Juga bahan dan energi untuk mengolah 1 ton pulp menjadi kertas. Hal ini dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1.
Sumber daya yang diperlukan dalam pembuatan pulp dan kertas

Proses Pembuatan Pulp	Bahan Serat t/t 90	Energi		Bahan Kimia Kg/t 90	Air m ³ /t 90
		Listrik kWh/t 90	Bahan Bakar GJ/t 90		
Mekanis	0,950	2500	4-6	0	5
CTMP	1,0	1500-3000	4-6	50	5
Pulp Kimia					
Coklat	1,9	700	1,5	15	15
Putih	2,1	850	2	50-100	45
Serat Sekunder					
Kertas coklat	1,1	500	4-6	10	2
<i>Deinked</i>	1,2	700	4-6	50	10
Kertas	-	500-1200	4-10	10	15

Data ini merupakan nilai rata-rata dari operasi pabrik berskala besar dan mutakhir sehingga dapat dijadikan pedoman bagi industri untuk menyesuaikan diri dan mengetahui seberapa jauh sebenarnya industri tersebut telah mengalami *loss* dan terbuang ke lingkungan.

Industri dan kegiatan yang berkaitan dengan operasi suatu pabrik pulp dan kertas juga merupakan institusi yang secara potensial dapat mencemari lingkungan, misalnya unit yang memproduksi bahan kimia untuk pulp dan kertas, dan kehutanan yang juga menggunakan bahan kimia. Pencemaran dari unit penghasil bahan kimia juga dapat mencemari melalui produk akhir berupa kertas.

Industri pulp dan kertas merupakan industri yang banyak menggunakan energi listrik dan panas. Khususnya pada pabrik pulp kimia banyak komponen bahan baku (sekitar lebih dari 50% pada bahan baku kayu dan lebih dari itu pada bahan baku bukan-kayu) yang terlarut kedalam larutan pemasak. Kalau bahan ini dibakar, maka banyak sekali panas yang dapat diambil. Apabila limbah kayu seperti kulit juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar secara efisien, maka sebuah pabrik pulp dan kertas dapat mencukupi sendiri kebutuhan akan energi.

Emisi limbah pada pabrik pulp dan kertas dapat berupa limbah gas, cair dan padat, yang masing-masing dapat menimbulkan gangguan baik flora maupun fauna secara serius. Hal inilah yang menjadi inti permasalahan terjadinya pencemaran lingkungan.

2.1. Pencemaran Udara

Emisi ke udara dapat berupa bermacam-macam gas polutan. Karbon dioksida teremisi karena hasil pembakaran baik pembakaran bahan bakar biomasa maupun fosil. Gas ini juga dikeluarkan oleh peralatan-peralatan di luar proses yang menggunakan bahan bakar termasuk kegiatan transportasi.

Pembakaran pada dapur ketel uap pemulihan (*recovery furnace*) dan dapur lainnya juga dapat mengemisi oksida-oksida belerang dan nitrogen (NOx) yang dapat memberi kontribusi pada terjadinya hujan asam.

Senyawa dengan bau menyengat juga dikeluarkan dari pabrik pulp kimia khususnya yang menggunakan proses sulfat atau kraft. Senyawa-senyawa ini khususnya TRS (total reduced sulphur). Senyawa lain baik organik maupun anorganik dikeluarkan juga dari proses dan sistim pemulihan. Tetapi walaupun berbau, di tingkat yang normal berada di bawah ambang batas sehingga tidak mengganggu kesehatan. Namun karena bau tersebut cukup mengganggu maka perlu dipertimbangkan penanganannya.

Partikel debu karena pembakaran batubara atau berupa bahan kimia hasil pemulihan juga dapat teremisi keluar terutama jika efisiensi dari alat penangkap debu (*electrostatic precipitator*) tidak berjalan efisien. Emisi ini dapat mengganggu areal pertanian berupa penutupan daun-daun tanaman.

2.2. Pencemaran Air

Limbah cair yang dikeluarkan oleh industri pulp dan kertas banyak mengandung senyawa organik, juga nitrogen dan fosfor yang berasal dari bahan baku serat. Senyawa organik yang dapat mengurai secara biologis akan mengonsumsi banyak oksigen dalam air sehingga akan mengganggu keseimbangan kehidupan dalam air. Karena itu pengujian terhadap besarnya BOD (biological oxygen demand) sangat penting.

Pabrik pulp yang mempunyai unit pemulihan bahan kimia (*chemical recovery plant*) sangat membantu dalam mengurangi pencemaran BOD dan COD (*chemical oxygen demand*). Tetapi tidak demikian pada pabrik-pabrik kecil yang tidak memiliki fasilitas tersebut, misalnya di kebanyakan negara berkembang yang banyak mengolah bahan baku bukan-kayu, karena tidak fisibel dan masalah-masalah teknis karena tingginya kadar silika. Pada kasus demikian banyak limbah cair yang dibuang tanpa pengolahan.

Buangan limbah cair dari bagian pemutihan tidak terlalu banyak mengandung senyawa organik dibandingkan dengan buangan dari proses pemasakan. Namun, penggunaan bahan kimia seperti klor dan hypoklorit dapat menimbulkan dampak negatif tersendiri. Klor dapat bereaksi dengan senyawa organik menghasilkan senyawa organik terkhlorinasi yang beracun dan tahan lama (sukar terurai), misalnya terbentuknya phenol terkhlorinasi dan dioxin. Oleh karena itu pengujian terhadap besarnya AOX (*absorbable organic halide*) sangat penting.

Selain senyawa organik tersebut di atas, terdapat pula sari atau ekstraktif (*extractives*) yang berasal dari tanaman, seperti damar (*resin*), asam lemak dan sterol. Lignin merupakan senyawa organik yang tahan terhadap degradasi. Kalau kadar lignin tinggi akan menimbulkan warna pekat pada air limbah. Warna ini akan menyebabkan kegelapan dalam badan air sehingga menghalangi penetrasi sinar matahari, mengakibatkan gangguan pada terjadinya fotosintesa.

Penggunaan hypoklorit yang tidak terkendali pada proses pemutihan juga dapat memungkinkan terjadinya khloroform.

Senyawa anorganik tidak terlalu membahayakan lingkungan kecuali jika terjadi khlorat pada pemutihan dengan khlorodioksida, yang dapat meracuni kehidupan ganggang dalam air. Namun khlorat dapat secara efektif dihilangkan pada pengolahan air limbah.

Adanya nitrogen dan fosfor menyebabkan kenaikan kandungan nutrisi dalam badan air yang dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisma sehingga meninggikan konsumsi oksigen dan pada akhirnya dapat terjadi eutrofikasi. Namun selama keseimbangan nutrisi masih dalam batas toleransi, gangguan ini dapat diatasi.

2.3. *Limbah Padat*

Buangan padat organik seperti lumpur dari pengolahan air limbah dapat menimbulkan dampak lingkungan, sedangkan buangan anorganik dapat dibuang secara urug (*landfill*). Sangat disarankan agar limbah padat dapat dimanfaatkan sehingga dapat digunakan kembali atau sebagai hasil samping.

Limbah padat yang berasal dari tungku pembakaran kapur (*lime kiln*), juga perlu dipikirkan pemanfaatannya. Limbah ini mengandung belerang, karena itu perlu diperhatikan cara pembuangannya

3. Perlu Strategi Lingkungan dalam Pabrik

Produksi Bersih atau *Cleaner production (CP)* dapat didefinisikan sebagai suatu strategi terpadu dalam bidang pencegahan dampak lingkungan melalui

manajemen proses dan operasi produksi yang bertujuan untuk mengurangi risiko lingkungan (UNEP). Pada dasarnya CP adalah Minimisasi Limbah (*Waste Minimisation*) atau juga Pencegahan Pencemaran (*Pollution Prevention*). Semuanya mempunyai tujuan yang sama yaitu untuk mengurangi terjadinya limbah dan emisi. Terminologi *Cleaner Production* digunakan oleh UNEP, sedangkan *Environmental Protection Agency (EPA)* Amerika menggunakan istilah *Pollution Prevention* dan UNIDO *Waste Minimisation*(2).

Karena CP merupakan strategi terpadu untuk mengendalikan terjadinya dampak lingkungan, maka aplikasi CP merupakan suatu *Environmental Management System (EMS)* yang strateginya merupakan komitmen bersama semua personil di dalam pabrik, dari manajemen tingkat paling atas (yang akan menentukan kebijaksanaan) sampai kepada tingkat yang paling bawah. Karena semua pelaksanaan peraturan lingkungan yang dibuat merupakan tanggungjawab bersama, maka semua karyawan akan memiliki *sense* untuk mencegah terjadinya polusi, sehingga semua aspek kegiatannya akan mempertimbangkan dampak lingkungan.

CP akan menyangkut kegiatan yang antara lain dapat berupa 3 hal yang pokok seperti: reduksi sumber pencemaran, daur ulang dan modifikasi produk.

Reduksi sumber pencemaran dapat dilakukan melalui kerumahtanggaan yang baik (*good housekeeping*) dan perubahan dalam proses produksi. Daurlang dapat berupa pemulihan bahan (*recovery*) dan penggunaan kembali material yang telah digunakan (*reuse*), serta pemanfaatan limbah yang dapat menghasilkan produk samping (*by product*). Sedangkan modifikasi produk dapat berarti menghasilkan produk baru yang proses pembuatannya lebih bersahabat dengan lingkungan daripada sebelumnya, namun masih memenuhi fungsi dari produk itu sendiri. Rincian klasifikasi ini masih dapat dirinci lagi ke hal-hal yang lebih jelas, sehingga para supervisor dan operator dapat melaksanakan kebijaksanaan melalui pelaksanaan tugas dengan lebih pasti. Strategi inilah yang akan menjadi alat (*tool*) dalam mengikuti perkembangan teknologi dan tuntutan pasar produk menuju kepada *ecolabeling*.

4. Teknologi Pembuatan Pulp dan Perkembangannya

4.1. Bahan Baku dan Penanganannya

Bahan baku utama pembuatan pulp adalah serat kayu, serat bukan-kayu dan serat daur ulang (*secondary fibres*). Di dunia bahan baku yang penting adalah kayu dan serat daur ulang. Di kawasan tertentu, terutama di negara berkembang serat bukan-kayu banyak digunakan. Di Asia misalnya, lebih dari 20% produk kertas dibuat dari bahan baku bukan-kayu (FAO 1994).

Sebenarnya masih ada bahan baku yang masih belum dikembangkan secara komersial untuk membuat kertas dan bukan berasal dari tanaman, yaitu

selulosa bakteri (*bacterial cellulose*) (11) Sesuai dengan namanya serat selulosa ini diproduksi oleh bakteri melalui fermentasi larutan yang mengandung gula. Karena harganya mahal, maka pamakaiannya sebagai bahan baku kertas masih tidak fisibel. Di Jepang oleh Sonny Co. digunakan untuk membuat membran *loudspeaker*. Di Indonesia dan Philipina sebagai bahan makan, dikenal sebagai *Nata de coco*.

Cara penyediaan bahan baku sebelum dimasak (*raw material preparation*) sangat menentukan kualitas produk dan efisiensi penggunaan bahan baku. Keseragaman dilihat dari segi ukuran serpih, kadar air, spesies dll juga ikut menentukan efisiensi penggunaan tenaga (*power* dan panas), karena rendemen akan meningkat. Untuk mendapatkan kondisi seperti ini serpih juga harus bersih dari kotoran seperti batu, pasir dan logam. Adanya matakayu (*knots*) juga dapat merendahkan rendemen.

4.1.1. Kayu

Aspek yang penting dalam penanganan kayu adalah operasi pengulitan yang harus menghasilkan kulit kayu yang bersih untuk digunakan sebagai bahan bakar. Bila digunakan pengulitan cara basah, penggunaan air harus efisien sehingga dapat meminimalkan limbah cair, misalnya dengan melakukan daur ulang.

Dari bagian pengulitan cara basah sudah akan terjadi pencemaran dengan pengeluaran BOD sebesar 2 - 5 kg/m³ solid untuk kayujarum dan 3 - 7 kg/m³ solid untuk kayudaun; sedangkan COD berturut-turut sebesar 5 - 10 kg/m³ dan 10 - 20 kg/m³ solid (3). Hal ini tergantung pada cara perlakuan, juga ukuran partikel dari bahan yang tercuci. Di samping itu dihasilkan pula senyawa toksik seperti asam-asam damar terutama dari kayujarum dan nutrisi seperti senyawa-senyawa nitrogen dan fosfor.

Karena pengulitan kayu cara basah menimbulkan pencemaran, maka bila mungkin pengulitan dilakukan dengan cara kering. Jika memakai sistim basah, diupayakan agar dilakukan daur ulang air dengan memasang *trap* untuk membersihkan dari pasir dan kerikil. Bila ada cairan yang harus dikeluarkan dari sistim, maka harus diolah pada IPAL (instalasi pengolah air limbah) pada perlakuan primer dan sekunder.

Pada penyerpihan, yang perlu diperhatikan adalah mengusahakan terjadinya lembutan (*finer*) seminimal mungkin. Karena itu perlu dihidari pemindahan-pemindahan yang tidak perlu dari tumpukan serpih (14).

4.1.2. Bukan-kayu

Bahan baku yang penting adalah jerami, ampas tebu dan bambu. Jerami sebagai limbah pertanian sebenarnya sangat potensial tersedianya. Jika luas

tanaman padi di Indonesia lebih dari 10 juta hektar, sedangkan tiap 1 hektar dihasilkan sekitar 8000 ton jerami dengan kadar air 40%, maka dapat dihitung besarnya potensi itu (4), dan perlu diingat bahwa banyak sawah yang dapat dipanen tiga kali dalam satu tahun. Sampai saat ini potensi ini hanya dibakar atau untuk makanan ternak.

Terdapat kendala-kendala untuk memanfaatkan potensi ini, antara lain sistim koleksi dan transportasi yang mahal dan tingginya kadar silika yang menjadi kendala teknis pada evaporasi.

Sebelum dipotong-potong untuk dimasak bahan baku perlu bersih dari debu dengan *dedusting* cara basah. Air yang telah digunakan harus diendapkan dulu sebelum dibuang.

Ampas tebu di samping dapat diambil seratnya juga digunakan pula sebagai bahan bakar khususnya di pabrik gula. Karena itu penggunaannya di industri pulp sangat tergantung kepada harga minyak bakar. Bila dipakai untuk pulp maka yang perlu ditangani pertama adalah penghilangan zat gabus atau *pith*. Kandungan *pith* ini dapat mencapai 30 -35% (4). Serat harus bersih dari *pith*, kalau tidak menyebabkan rendemen rendah, konsumsi bahan kimia tinggi dan energi lebih banyak.

Pemisahan *pith* sebaiknya dilakukan di pabrik gula karena *pith* mempunyai nilai sebagai bahan bakar. Pemisahan biasanya dilakukan dengan cara basah, sehingga air bekas yang dikeluarkan harus diolah sebelum dibuang untuk mereduksi zat padat tersuspensi dan BOD.

Bambu merupakan bahan baku yang bagus untuk pulp. Kendala teknis pada bambu adalah kandungan silika yang tinggi, adanya ruas-ruas dan kulit yang keras. Hal ini menyebabkan keseragaman dari serpih rendah yang berakibat kurang efisien dalam penggunaan bahan dan energi dan merendahkan rendemen. Oleh sebab itu peyaringan serpih harus dilakukan sedemikian rupa sehingga diperoleh serpih yang seragam. Kebersihan juga harus dijaga agar tidak terjadi kontaminasi.

4.1.3. Serat Daur Ulang

Serat daur ulang di luar negeri dikenal sebagai *recycled fibres* atau *secondary fibres*. Serat ini merupakan serat yang diperoleh dari kertas bekas (*waste paper*) yang dipulung (*recovery*). Biasanya kertas bekas berbentuk bal dan sering dalam keadaan kotor. Dalam penyimpanan yang cukup lama perlu diperhatikan kondisi kelembabannya agar tidak rusak. Kerusakan dapat mengakibatkan rendemen rendah, kualitas produk rendah dan meningkatkan beban pencemaran.

Adanya kotoran biasanya dipisahkan dengan menggunakan *HD (high density) cleaner*. Pembersihan sebelum dimasukkan *pulper* adalah terhadap bahan pengikat dan kotaminan lain yang mudah dipisahkan secara manual.

4.2. Pembuatan Pulp dan Pemutihannya

Telah diketahui bahwa pembuatan pulp dapat menimbulkan pencemaran dan kalau manajemen pembuatannya tidak ditangani secara profesional, akan menyia-nyiaakan persediaan sumber daya serat. Namun kini limbah telah dapat diminimalkan dan pencemaran telah dapat direduksi sampai pada tingkat yang sangat tinggi dengan merubah proses dan operasi produksi dan meningkatkan penanganan air limbah secara lebih efektif.

Karena diskripsi proses pembuatan pulp mencakup substansi yang sangat luas ruang lingkungnya, maka pembahasan perlu dibatasi sampai pada pembuatan pulp dengan proses kimia, sesuai dengan kebanyakan yang eksis di Indonesia pada saat ini. Dan ini masih dibatasi lagi karena proses sulfat tidak diperkenankan beroperasi, sehingga pembahasan akan terbatas pada pembuatan pulp proses alkalis (*alkaline pulping*).

Pembuatan pulp proses alkalis meliputi proses sulfat atau kraft dan proses soda. Proses soda sendiri dapat diidentikkan dengan proses sulfat dengan nilai sulfiditas nol, sehingga Na_2S tidak digunakan.

4.2.1. Pembuatan Pulp Kimia

Pemasakan pada pembuatan pulp kimia dapat dilakukan baik secara *batch* maupun kontinu. Rendemen pulp coklat biasanya dicapai sebesar 45 - 55% tergantung pada jenis spesies yang dimasak dan kondisi pemasakannya.

Dalam pembuatan pulp kimia alkalis, pemilihan proses cenderung kepada pemasakan dengan proses sulfat. Proses soda banyak digunakan untuk bahan baku dengan kandungan lignin yang relatif lebih rendah seperti tanaman musiman, bambu dan spesies tertentu dari kayu daun, walaupun kayu ini dapat pula dimasak dengan proses sulfat.

Proses sulfat menghasilkan pulp yang lebih kuat dibandingkan dengan proses kimia lainnya. Namun karena kuat, pada penggilingan diperlukan energi lebih banyak. Di samping itu karena bahan baku yang dimasak biasanya mempunyai kadar lignin yang tinggi, maka pada pemasakan secara konvensional hasil pulp coklatnya juga mempunyai bilangan kappa atau bilangan permanganat yang lebih tinggi. Akibatnya konsumsi bahan kimia pada proses pemutihan lebih tinggi. Proses sulfat juga menghasilkan senyawa yang mudah menguap atau volatil (*volatile*) yang mudah terkondensasi pada waktu penurunan tekanan. Juga senyawa belerang organik yang mudah menguap tetapi tidak dapat terkondensasi atau *NCG (non condensable gas)*, misalnya *TRS (total reduced*

sulphur), yang kehadirannya menimbulkan bau walaupun kadarnya rendah. Hal ini karena gas ini mempunyai nilai *threshold* yang sangat rendah.

Dalam proses pembuatan pulp dikeluarkan limbah cair, gas dan padat. Dari segi BOD dan COD dalam limbah cair, setiap ton pulp yang dihasilkan akan dikeluarkan BOD dan COD sebanyak berturut-turut 250 - 350 kg dan 1000 - 1500 kg. Nilai ini setara dengan 5000 - 7000 ppm dan 20000 - 30000 ppm untuk masing-masing BOD dan COD dengan anggapan bahwa konsumsi air sebesar 50 m³ per ton pulp. Pada pembuatan pulp *dissolving* (pulp yang dapat digunakan untuk membuat serat rayon), polutan BOD dan COD akan lebih tinggi lagi karena lebih banyak komponen kayu yang dikeluarkan (rendemen pulp putih dari kayu di sekitar 35% dibanding 40 - 45% pada pulp kertas). Di samping itu sebelum pemasakan dilakukan prehidrolisa dengan air panas atau dengan larutan asam untuk mereduksi kadar hemi dan pentosan, sehingga beban pencemaran akan bertambah. Limbah ini dinetralkan sebelum dibawa ke pengolahan.

Emisi gas pada proses kimia terutama terjadi pada ketel pemulihan, tungku pembakaran kapur dan tiap ketel uap lainnya. Emisi ini terdiri dari TRS, SO₂, dan NO_x dari proses dan pembakaran bahan bakar, dan debu yang banyak berasal dari dapur pembakaran.

Buangan padat dari proses pembuatan pulp kimia dapat berupa rejek dari bagian penyaringan (seperti dari *coarse screen* dan *centricleaner*) seperti *undercooked*, *knots* dan kotoran lainnya. *Undercooked* ini dapat dimasak kembali. Di bagian pembakaran lumpur kapur (*lime kiln*) juga dikeluarkan limbah padat sebagian kapur yang tidak dapat digunakan.

4.2.2. Minimisasi Limbah Proses Pembuatan Pulp

Limbah Cair

Seperti telah dijelaskan bahwa limbah cair dari proses pembuatan pulp kimia mengandung BOD dan COD yang sangat tinggi. Dalam pabrik pulp kimia yang besar (pabrik pulp sulfat biasanya mempunyai kapasitas di atas 30.000 ton, sampai 300.000 ton per tahun, bahkan lebih) selalu mempunyai unit pemulihan bahan kimia (*chemical recovery plant, CRP*). Unit ini sudah lama keberadaannya karena semula dimaksud untuk memperoleh kembali bahan kimia yang telah terpakai. Ternyata unit ini juga merupakan salah satu dari aplikasi *CP*, karena di samping memperoleh tujuannya, juga mereduksi pencemaran limbah cair yang mengandung BOD dan COD yang sangat tinggi, sekaligus memperoleh energi hasil pembakaran lignin dalam lindi hitam. Dengan adanya *CRP*, BOD dan COD dapat direduksi sampai lebih dari 90%, yaitu jika pencucian pulp dapat dilakukan secara sangat efisien

sebelum evaporasi. Reduksi ini akan menjadi lebih besar lagi kalau diikuti dengan langkah CP lainnya misalnya penyaringan dengan sistim tertutup, aliran keluar sejauh mungkin didaur ulang, demikian pula kondensat ditangani dan didaur ulang. Ditambah lagi jika air limbah dapat ditangani secara efisien pada IPAL, reduksi akan menjadi lebih besar lagi yaitu iatas 99%. Tabel 2 menunjukkan hal itu.

Tabel 2.
Reduksi BOD, COD dan konsumsi air dengan CP pada proses sulfat

Tingkat Pengendalian	BOD Kg/t	COD Kg/t	TSS Kg/t	Kons. Air m3/t
Tanpa Pengendalian	300	1200	50	50
+penc. efisien, evaporasi	20	80	50	50
+penyaringan tertutup	20	80	20	25
+koleksi tumpahan, daur ulang	15	60	15	15
+perlakuan kondensat, daur ulang	10	40	15	10-15
+operasi IPAL	2	15	2	10-15

Pada industri yang modern, antisipasi terhadap proses pemutihan yang menggunakan teknologi ECF (*Elemental Chlorine Free*) atau TCF (*Total Chlorine Free*) sudah dilakukan di dalam digester. Hal ini merupakan suatu langkah CP untuk mereduksi polutan AOX (*Absorbable Organic Halides*) dan dioxin dalam air limbah proses pemutihan. Langkah ini berupa penurunan bilangan kappa (menunjukkan tingkat kandungan lignin dalam pulp), dengan melalui delignifikasi berlanjut atau *extended delignification* (karena tahap ini dilakukan di dalam digester, disebut pula *extended cooking*). *Extended cooking* ini dapat dilakukan misalnya dengan teknologi RDH (*Rapid Displacement Heating*) dari Beloit Co., untuk menurunkan bilangan kappa dan penghematan energi panas pada proses kraft. Pada prinsipnya pemasakan ini dilakukan dengan tahapan pengisian lindi secara bergantian dan dengan suhu yang bertahap. Dengan RDH dapat diperoleh bilangan kappa untuk kayujarum dari pemasakan biasa 30 -32 menjadi 12 - 16, dan untuk kayudaun dari 18 -20 menjadi 8 - 10 (5). Teknologi RDH ini telah diterapkan di Indonesia untuk mengolah kayu tropis. Proses *extended cooking* yang lain adalah *Ener Batch* dari Voest Alpine, *Super Batch* dari Sunds, dan *Modified Continuous Cooking (MCC)* dan *ITC (Isothermal Cooking)* dari Kamyr.

Kondensat yang berasal dari gas yang terkondensasi pada waktu *degassing* pada pemasakan dan dari evaporator merupakan kontributor BOD dan COD. Karena itu kondensat ini harus ditangani, biasanya dengan menggunakan cara pencucian dengan uap (*steam stripping*) untuk mengurangi senyawa-senyawa pencemar. Sejauh tertentu kondensat ini dapat digunakan kembali dan sisanya dialirkan ke IPAL pada perlakuan sekunder (biologi). Dengan perlakuan ini BOD dan COD dapat direduksi secara nyata seperti yang dapat dilihat dalam Daftar 2.

Limbah Gas

Buangan gas pada proses pembuatan pulp merupakan aspek yang sangat penting, karena secara langsung dapat mengganggu lingkungan. Polusi udara menjadi lebih serius karena dapat menembus semua tempat dan dapat mengganggu kehidupan dan kerusakan bangunan. Untuk meminimisasi buangan ini banyak langkah telah dilakukan. Gas hasil *steam stripping* dikirim ke pembakaran misalnya tungku pembakaran kapur, meliputi antara lain metanol dan TRS.

Sumber pencemaran udara terutama adalah dari bagian pemasakan, pencucian, evaporator, tungku rekaveri, kostisasi dan tungku pembakaran kapur. Yang sangat mengganggu karena berbau adalah senyawa sulfida yang tergabung dalam TRS yaitu hidrogen sulfida, methyl merkaptan, dimethyl sulfida dan dimethyl disulfida. TRS ini merupakan *NCGs (Non Condensable Gases)* yang dikeluarkan di setiap tahap proses dan operasi pada pembuatan pulp. Pada kadar yang tinggi (*high concentration low volume, HCLV*) gas ini sangat korosif dan dapat merusak peralatan dari logam dan plastik. *NCG* ini harus dibakar misalnya dalam tungku pembakaran kapur atau pembakar khusus.

Limbah Padat

Sumber buangan padat pada pembuatan pulp kimia umumnya terjadi pada bagian pemulihan, misalnya pada tungku pembakaran kapur dan kostisasi. Debu dan slag juga terjadi bila digunakan ketel yang memakai bahan bakar bukan-minyak. Bila *ESP (electrostatic precipitator)* tidak berfungsi secara efisien, buangan padat berupa partikel bahan kimia dapat pula terjadi.

Limbah padat yang tidak dapat dimanfaatkan dapat dibuang secara urug (*landfill*). Untuk jumlah yang cukup besar cara ini harus dilakukan di area pabrik. Jika *landfill* merupakan opsi pembuangan, maka perlu dijaga agar tidak mencemari air tanah. Demikian pula perlu

diusahakan agar air hujan tidak meresap ke dalam buangan. Bahan yang tercuci dan mengalir dari buangan (*lichate*) harus disalurkan melalui pipa-pipa untuk diolah sebelum dibuang ke lingkungan.

4.2.3. Pemutihan Pulp Kimia

Pemutihan pulp bertujuan untuk memutihkan pulp dengan jalan mereduksi atau merubah struktur molekul dari zat penyebab warna khususnya lignin, tanpa harus kehilangan banyak akan kekuatan pulp dan rendemen. Penghilangan lignin dapat dilakukan dengan bahan kimia pemutih seperti khlor, khlor dioksida, hypohlorit, oksigen, peroksida atau ozon.

Proses pemutihan yang menggunakan khlor atau senyawanya akan menyebabkan air buangan mengandung senyawa organik yang terklorinasi. Senyawa ini yang memberi kontribusi besarnya AOX, yang pada proses yang masih konvensional mencapai di sekitar 4 - 10 kg/ton. Air limbah juga akan berkontribusi parameter BOD, COD, toksisitas dan warna secara nyata pada air limbah keseluruhan.

Ekstraksi dengan alkali juga dilakukan pada tahap pemutihan. Hasil ekstraksi ini akan mengandung banyak lignin yang sudah bersenyawa dengan bahan kimia pemutih.

Intensitas polusi dari air limbah sangat tergantung pada tingginya kandungan lignin dalam pulp. Makin tinggi kandungan lignin, makin banyak lignin dan senyawa organik lain yang harus dihilangkan dan makin tinggi konsumsi bahan kimia. Parameter BOD dan COD dari air limbah pemutihan secara konvensional ini masih tinggi, di sekitar 15 kg BOD/ton dan 80 kg COD/ton untuk kayu jarum (3). Tingginya beban pencemaran ini akan sangat memberatkan operasi pada IPAL. Karena intensitas pencemaran yang sangat tinggi ini, maka perlu dilakukan langkah-langkah dalam CP.

4.2.4. Minimisasi Limbah Proses Pemutihan

Limbah Cair

Mengupayakan minimisasi limbah proses pemutihan akan berarti meminimisasi kandungan lignin pada pulp yang akan diputihkan. Dengan demikian konsumsi bahan kimia pemutih juga akan sangat berkurang.

Seperti telah dijelaskan, antisipasi telah dilakukan pada pemasakan untuk memperoleh bilangan kappa yang rendah dengan cara *extended cooking*. *Extended delignification* juga dapat dilakukan di luar proses

pemasakan, misalnya penggunaan oksigen pada urutan pertama dalam proses pemutihan (dengan demikian juga disebut *oxygen delignification*).

Di dunia industri pulp dewasa ini, pemutihan tidak lagi memakai khlor elemental yang cukup tinggi jumlahnya (mencapai 68% dari kebutuhan total sebesar $0,5 \times \text{PN}\%$), yang mengakibatkan parameter AOX sangat tinggi. Karena tekanan masalah lingkungan, kini tidak terdapat lagi pemutihan tanpa melakukan substitusi khlor elemental. Bahkan telah banyak yang melakukan substitusi 100% yaitu pada pemutihan dengan ECF.

Substitusi dengan khlordioksida akan menekan besarnya AOX dalam air limbah dan makin memperkecil kemungkinan terbentuknya dioxin dan furan yang sangat berbahaya. Dioxin dan furan dalam limbah pabrik pulp dan pulp terdapat dalam bentuk 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD), octachlorodibenzo-p-dioxin (OCDD) dan 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-furan (TCDF). Senyawa ini terbukti karsenogenik terhadap tikus, tetapi belum jelas pengaruhnya terhadap manusia (11). Yang perlu diketahui adalah kalau terjadi pembentukan senyawa ini, adalah dalam jumlah yang sangat rendah (dalam satuan ppt atau parts per trillion dalam pulp dan ppq atau parts per quadrillion dalam air limbah). Karena itu perlu tindakan untuk menekan nilai AOX yang berarti pengendalian melalui jumlah penggunaan khlor elemental. Substitusi biasanya dilakukan lebih dari 50%. Substitusi C (klorinasi) dengan D (khlordioksida) sebesar 50% untuk pulp kraft serat panjang dengan bilangan kappa 16,6 akan mengemisi AOX sebesar 2,3 kg/ADTP (*airdry ton pulp*), sedangkan untuk kappa 30 sebesar 4,7 kg/ADTP (6). Karena itu besarnya substitusi dan urutan proses pemutihan sangat tergantung pada karakteristik dari pulp yang akan diputihkan dan nilai AOX yang dituju, misalnya: (O)(CD50)(EO)DED, O(CD70)(EO)DED, O(CD70)(EOP)DD (7) (O=oksigen, E=ekstraksi NaOH, P=hidrogen peroksida).

Dalam dua dekade terakhir banyak kecenderungan untuk menstusubstitusi C dengan D 100% atau memakai teknologi ECF. Untuk melakukan proses pemutihan dengan ECF perlu diupayakan agar bilangan kappa adalah rendah dari pulp yang akan diputihkan, seperti telah dijelaskan, dengan delignifikasi berlanjut di dalam atau di luar pemasakan. Dengan bilangan kappa yang rendah maka penggunaan khlordioksida yang mahal (jauh lebih mahal daripada khlor) dapat dihemat. Urutan pemutihan dengan ECF juga tergantung kepada sifat pulp yang akan diputihkan, misalnya: D(EO)DED, OD(EO)DED, OD(EOP)D(EP)D, OD(EO)DD.

Dalam dekade terakhir telah berkembang teknologi proses yang menstabilitaskan khlor elemental dan semua senyawa yang mengandung khlor dalam proses pemutihan. Dengan memakai cara ini maka limbah yang dikeluarkan akan aman, tidak terdeteksi adanya AOX dan dengan demikian juga dioxin dan furan. Namun pengguna teknologi ini masih sangat terbatas. Dibanding ECF, TCF mempunyai beberapa kelemahan di antaranya kurang bernilai lebih dalam perlindungan lingkungan (dengan ECF telah dapat dicapai nilai-nilai yang masih di bawah ambang batas), biaya produksi lebih tinggi, kekuatan pulp lebih rendah, rendemen lebih rendah (6), dan yang sangat penting adalah respon pasar masih kurang. Sampai saat ini TCF hanya diproduksi oleh beberapa pabrik di Skandinavia untuk konsumsi negara tertentu. Di Amerika sendiri hanya ada satu yaitu Samoa Pulp Mill (8), dan pabrik inipun akan beralih ke ECF. Tahapan pemutihan dapat sbb: OYZYPO, O(EOP)(EP)(EP)(EP) (8), OZ(EO)PY, OZEZP (12) (Y=bahan kimia pengompleks, misalnya $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ berfungsi mengurangi dan memutihkan lignin, Z=ozon).

Perbandingan dari berbagai macam proses pemutihan dilihat dari segi pencemarannya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Pengaruh proses pemutihan yang berbeda pada kualitas air limbah (dalam kg/t)

Proses Pemutihan	COD	AOX	Warna (Pt)
Konvensional	60	4	70
Oksigen	35	0.7	20
Mod. Pemasakan-ECF	25	0.4	15
Mod. Pemasakan-TCF	15	0	10

Proses TCF memungkinkan untuk mengembangkan sistim daur ulang secara tertutup sehingga tidak terjadi pengeluaran air limbah. Hal ini dikarenakan air limbah tidak mengandung unsur khlor. Pada ECF daur ulang air limbah proses pemutihan telah mulai dikembangkan. Teknologi ini dikenal sebagai teknologi BFR (bleached filtrate recycle) (9). BFR diperkenalkan oleh Wheelabrator Water Technologies Inc., USA dan aplikasinya dalam skala komersial oleh Champion International Co., di Canton USA. Sebelumnya TCF memungkinkan untuk membuat operasi tertutup sebagai suatu pilihan yang dapat diterapkan. Tetapi proses BFR menawarkan kemungkinan itu untuk ECF, proses mana banyak dipakai oleh industri pulp di dunia. Tahapan ECF yang digunakan adalah OD100(EOP)D.

Proses BFR memulihkan filtrat yang bersal dari bagian pemutihan dan menggunakannya untuk mencuci pulp pada bagian pembuatan pulp. Dengan demikian lindi hitam akan mengandung senyawa khlor, dan ini diolah di CRP melalui prosedur standar. Abu yang mengandung khlorida dipisahkan dengan kristalisasi pada bagian pemisahan khlorida.

Dilihat dari polutan yang keluar, BFR merupakan cara yang sangat aman mengingat sangat rendahnya beban pencemaran. Baik AOX, BOD, COD dan warna, semuanya mempunyai nilai kurang dari 1 kg/ton pulp.

Limbah Gas

Bahan kimia yang digunakan untuk pemutihan secara konvensional yang mempunyai efek pada pencemaran adalah khlor, hypokhlorit dan khlordioksida. Emisi gas terjadi pada tahap C, H (hypokhlorit) dan D, berupa: Cl₂ dan ClO₂. Pada proses ECF dan TCF yang menggunakan tahap Y digunakan Na₂S₂O₄ yang berpotensi mengemisi gas SO₂. Cl₂ dan SO₂ dapat dikurangi emisinya dengan penyerapan menggunakan larutan alkali, dan untuk ClO₂ dapat menggunakan air dingin (*chilled water*) agar dapat mengkondensasi. Emisi dapat dikurangi sampai 0,1 - 3 kg Cl₂/ton, 0,1 - 1 kg ClO₂/ton dan 0,1 - 1 kg SO₂/ton.

5. Teknologi Pembuatan Kertas

Produk kertas jenisnya sangat banyak, namun prinsip teknologinya adalah sama yaitu serat yang dibuat menjadi *furnish* (bubur serat pulp beserta bahan kimia yang diperlukan dalam pembuatan kertas), ditaburkan dan dihilangkan airnya secara mekanis, kemudian dikeringkan dengan penguapan. Tergantung kepada jenis yang akan dibuat, pulp yang digunakan juga bermacam-macam. Aditif yang digunakan juga sangat banyak jenisnya dan di antaranya ada yang toksik sehingga perlu diperhatikan dalam pemakaiannya agar tidak menimbulkan dampak lingkungan.

Dalam pembuatan kertas potensi untuk mencemari lingkungan cukup besar karena banyak mengkonsumsi air. Zat padat tersuspensi banyak terkandung dalam air limbah, dan dapat menyebabkan penutupan pada dasar badan air penerima atau membunuh kehidupan dalam air. Demikian juga kadar oksigen dapat terganggu karena polutan BOD dan COD.

Inerji yang dipakai cukup tinggi, untuk tenaga listrik sekitar 1000 kWh per ton kertas, dan panas sekitar 5 - 6 GJ per ton kertas. Karena kebutuhan energi yang tinggi, maka dampak lingkungan yang berkaitan dengan ini juga akan terjadi

seperti emisi gas pada ketel uap berupa sulfurdioksida, oksida-oksida nitrogen dan *fly ash* akan meningkat. Kebutuhan panas yang tinggi juga berpotensi menaikkan suhu pada badan air penerima air limbah.

Buangan padat juga dikeluarkan dalam operasi pembuatan kertas seperti lumpur yang mengandung serat dan limbah dari bungkus-bungkus bahan baku, wadah-wadah dan debu. CP harus diaplikasikan dalam pembuatan kertas untuk mereduksi dampak, seperti: melakukan daur ulang menuju sistim tertutup, memasang *saveall* dan saringan untuk mengurangi zat padat tersuspensi, memanfaatkan kembali air bersih seperti air pendingin, kondensat yang bersih dsb. Jika langkah-langkah demikian masih tetap belum dapat mencapai kondisi untuk memenuhi peraturan lingkungan yang berlaku, maka pengolahan secara eksternal diperlukan. Gambaran emisi polutan dan kebutuhan air pada pabrik kertas adalah seperti pada Tabel 4.

Tabel 4.

Emisi polutan pabrik kertas sebelum masuk pengolahan eksternal

Parameter	Status Lingkungan Rendah	Status Lingkungan Menengah/Tinggi
Air kelebihan, m ³ /t	50-200	5-50
Zat padat ters, kg/t	30-70	10-30
BOD, kg/t	4-10	2-10
COD, kg/t	8-25	4-20
P, g/t	3-300	3-300
N, g/r	10-500	10-500

5.1. Penyediaan "Furnish"

Kegiatan pada bagian ini biasa disebut *stock preparation*, yaitu mempersiapkan bubur serat atau *furnish* yang akan dimasukkan ke mesin kertas. Di samping menggunakan serat baru (*virgin pulp*), bagian ini juga menampung serat yang didaur ulang dari bagian mesin kertas seperti *broke* dan serat yang dapat diambil kembali misalnya dari *saveall*. *White water* dari mesin kertas sejauh mungkin juga digunakan misalnya pada repulper atau pengenceran pada *chest*. Karena sistim yang memungkinkan untuk tertutup, bagian ini sebenarnya dapat bebas dari emisi limbah.

5.2. Mesin kertas

Sampai saat ini mesin kertas tipe Fourdrinier masih banyak digunakan, tetapi untuk jenis kertas tertentu telah diganti dengan mesin kasa ganda (*twin wire*) dengan *gap formers* pengganti *head box*. Cara pembentukan lembaran bermacam-macam, tetapi selalu ada bagian penekanan yang mengeluarkan air dari lembaran. Pada bagian kasa (*wire part*) banyak air dikeluarkan, tetapi harus diupayakan agar material dalam *furnish* tidak ikut keluar. Untuk itu perlu ditambahkan bahan retensi, khususnya untuk menahan bahan-bahan yang ada dalam *furnish*. Hal ini sangat penting, karena disamping bahan yang diperlukan tidak banyak hilang, khususnya zat padat tersuspensi juga dapat direduksi emisinya.

Bagian pengepresan menggunakan rol-rol pengepres yang berfungsi memeras air dari lembaran kertas. *Felt* selalu digunakan dalam pengepresan sehingga limbahnya dapat terkontaminasi.

Bagian pengeringan juga banyak mengeluarkan air, tetapi dalam bentuk uap hasil pengeringan. Pada mesin kertas yang dilengkapi dengan fasilitas untuk penyalutan (*coating*), untuk memproduksi kertas salut, pengepresan dilakukan lagi sebelum masuk bagian pengeringan berikutnya. Bagian ini merupakan salah satu sumber pencemaran.

Bagian terakhir dari mesin kertas adalah pengerjaan dengan kalender agar kertas menjadi licin, rata dan kompak. Dari bagian ini kertas digulung dalam rol.

5.2.1. Bagian kasa

Bagian ini adalah *wire part* yang merupakan juga *wet end* dari sebuah mesin kertas. Fungsi utama dari bagian ini adalah menghilangkan air dalam *furnish* sambil membentuk lembaran di atas kasa dan menahan semaksimal mungkin bahan dalam *furnish*. Air yang terpisahkan adalah *white water*, merupakan cairan yang banyak mengandung polutan seperti BOD, COD dan zat padat tersuspensi. Air ini sebagian besar didaur ulang ke bagian penyediaan *stock*, dan sisanya sebagai kelebihan cairan dikeluarkan dari sistim. Adanya kelebihan air ini adalah karena dari bubur dengan kandungan air yang tinggi menjadi kertas dengan kadar air sekitar 6%, ditambah cairan lainnya misalnya dari *shower*. Kelebihan air ini merupakan limbah yang utama dari sebuah mesin kertas, sehingga perlu diupayakan untuk mendaur ulang sebanyak-banyaknya. Sistim *sealing* untuk pompa vakum untuk melayani *vacuum boxes* (untuk pengisapan air) dan air untuk sistim pembersihan juga akan menambah jumlah air pada *white water*.

Kadang-kadang *white water* yang cukup banyak juga diperlukan untuk memberi *feed* pada repulper kalau terjadi banyak *broke*. Apa lagi kalau *broke* berasal dari bagian pengeringan, maka akan lebih banyak cairan dibutuhkan.

Karena itu perlu disediakan tangki khusus penampung *white water* untuk persediaan.

5.2.2. Bagian penekanan

Bagian penekanan ini adalah *press part*, mempunyai tugas untuk mengambil air lebih lanjut dari lembaran kertas, yang masuk dengan konsistensi sekitar 20% dan keluar sekitar 50%. Air yang dihilangkan pada bagian ini sekitar 2 m³/ton kertas. Ditambah dengan air pembersih *felt* dan air *seal* pompa, banyaknya air yang keluar dari bagian ini menjadi kira-kira 3 m³/ton kertas. Air ini akan terkontaminasi serat bahan *felt*, karena itu sebaiknya langsung dikirim ke IPAL dan tidak didaur ulang.

5.2.3. Bagian pengeringan

Di bagian ini terdapat deretan silinder pengering yang dipanaskan dengan uap dari bagian dalam. Agar kontak dengan silinder lebih baik, lembaran kertas ditekan dengan kain atau *felt* ke permukaan silinder. Pengeringan lembaran adalah dari solid sekitar 50% menjadi sekitar 92 - 94%. Air yang diuapkan harus ditiup untuk memperbesar efisiensi. Uap ini merupakan emisi ke udara, namun tidak membahayakan.

Jika bagian ini mempunyai fasilitas untuk penyalutan, maka perlu diperhatikan pada tumpahan-tumpahan yang bisa terjadi misalnya pada waktu pembersihan, karena mengandung BOD dan COD yang tinggi.

Kondensat dari silinder pengering dapat dipakai kembali dalam ketel uap atau dijadikan satu dengan air pendingin.

Limbah cair

Limbah cair banyak berasal dari *wet part* sebagai *white water*. Limbah ini banyak mengandung bermacam-macam polutan tergantung pada bahan yang dipakai sebagai bahan pembantu dan pengisi (*filler*). Jika terdapat proses penyalutan, maka intensitas pencemaran akan bertambah.

Sudah sejak lama pabrik kertas menggunakan alum dan rosin sebagai bahan untuk *sizing*. Penggunaan alum ini direkomendasikan oleh UNEP (10) untuk diganti dengan poly-aluminium silicate-sulphate (PASS) karena dapat memperbaiki *drainability* dan menambah retensi bahan pengisi, sehingga dapat mengurangi zat padat tersuspensi dalam air limbah. Pada umumnya yang dipakai sebagai bahan pengisi adalah kaolin atau *china clay* karena harganya lebih murah daripada serat, menambah opasitas dan kehalusan, tetapi mempengaruhi ikatan serat.

Kalsium karbonat kurang mempengaruhi ikatan serat, namun bahan ini tidak dapat dipergunakan untuk *furnish* yang memerlukan sifat asam (pH 4,5 - 5). Bahan ini digunakan untuk pembuatan kertas secara alkalis namun zat padat tersuspensi akan meningkat kalau tidak menggunakan bahan retensi yang tepat.

Banyak jenis bahan dipakai dalam pembuatan kertas yang menyebabkan karakteristik air limbah semakin kompleks. Bahan-bahan dapat berupa bahan peretensi, pati, zat warna, titandioksida, bahan pencerah, penghilang buih, resin pengikat (sebagai *wet strength*), talek, *slimicide* dan *biocide*. Bahan peretensi dan pembuang buih dapat mempengaruhi flokulasi pada operasi di IPAL, talek menyebabkan sifat koloidal bertambah, zat warna yang pekat masih terbawa pada air limbah terolah, pati meningkatkan BOD dan COD, sedangkan *slimicide* dan *biocide* mempengaruhi pengolahan biologi. Karena itu pemakaian bahan penolong pada bagian ini memerlukan pengendalian yang ketat.

Pada proses penyalutan dipakai dua jenis bahan kimia yaitu pigmen seterti kaolin atau kalsium karbonat dan bahan sebagai pengikat (*binder*) seperti pati atau lateks. Di samping itu dipakai bahan warna tertentu yang mempunyai formula kompleks. Yang perlu diwaspadai pada proses penyalutan adalah tumpahan-tumpahan dan pencucian-pencucian dalam dapur penyediaan bahan dan pada mesin kertas, khususnya jika terjadi kertas putus (*web break*) di bagian itu. Limbah pigmen dan zat pengikat berturut-turut akan meningkatkan zat padat tersuspensi dan BOD/COD. Bahan kimia penyalutan ini sangat mengganggu operasi pada IPAL, karena itu limbah dari seksi ini perlu dipisahkan. Hal ini telah dilakukan misalnya pada sebuah pabrik di Jawa Timur. Yang perlu mendapat perhatian pada operasi penyalutan adalah melaksanakan *housekeeping* sebaik-baiknya.

Limbah padat

Limbah padat pada proses pembuatan kertas dapat berupa serat dan rejek. Di samping itu terdapat limbah yang bersifat umum seperti yang berasal dari pengepakan atau dari bahan baku jika mengolah serat sekunder, seperti plastik, metal dll.

Dalam penerapan *CP* yang berazaskan pada minimisasi limbah, limbah padat diusahakan sejauh mungkin untuk didaur ulang atau digunakan kembali ke dalam proses atau untuk diambil enerjinya. Jika hal ini tidak dapat dilakukan, maka baru melakukan pembuangan dengan cara *landfilling*.

Dalam pabrik kertas, limbah padat dapat pula berupa potongan-potongan kecil dari kertas, seperti yang berasal dari bagian *finishing*,

potongan dari *water jet knife* dan serat dari *saveall*. Semua bahan ini direkomendasikan untuk didaur ulang.

6. Penanganan Limbah Cair Secara Eksternal

Penanganan limbah cair secara eksternal merupakan suatu *end of the pipe treatment*, dilakukan di luar proses dan operasi dalam kegiatan produksi. Eksistensi fasilitas ini, yaitu IPAL, masih sangat diperlukan sebagai suatu *finishing touch* untuk melengkapi langkah-langkah dalam minimisasi limbah, apabila upaya dalam penerapan CP sudah dijalankan secara maksimal, tetapi karakteristik air limbahnya masih belum memenuhi peraturan lingkungan yang berlaku.

Operasi pada IPAL meliputi penghilangan zat padat tersuspensi zat organik terlarut sampai pada tingkat tertentu sehingga air terolah memenuhi persyaratan yang ditentukan, dengan jalan perlakuan fisik dan mekanik, perlakuan kimia berupa koagulasi/flokulasi/ flotasi/sedimentasi dan perlakuan secara biologi.

6.1. Sedimentasi

Agar zat padat tersuspensi dapat diendapkan, maka partikel pembentuk suspensi harus dijadikan flok (*floc*) yang cukup besar ukurannya agar dapat mengendap dengan cepat. Untuk itu digunakan koagulan seperti alum, ferrosulfat dll. Dalam mekanismenya koagulasi akan diikuti flokuasi, dan untuk terjadi flokulasi yang lebih sempurna (ukuran flok menjadi besar), sering ditambah flokulan misalnya PE (*polyelectrolyte*). Bak sedimentasi dapat berbentuk empat persegi panjang atau lingkaran. Yang perlu diperhatikan dalam operasi ini adalah tidak menahan lumpur terlalu lama, karena bisa terjadi masalah bau karena terjadi proses anaerobik, dan lumpur endapan dapat mengapung.

6.2. Flotasi

Dalam perlakuan primer flotasi jarang digunakan. Flotasi sering digunakan untuk mereduksi zat padat tersuspensi pada perlakuan akhir. Yang perlu diperhatikan dalam operasi ini adalah, karena sifat yang spesifik lumpur hasil flotasi, diperlukannya penyediaan air tambahan untuk dispersi lumpur pada operasi penghilangan air (*dewatering*). Hal ini akan menambah volume air limbah. Di samping itu flotasi juga memerlukan bahan polimer untuk flokulasi. Cara flotasi ini lebih sensitif dibandingkan sedimentasi, dilihat dari segi terjadinya fluktuasi debit dan variasi karakter air limbah. Keuntungannya ialah tidak diperlukan bak yang dalam.

6.3. *Perlakuan Biologi*

Perlakuan ini ditujukan untuk mereduksi zat organik dengan menguraikannya menjadi bagian yang lebih sederhana dengan menggunakan aktifitas mikroorganisma. Bila terdapat zat organik ditambah nutrisi yang cukup, mikroorganisma akan berkembang sedemikian rupa sehingga akan menghasilkan lumpur biologis yang besar jumlahnya sehingga akan mengganggu proses itu sendiri. Oleh karena itu kelebihan lumpur ini harus dipisahkan dari sistim, sehingga selalu diperoleh kondisi yang optimal bagi berlangsungnya degradasi.

Perlakuan biologi dapat diklasifikasikan ke dalam perlakuan aerobik (diperlukan oksigen) dan anaerobik (tidak diperlukan oksigen).

6.3.1. *Perlakuan aerobik*

Bila beban pencemaran organik tidak terlalu besar, degradasi aerobik dapat langsung terjadi secara alami. Namun untuk beban pencemaran yang tinggi seperti air limbah dari pabrik pulp dan kertas, maka oksigen harus ditambahkan secara mekanis. Terdapat beberapa cara:

Danau Oksidasi atau Fakultatif

Pengolahan terjadi secara alami karena tidak ada peralatan mekanis yang digunakan dalam membantu proses degradasi. Akibat dari kondisi ini degradasi dapat terjadi baik secara aerobik pada lapisan bagian atas maupun anaerobik pada lapisan bagian bawah. Karena itu sistim ini juga disebut sebagai danau fakultatif atau juga kolam stabilisasi. Masalah bau dapat timbul dengan menggunakan sistim ini, karena waktu retensi yang lama. BOD dapat direduksi sampai 50 - 80% (12).

Danau Aerasi

Oksigen diberikan secara mekanis, umumnya dengan aerator permukaan. Keuntungan memakai cara ini adalah tidak sensitif terhadap komposisi polutan dan pH, sedangkan produksi lumpur biologi juga kecil. Namun sistim ini memerlukan lahan yang luas dan mengonsumsi banyak energi. BOD dapat direduksi sampai 50 - 90%.

Lumpur Aktif

Sistim lumpur aktif (*activated sludge*) yang standar dilengkapi dengan *clarifier* untuk memisahkan lumpur biologi. Sebagian besar dari lumpur ini dikembalikan ke dalam reaktor untuk melakukan degradasi air limbah lebih lanjut dengan penyediaan oksigen atau udara yang dicukupi secara mekanis (biasanya melalui membran yang menghasilkan gelembung-gelembung udara yang lembut). Keuntungan memakai sistim ini adalah tidak sensitif terhadap beban pencemaran dan parameter toksik. Reduksi BOD dapat mencapai 75 - 95%.

Modifikasi dari sistim ini adalah pengambilan lumpur biologi dari reaktor langsung secara periodik (*periodic wasting*). Keuntungan cara ini adalah tidak diperlukan *clarifier* khusus untuk memisahkan lumpur. Sistim ini telah diinstalasi di sebuah pabrik di Jawa Timur.

Trickling Filter

Sistim ini menggunakan media enert yang pada umumnya dari plastik. Media ini disusun secara vertikal di dalam menara dari atas ke bawah. Air limbah dialirkan dari bagian atas menara, sedangkan dari bagian bawah dialirkan udara. Akan terbentuk lapisan tipis (film) dari mikroorganisma pada permukaan media, dan ini yang akan mengolah air limbah yang mengalir melalui lapisan tersebut. Keuntungan menggunakan sistim ini adalah tidak memerlukan lahan yang luas. Kerugiannya adalah sering terjadi kebuntuan pada media filter dan sistim distribusi airnya. Teknik baru telah dikembangkan yaitu dengan cara menenggelamkan modul media plastik ke dalam bak aerasi. Reduksi BOD 40 - 75%.

MBBR

MBBR adalah *moving bed bio reactor*, menggunakan media yang bergerak berupa *carrier*. Gerakan terjadi karena gelembung-gelembung udara yang dimasukkan dari bagian bawah reaktor. *Carrier* ini terbuat dari bahan inert misalnya plastik dan menempati ruangan reaktor (*bulk volume*) sampai 30 - 50%. Sistim ini dapat mereduksi BOD 70 - 90%. Sistim ini akan diinstalasi di sebuah parik di Jawa Barat.

6.3.2. Perlakuan anaerobik

Perlakuan anaerobik dipakai untuk mengolah limbah dengan beban pencemaran yang lebih tinggi dengan kadar minimal BOD sebesar 500 ppm. Tipe yang penting adalah: danau anaerobik, reaktor kontak dan UASB.

Danau Anaerobik

Sistim ini seperti kolam stabilisasi dengan waktu retensi yang cukup lama (5 - 50 hari). Dengan demikian lahan yang dibutuhkan menjadi luas. BOD dapat direduksi sampai 50 - 80%.

Reaktor Kontak

Sistim aliran fluida dalam reaktor kontak ini mirip seperti pada proses lumpur aktif. Untuk meratakan kondisi, reaktor dilengkapi dengan pengaduk. Kesulitan sering timbul karena pada pengendapan lumpur di bak pengendap terganggu oleh timbulnya gas metan yang masih berlanjut. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan penghilangan gas dan kemudian flokulasi sebelum masuk ke tahap sedimentasi. Sistim ini mampu mereduksi BOD sampai 90%.

UASB

UASB adalah *up-flow anaerobic sludge bed process*. Air limbah yang diolah masuk ke reaktor dari bagian bawah, melewati sebuah *bed* berupa lumpur biomasa granular. Gas yang terbentuk akan mengagitasi cairan dan keluar di bagian atas dari reaktor. Cairan terolah juga akan keluar di bagian atas dan ada fasilitas khusus untuk mengeluarkan lumpur. Yang perlu diperhatikan adalah reaktor harus kedap udara. Reaktor ini mampu mereduksi BOD sampai sekitar 90%.

7. Ulasan dan Kesimpulan

Dalam dua dekade terakhir sektor industri pulp dan kertas menunjukkan perkembangan yang sangat nyata dilihat dari segi jumlah produksi dan teknologi. Jumlah produksi terus berkembang sesuai dengan kebutuhan (*demand*) yang terus meningkat, berbarengan dengan itu teknologi juga terus berkembang sesuai dengan kebutuhan industri itu sendiri yang didorong oleh tuntutan dari luar. Dari segi teknologi, kalau semula terutama diarahkan pada peningkatan kualitas dan efisiensi, maka kini dibarengi dengan tekanan-tekanan dalam isu lingkungan, teknologi berkembang secara disvergen dengan aspek lingkungan menjadi salah satu unsurnya. Kini tidak ada lagi pengabaian terhadap keselamatan lingkungan oleh negara-negara di dunia, dengan demikian aspek ini sudah menjadi komitmen dunia.

Sektor industri pulp dan kertas kini makin dibebani tuntutan untuk dapat memproduksi produk yang *environmentally benign*. Pihak konsumen terutama di negara maju tidak lagi hanya menuntut kualitas produk yang dibeli, tetapi juga perlu meyakini dengan cara bagaimana produk itu dibuat. Mereka perlu meyakini apakah industri berkaitan sudah benar-benar *green*, yang diartikan sebagai benar-benar tidak mengganggu keseimbangan dalam ekosistem. Tentu saja pihak industri tidak akan tinggal diam, kalau tidak ingin produknya ditinggalkan. Ini menjadi suatu *challenge*, sekaligus menjadi suatu hikmah terjadinya pengembangan teknologi yang ramah lingkungan di sektor yang bersangkutan.

Dengan perkembangan teknologi mutakhir dalam bidang industri pulp dan kertas, sektor ini telah dapat menanggulangi gangguan terhadap lingkungan, artinya diukur dengan besaran parameter yang dapat memenuhi ketentuan yang berlaku. Dalam bidang pembuatan pulp, telah dikembangkan teknologi yang mengarah kepada teknologi yang lebih *green*. EMS telah banyak dikembangkan di industri pulp dan kertas, dengan penerapan konsepsi CP yang bermakna minimisasi limbah ataupun pencegahan pencemaran dengan cara *internal pollution control measures*. Teknologi yang telah tersedia merupakan *tool* ke arah keberhasilan dari EMS tersebut.

Kalau diperhatikan, maka penerapan CP telah dapat dilakukan pada semua aspek kegiatan produksi pulp dan kertas karena telah tersedianya teknologi yang mendukung ke arah itu. Di bidang penyediaan bahan baku telah diketahui cara-cara agar limbah dapat ditekan semaksimal mungkin. Di bidang pembuatan pulp telah terjadi pengembangan teknologi yang mengantisipasi agar limbah yang keluar tidak mencemari, seperti delignifikasi berlanjut untuk memperoleh bilangan kappa rendah. Di bidang pemutihan telah berkembang teknologi sehingga dapat dilakukan dengan ECF dan TCF. Untuk merendahkan bilangan kappa juga telah banyak dilakukan delignifikasi berlanjut di luar pemasakan yaitu delignifikasi oksigen. Perkembangan teknologi daur ulang efluen pemutihan untuk dipakai pada pencucian pulp coklat juga mulai dipakai sejauh tertentu sehingga dijamin pengeluaran limbah proses pemutihan menunjukkan nilai AOX yang sangat rendah.

Dalam bidang pembuatan kertas juga telah dapat disempurnakan operasi-operasi yang mengarah kepada makin ditingkatkannya daur ulang. Kecuali itu penggunaan aditif juga selalu mendapat perhatian para *environmentalist* untuk mengoreksi sekaligus mengganti dengan bahan yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Misalnya penggunaan alum yang direkomendasikan diganti dengan PASS yang juga mempunyai daya peretensi yang lebih baik atau APE (*alkyl phenol ethoxylates*) yang harus diganti dengan LAE (*linear alcohol ethoxylates*) yang harganya lebih mahal (13); dan ternyata bahan ini masih kurang memenuhi sehingga mungkin harus diganti lagi.

Dalam bidang penanganan limbah secara ekstern juga telah banyak terjadi pengembangan, khususnya dalam bidang penggunaan PE pada flokulasi atau dalam bidang pengolahan biologi seperti pada *activated sludge*, MBBR dan UASB.

Dengan demikian, kalau *green* diberi batasan sebagai industri yang telah dapat meminimisasi limbah sehingga emisinya telah dapat memenuhi persyaratan yang berlaku, dan menggunakan bahan baku yang penyediaannya tidak mengganggu keseimbangan lingkungan, maka sektor industri pulp dan kertas dapat mencapai kualifikasi itu. Kalau tidak demikian sudah barang tentu sektor industri ini sudah punah. Masalahnya hanya pada pelaku industri itu sendiri, sejauh mana kesanggupan untuk melaksanakan kegiatan produksi dengan memakai teknologi bersih.

Kalau diamati lebih jauh, sektor industri pulp dan kertas ini secara teoritis (tetap menggunakan batasan di atas, tetapi "bahan baku" diganti dengan "bahan baku dan penolong") mungkin belum dapat mencapai status sebagai *green industry* dan masih dipertanyakan, karena: (1) pembuangan limbah yang telah memenuhi persyaratan yang berlaku tidak berarti tidak ada sama sekali polutan yang dibuang ke lingkungan. Sulit dimengerti bahwa emisi (gas, cair, padat) dari sebuah pabrik yang telah memenuhi ketentuan yang berlaku dan mungkin sudah *ecolabeled* tidak mengubah komposisi badan penerimanya (*recipient*); (2) Bahan-bahan yang dipakai oleh suatu pabrik yang spesifikasinya telah memenuhi persyaratan lingkungan, apakah juga dibuat dengan cara *green*? Apakah penggunaan alum, kaolin, kapur dan bahan-bahan tambang lainnya diyakini tidak merusak atau mengganggu keseimbangan lingkungan pada waktu penambangannya? Bagaimana dengan penggunaan bahan bakar fosil yang masih banyak dipakai, padahal bahan ini tidak *renewable*? Karena itu pengertian *green* menjadi sangat relatif.

Sebenarnya industri pulp dan kertas, walaupun telah memenuhi persyaratan lingkungan yang berlaku, dalam segi-segi tertentu masih menjalani "pengobatan", sambil industri itu sendiri beroperasi. Dalam beberapa hal, pemakaian bahan kimia tertentu harus mengalami penggantian karena dianggap kurang ramah lingkungan. Penggantian tersebut akan membawa kosekuensi ekonomi karena biasanya harganya lebih mahal. Namun bagi yang menyadari, justru dengan penggantian demikian akan memperoleh banyak *benefit* karena: (a) banyak bahan baru yang dipakai dalam pembuatan kertas dapat memperbaiki kualitas produk, meningkatkan rendemen, sekaligus mereduksi tingkat pencemaran; (b) produk tetap *accepted* di pasaran, bahkan mungkin meningkat. Sebagai contoh misalnya penggunaan teknologi *nanoparticle silica*, suatu penggantian penggunaan bahan dalam pembuatan kertas, memperoleh keuntungan sbb: (1) beberapa bahan lain tidak diperlukan lagi; (2) penggunaannya lebih sedikit; (3) memperbaiki retensi, sehingga emisi polutan lebih kecil; (4) mereduksi bahan kimia pada penanganan air limbah; (5) mengurangi kemungkinan melakukan *landfilling*; (5) dapat menggunakan serat

sekunder (untuk pembuatan kertas yang memakai sebagian bahan baku kertas sekunder) dengan kualitas lebih rendah untuk menghasilkan produk yang tetap dapat diterima.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa meningkatkan industri agar menjadi lebih *green* sehingga produknya dapat terus diterima, bukan saja merupakan suatu tantangan tetapi juga suatu kesempatan (peluang) bisnis.

8. Daftar Pustaka

1. "Environmental Management in the Pulp and Paper Industry", UNEP, Industry and Environment, 96
2. "National Cleaner Production Centre", India, 95
3. "Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, UNEP, Moscow, Vol. 1, 81.
4. Soetrisno T. Sudirjo, Teruo Kondo, "The Availability of Unused Biomass in Indonesia", Journal of NIRE, Japan, Vol. 4, No. 2, 95.
5. Soetrisno T. Sudirjo, "Pengaruh air Buangan Industri Pulp (BKP) pada Badan Air dan Upaya Mengurangnya", Seminar Jaringan Kerja Pengendalian Pencemaran Industri II, 97.
6. Fleming, B., "Bleaching Review", Boise Cascade Research and Development, 96.
7. Kinstrey, R.B, "Greenfield Mill Site Permitting Can Take Years of Preparation", Environmental Solutions, 93.
8. Soetrisno T. Sudirjo, "Kunjungan Orientasi Industri ke Amerika Serikat", PAPETEP, Laporan, 96.
9. "BFR Process" Champion International Co., Wheelabrator Water Tech. Inc., 96.
10. "Cleaner Production at Pulp and Paper Mills", UNEP, Industry and Environment, 97.
11. Soetrisno T. Sudirjo, "Cellulose, Its Main Features in the Polymer World", International Workshop on Green Polymer, Proceedings, 97.
12. "Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, UNEP, Moscow, Vol. 2, 81.
13. Swann, C.E., "Moving Towards Green Chemistry", Paper Maker, Vol. 10, No. 6, 00
14. Soetrisno T. Sudirjo, "Produksi Bersih pada Industri Pulp", Buku Panduan Produksi Bersih Industri Pulp dan Kertas, 97.