

PENGEMBANGAN METODA PENGUKURAN KEMAMPUAN DAUR ULANG KERTAS

Rina Masriani, Taufan Hidayat

Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132 Bandung
Telp. (022) 5202980 ; Fax. (022) 5202871; E-mail: bbpk@bbpk.go.id

Naskah masuk tanggal : 4 September 2009

DEVELOPMENT OF PAPER RECYCLABILITY DETERMINATION METHOD

ABSTRACT

The increasing of using paper raw material from recycled paper needs paper recyclability determination method. Until this research was done, there were no national or international standards for this method. The criterion of paper recyclability is determined as the ability of redispersion paper in water. Thus we need to know the determination steps and the interpretation of the result. In the development of this method, the determination method based on the number of undefibered part of paper in dispersion process. This can be indicated by the formation changing during refining process. The method then tried to apply for corrugated board (CB) grade A and Z. The result of trial application concluded that paper can be recycled if there is a sharp area in the beginning of refining at formation curve as the function of formation value from refining time. The quality of the paper and waste paper can be observed at two factors, the slope of sharp area and the value of the flat area of the curve. The descending recyclability ratings of the observed samples are CB grade A, sorted white ledger, coated CB, and CB grade Z.

Keywords: Paper recycleability, formation, refining, measurement.

INTISARI

Peningkatan penggunaan bahan baku kertas dari limbah kertas yang didaur ulang memerlukan suatu metoda pengukuran kemampuan daur ulang. Hingga riset ini dilakukan, belum ada standar nasional maupun internasional untuk metoda ini. Kriteria kemampuan daur ulang kertas ditetapkan sebagai kemampuan kertas untuk dapat didispersikan kembali dalam air. Selanjutnya perlu diketahui tahapan pengukurannya dan interpretasi data yang dihasilkan. Pada pengembangan metoda ini, pengukurannya didasarkan pada seberapa banyak bagian kertas yang belum terurai setelah proses pendispersian. Hal ini dapat diindikasikan oleh perubahan formasi lembaran akibat proses penguraian. Uji coba metoda dilakukan terhadap kertas jenis kotak karton gelombang (KKG) kualitas A dan Z. Hasilnya kertas bekas termasuk kategori mampu didaurulang jika masih menunjukkan adanya daerah curam di awal waktu penguraian pada kurva formasi sebagai fungsi dari waktu penguraian dan tidak mampu didaurulang jika tidak ada. Kualitas kertas dan kertas bekas dapat diamati pada dua faktor, yaitu kemiringan-daerah curam kurva dan nilai formasi daerah datar kurva. Urutan secara menurun kemampuan daur-ulang contoh kertas yang diamati adalah sebagai berikut KKG bekas A, SWL, karton salut bekas, dan KKG bekas Z.

Kata kunci: Kemampuan daur ulang kertas, formasi, penguraian, pengukuran.

PENDAHULUAN

Proses daur ulang merupakan salah satu pilihan yang terbaik, terkait dengan isu lingkungan (Hess, 2001). Bahkan *Public Recycling Official of Pennsylvania* menyatakan bahwa satu ton kertas yang didaur ulang akan menghemat 17 pohon, 275 pon sulfur, 350 pon batu kapur, 9000 pon uap, 60000 galon air, 225 kWh listrik, dan 3,3 yard kubik lahan *landfill*. Di Indonesia sendiri, antara tahun 1980 hingga 1989 telah terjadi peningkatan penggunaan bahan baku kertas dari limbah kertas yang didaur ulang sekitar 61% per tahun, dari 60267 ton menjadi 470623 ton (BPS, 1989). Terkait dengan proses daur ulang, maka diperlukan suatu metoda untuk menentukan kemampuan daur ulang kertas.

Riset ini bertujuan untuk memperoleh metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang dapat digunakan menjadi salah satu parameter mutu komoditi kertas. Dengan dikembangkannya metoda ini diharapkan akan mampu mengurangi penggunaan pulp virgin dan memanfaatkan kembali limbah kertas bekas untuk dibuat kertas kembali tanpa menurunkan mutu kualitas kertasnya.

Pendekatan Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas

The American Paper Institute, telah mempublikasikan metoda uji berjudul "1975 *Guidelines for determining recyclability of paper stock*", yang terdiri dari 2 prosedur. Kelemahan prosedur I pada metoda ini adalah penggunaan pisau pemotong pada *kitchen blender* biasa. Pisau ini akan memotong serat dan menghilangkan serat pada hampir beberapa kertas bekas, dan tidak mencerminkan secara efektif model *pulper* komersial. Pada prosedur II kelemahannya adalah temperatur yang digunakan (82 °C), kebanyakan pabrik tidak dilengkapi dengan pulper yang dapat dioperasikan pada 82 °C (180 °F). Kelemahan lainnya adalah pada tahap evaluasi, sangat subjektif dan tidak kuantitatif (Kubota, 1998).

Metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang lain adalah yang telah dikembangkan oleh Mr. Richard Kling dari *Paper Science and Engineering Department* pada *Miami University di Ohio* (www.expandingpaper.com). Pada intinya, terdiri dari tiga langkah dasar, yaitu: penguraian serat dengan disintegrator standar, pembuatan

handsheet dan pengujian formasi. Produk yang ditinjau adalah *Coated Corrugated Paperboard* atau karton gelombang bersalut. Kelebihan dari metoda ini adalah penggunaan disintegrator yang sesuai sehingga meminimalisasi terpotongnya serat oleh pisau pemotong dan kehilangan serat pada proses *repulping* serta lebih mendekati proses pada pulper komersial. Selain itu tahap evaluasinya lebih akurat.

Pendekatan pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang lain lagi adalah metoda *Fibre Box Association (FBA, 2007)* dan *American Forest and Paper Association (AF & PA)*. Tahapan dari pendekatan pengukuran ini adalah *soaking* dalam blender khusus, penguraian serat dalam *disintegrator* standar (*British disintegrator*), *flat screening*, *hidropulping* skala lab, *pressure screening & cleaning*, pembuatan *handsheet*, evaluasinya meliputi *yield*, *operational impact*, and *handsheet properties*. Produk yang ditinjau adalah *Treated Corrugated Fiberboard* yaitu kombinasi karton atau kotak karton gelombang yang telah mengalami perlakuan khusus dalam lingkungan air atau uap air untuk meningkatkan penampilannya. Tingkat perlakuan yang digunakan dalam pengujian harus sama atau lebih tinggi dari tingkat perlakuan yang digunakan di pabrik kertas.

Penyusunan SNI Kemampuan Daur Ulang Kertas

Penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI) berdasarkan aturan yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) didasarkan pada dua metoda yaitu metoda adopsi standar internasional yang sudah memiliki nota kerjasama dengan BSN seperti ISO, TAPPI atau ASTM atau penyusunan standar *not equivalent* dengan standar internasional. Sampai saat penelitian ini dilakukan, belum ada standar internasional untuk metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas (Hube, 2007), padahal seiring dengan semakin berkembangnya teknologi daur ulang kertas, metoda ini sangat diperlukan. Karena belum ada standar internasional untuk metoda ini, maka metoda penyusunan SNI yang pertama yaitu metoda adopsi standar internasional tidak bisa dilakukan. Pendekatan pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang telah dikemukakan sebelumnya tidak bisa diadopsi karena belum merupakan standar internasional, masih berupa pendekatan hasil penelitian suatu lembaga

tertentu. Karena metoda adopsi standar internasional tidak dapat dilakukan, maka ditempuh cara yang kedua, yaitu metoda penyusunan standar *not equivalent*.

Penyusunan metoda standar memerlukan penelitian suatu rancangan metoda mulai dari tahap percobaan di laboratorium, verifikasi metoda, sampai ke validasi metoda (FEFCO, 2006). Penelitian ini dilakukan dengan cara mengembangkan pendekatan-pendekatan yang telah dilakukan sebelumnya. Pendekatan oleh *The American Paper Institute* telah dikemukakan memiliki beberapa kekurangan, sedangkan pendekatan oleh *Fibre Box Association (FBA)* dan *American Forest and Paper Association (AF & PA)* tidak dapat dilakukan di laboratorium karena bersifat lebih ke pendekatan proses di pabrik kertas. Karena itu metoda yang dikembangkan di Balai besar Pulp dan Kertas didasarkan pada pendekatan oleh Mr. Richard Kling. Pada pendekatan yang telah dikembangkan oleh Mr. Richard Kling belum dijelaskan langkah-langkah kerjanya secara rinci, terutama mengenai temperatur pada langkah penguraian serat yang merupakan point penting metoda ini, contoh yang diujikan hanya satu macam yaitu *Coated Corrugated Paperboard* atau karton gelombang bersalut, dan belum dijelaskan metoda interpretasi data yang dihasilkan. Karena itu penelitian ini perlu dilakukan untuk melengkapi kekurangan-kekurangan pendekatan pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang telah dilakukan terdahulu.

Definisi Kategori Kertas Bekas

Fibre Box Association (FBA, 2007) mendefinisikan *recyclable waste paper* sebagai kertas bekas yang dapat diproses menjadi kertas atau karton baru menggunakan proses tertentu. Sedangkan *repulpable waste paper* adalah bahan uji yang dapat digunakan dalam operasi *re-wetting* dan *fiberizing* menggunakan proses tertentu untuk menghasilkan formasi yang sesuai untuk pembuatan kertas.

Prinsip Persiapan Stock

Prinsip dasar persiapan *stock* ditinjau dari kesiapan seratnya adalah menguraikan kembali serat dari bahan baku sampai didapatkan target derajat giling 300 mL CSF. Proses penguraian terjadi di hidropulper sedangkan proses penggilingan di *beater* dan *refiner*. Pada proses penggilingan, 60% serat virgin akan terpotong

dan 40% terfibrilasi (Hube, 2007). Serat untuk *stock* kertas yang baik adalah serat yang halus (tidak tebal) dan bercabang-cabang. Parameter yang sesuai untuk mengamati keadaan serat pada kondisi ini adalah formasi (ukuran ketidakseragaman distribusi serat yang dinyatakan dalam satuan NUI atau *nonuniformity index*). Nilai NUI merupakan ukuran relatif terhadap standar. Nilai maksimal NUI dibatasi oleh kemampuan alat uji. Semakin kecil nilai NUI, ukuran ketidak seragaman distribusi serat makin kecil, formasi serat makin baik.

BAHAN DAN METODA

Bahan

Kertas bekas dengan kualitas yang baik, pada penelitian ini digunakan *old corrugated carton (OCC)* atau kotak karton gelombang (KKG) bekas kode A yang berasal dari produsen kertas liner medium di Indonesia. OCC kode A ini adalah kertas bekas yang kualitasnya seragam yaitu berasal dari kertas bekas hasil daur ulang yang pertama.

Kertas bekas dengan kualitas yang buruk, pada penelitian ini digunakan kotak karton gelombang bekas mie instan dan diberi kode KKG bekas Z. Kertas bekas jenis lain yang digunakan adalah *sorted white ledger (SWL)* dan karton salut bekas.

Metoda

1. Perumusan Kriteria

Kriteria kemampuan daur ulang kertas ditetapkan sebagai kemampuan kertas bekas untuk didispersikan kembali dalam air. Evaluasi utamanya adalah seberapa banyak bagian kertas bekas yang belum terurai setelah proses pendispersian.

2. Pengembangan Prosedur Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas

- Tentukan kadar air contoh
- Timbang 40 g kering contoh dan potong-potong hingga berukuran kira-kira 1 x 1,5 cm²
- Panaskan 2000 mL akuades hingga 52 ± 3°C, kemudian masukkan ke dalam disintegrator bersama-sama dengan potongan contoh di atas
- Operasikan disintegrator

- Setiap 1 menit, selama 10 menit, ambil stock dari dalam disintegrator sebanyak 125 mL, encerkan hingga 1000 mL dan buat *handsheet* (bulat).
- *Handsheets* kemudian dipress dan dikeringkan
- Lakukan pengujian formasi terhadap *handsheet* yang sudah kering
- Ulangi percobaan di atas sekurang-kurangnya satu kali
- Buat grafik antara formasi dengan waktu (menit ke-1, ke-2, ...dst)
- Kemampuan daur ulang kertas ditunjukkan dengan semakin baiknya formasi *handsheet* sejalan dengan bertambahnya waktu penguraian.

1. Penerapan Kriteria dan Metoda melalui Percobaan Di Laboratorium

a. Pengembangan Metoda Interpretasi Data

Ketika dilakukan pendekatan proses tersebut di laboratorium, untuk mengamati keberhasilan proses penguraian, dilakukan evaluasi formasi terhadap dua kertas bekas dari jenis yang sama yang secara performance memiliki kualitas yang baik dan buruk. Pengembangan metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas dititik beratkan pada pengamatan bagaimana suatu kertas atau kertas bekas didispersikan kembali dalam air selama proses penguraian yang merupakan fungsi dari formasi kertas terhadap waktu penguraian. Pengembangan ini berupa interpretasi data Grafik fungsi formasi terhadap waktu penguraian yang belum ada pada metoda-metoda sebelumnya, dengan menggunakan bantuan uji statistika (RCCChem, 2007). Pengembangan juga dilakukan pada perlakuan awal, metoda penguraian, verifikasi metoda dan penambahan jenis kertas yang diuji, sehingga akan diperoleh suatu kesimpulan berupa kategori kertas *recyclable* dan *unrecyclable*.

b. Pengembangan Metoda Perlakuan Awal

Dari masing-masing bahan baku kertas bekas dengan kualitas yang baik dan buruk diuji kemampuan daur ulang kertasnya. Pada SNI 14-0489-1989 Cara penyediaan lembaran pulp untuk uji sifat fisik, sebelum diuraikan dengan *disintegrator*, potongan contoh kertas direndam semalam untuk tujuan hidrasi (*swelling*). Untuk

mempelajari perbedaan perlakuan tersebut dilakukan persiapan contoh tanpa perendaman dan dengan perendaman. Pengamatan dilakukan pada contoh kertas KKG bekas A dan Z.

c. Pengembangan Proses Pendispersian Kembali Kertas Bekas dengan Metoda Disintegrator dan *Beater* Tanpa Beban

Pendispersian kembali kertas bekas dapat dilakukan dengan beberapa alat. Pada tahap ini terjadi proses penguraian. Proses penguraian dapat dilakukan dengan beberapa metoda, diantaranya dengan metoda disintegrator dan metoda *beater*. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan membandingkan metoda penguraian dengan disintegrator dan dengan *beater* tanpa beban.

2. Evaluasi Kriteria dan Metoda Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas serta Verifikasi Metoda

Untuk mengevaluasi kriteria dan metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas, parameter yang digunakan adalah parameter formasi, pengujiannya dilakukan menggunakan *in house method*. Interpretasi data menggunakan uji Dixon.

Untuk mengevaluasi kriteria dan metoda yang telah disusun dan dicoba di laboratorium dilakukan verifikasi metoda. Verifikasi metoda dilakukan pada contoh kertas bekas yang memperlihatkan hasil yang baik. Uji statistika yang digunakan adalah uji Dixon dan uji koefisien korelasi Pearson (Houtman, 2008).

3. Penyempurnaan Kriteria dan Metoda Pengukuran

Penyempurnaan kriteria dan metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas dilakukan dengan menerapkan metoda ini pada contoh jenis kertas yang lain yaitu kertas *sorted white ledger* atau SWL dan karton salut bekas

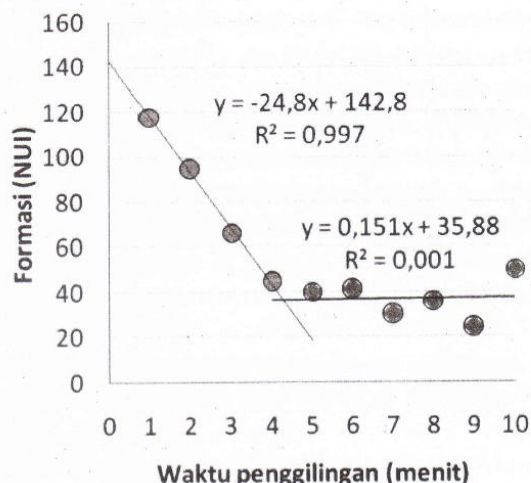
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria Kemampuan Daur Ulang Kertas

Kriteria kemampuan daur ulang kertas ditetapkan sebagai kemampuan kertas bekas untuk didispersikan kembali dalam air dengan evaluasi utama yaitu seberapa banyak bagian kertas bekas yang belum terurai setelah proses pendispersian.

Interprestasi Data Hasil Pengukuran

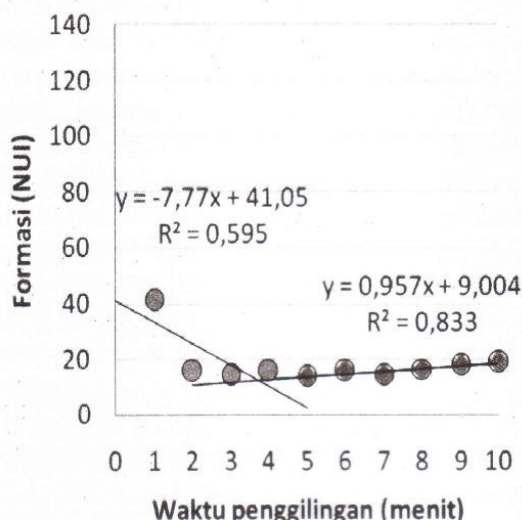
Dari contoh KKG bekas A yang secara kinerja terlihat baik dan dan KKG bekas Z yang terlihat buruk diukur kemampuan daur ulang kertasnya. Tujuannya adalah untuk mengamati seberapa *recyclable*-kah kedua KKG bekas ini, dan seberapa jauhkah perbedaannya.



Gambar 1. Profil Perubahan Formasi sebagai Fungsi dari Waktu Penguraian untuk KKG Bekas dengan *Performance* yang Baik.

Setelah didapatkan profil pada Gambar 1, pertanyaan selanjutnya adalah bagaimana menentukannya? Untuk menjawab pertanyaan ini, kami menetapkan pembatasan bahwa penguraian serat dan fibrilasi serat dianggap selesai jika sudah tidak ada lagi perubahan formasi yang nyata seiring dengan bertambahnya waktu penguraian. Mulai menit ke berapakah Grafik menunjukkan garis datar, ditetapkan dengan menyeleksi data nilai formasi awal yang biasanya tinggi sebagai data yang tidak seragam dengan Grafik yang datar dan diuji secara *statistika* menggunakan uji Dixon. Untuk KKG bekas A, (Gambar 1) kedataran nilai formasi dimulai pada menit ke-4, dengan demikian nilai formasi menit ke-1 sampai ke-3 termasuk kategori dibuang, jika digabungkan menghasilkan suatu kurva curam dengan kemiringan sebesar -24,8. Penggabungan ini memerlukan minimal 4 data, jadi diambil sampai menit ke-4. Hasilnya adalah kami tetapkan bahwa KKG bekas A masih memiliki *recyclability* dengan kemiringan sebesar -

24,8.



Gambar 2. Profil Perubahan Formasi sebagai Fungsi dari Waktu Penguraian untuk KKG Bekas dengan Kinerja yang Buruk.

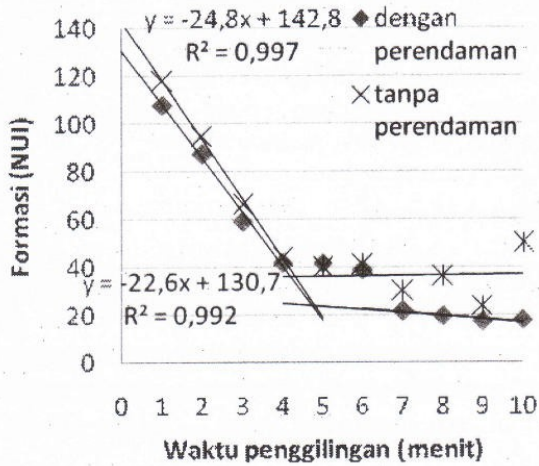
Untuk KKG bekas Z, hanya ada satu data yaitu nilai formasi menit ke-1 yang dibuang pada saat dilakukan uji Dixon, jadi kedataran garis sudah dimulai pada menit ke-2. Ada satu titik saja diluar garis datar kami tetapkan bahwa KKG bekas ini masih memiliki *recyclability*. Ke-4 data pada menit awal menghasilkan kurva yang sudah tidak curam lagi, kemiringan nya hanya sebesar -7,77.

Selanjutnya adalah kami memerlukan kondisi kerja yang optimum untuk metoda ini. Kami melakukan riset untuk penentuan perlakuan awal dan metoda penguraian.

Hasil Pengembangan Metoda Perlakuan Awal

Penentuan perlakuan awal pengukuran kemampuan daur ulang kertas dilakukan menggunakan disintegrator dengan kecepatan blade 2970 rpm pada contoh KKG bekas A dan Z. Perlakuan awal dilakukan tanpa perendaman dan dengan perendaman dalam air selama 24 jam. Proses perendaman dimaksudkan untuk menguraikan serat dan agar terjadi *swelling*, proses ini biasa dilakukan untuk penyediaan lembaran kertas. Hipotesanya adalah proses perendaman menyebabkan *recyclability* lebih sukar diamati.

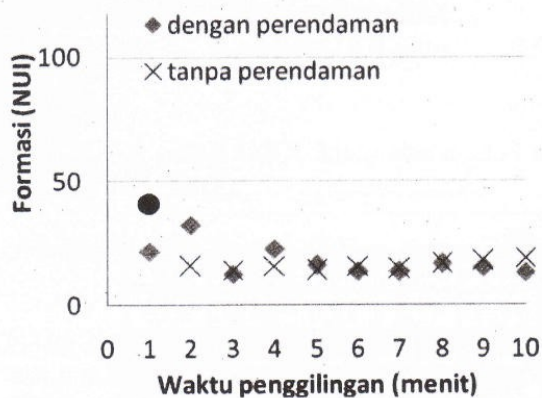
KKG Bekas A



Gambar 3. Perbandingan Proses Perlakuan Awal dengan Perendaman dan Tanpa Perendaman untuk KKG Bekas A.

Proses perendaman menurunkan kemiringan kurva curam dari -24,8 menjadi -22,6 dan menghasilkan garis datar dengan nilai formasi yang lebih tinggi. Perlakuan awal tanpa perendaman memberikan hasil analisa yang lebih signifikan untuk pengukuran kemampuan daur ulang kertas dibandingkan perlakuan awal dengan perendaman untuk KKG bekas dengan performance yang baik.

KKG Bekas Z



Gambar 4. Perbandingan Proses Perlakuan Awal dengan Perendaman dan Tanpa Perendaman untuk KKG Bekas Z.

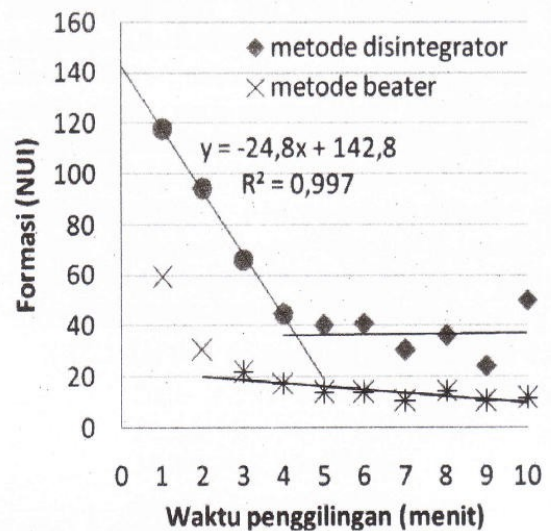
Perlakuan awal dengan perendaman menyebabkan tidak ada titik yang keluar dari garis datar sehingga kemampuan daur ulang tidak teramati. Berdasarkan pengamatan pada contoh

KKG bekas dengan kinerja yang baik dan buruk, perlakuan awal tanpa perendaman memberikan hasil pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang lebih signifikan dibandingkan perlakuan awal dengan perendaman selama 24 jam dalam air. Atas dasar tersebut maka pada pengukuran selanjutnya dilakukan dengan perlakuan awal tanpa perendaman.

Hasil Pengembangan Proses Pendispersian Kembali Kertas Bekas dengan Disintegrator dan Beater Tanpa Beban.

Perbandingan metoda penguraian dengan disintegrator dan beater pada contoh KKG bekas A dan Z.

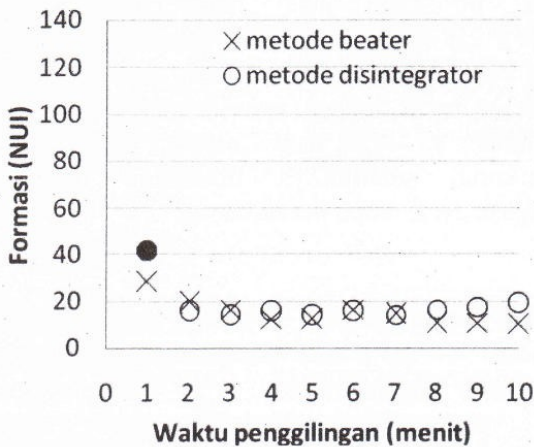
KKG Bekas A



Gambar 5. Perbandingan Metoda Penguraian untuk KKG Bekas A.

Penguraian dengan disintegrator menghasilkan kurva curam yang lebih signifikan dibandingkan dengan penguraian menggunakan beater. Penguraian metoda beater menghasilkan data yang keluar dari garis datar hanya sampai menit ke-2. Dengan demikian, kemampuan daur ulang kertas lebih sulit diamati jika penguraian menggunakan beater

KKG bekas Z.



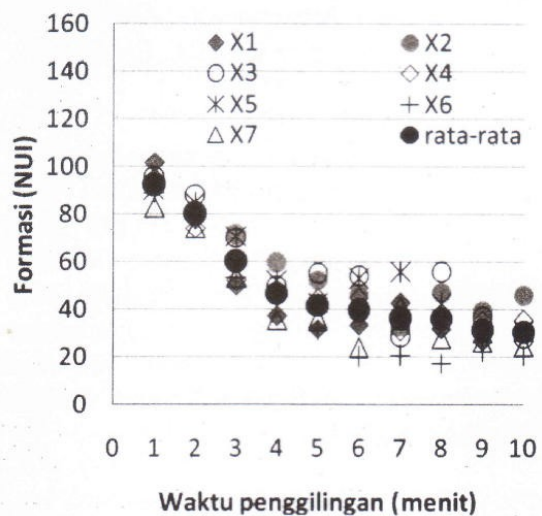
Gambar 6. Perbandingan Metoda Penguraian untuk KKG Bekas Z.

Untuk KKG bekas Z, penguraian metoda *disintegrator* menghasilkan satu titik yang keluar dari garis datar sedangkan penguraian metoda *beater* tidak ada titik yang keluar dari garis datar setelah diuji secara statistika dengan uji Dixon. Jadi pada metoda *beater* tidak teramati adanya kemampuan daur ulang KKG bekas Z atau jika menggunakan metoda *beater*, KKG bekas Z dinyatakan tidak dapat didaur ulang lagi (*unrecyclable*), padahal pada kenyataannya kertas bekas tersebut masih memiliki *recycleability* karena nilai derajat giling awalnya adalah sebesar 360 mL CSF (masih diatas target penguraian 300 mL CSF).

Hasil riset perbandingan metoda penguraian dengan disintegrator dan metoda *beater* pada KKG bekas A dan Z menunjukkan bahwa metoda disintegrator lebih baik untuk mengukur kemampuan daur ulang kertas dibandingkan metoda *beater*.

Verifikasi Metoda

Verifikasi metoda pengukuran daur ulang kertas dilakukan pada contoh KKG bekas A yang memiliki lebih dari 4 titik pada daerah curam sehingga dapat dibuat persamaan garis liniernya. Dari data pada Tabel 1, dibuat Grafik berikut ini:



Gambar 7. Verifikasi Metoda Pengukuran Kemampuan Daurlang Kertas pada KKG Bekas A.

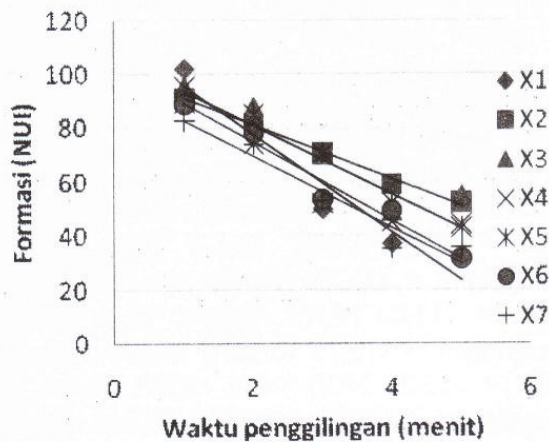
Tabel 1. Data Hubungan Formasi terhadap Waktu Penguraian untuk KKG Bekas A

Kode Contoh	Menit ke-									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1	101,9	77,8	50,0	37,2	32,0	33,4	42,8	32,6	26,9	30,7
X2	91,4	82,0	71,2	59,3	52,4	46,3	32,9	46,8	39,7	45,6
X3	95,6	87,9	70,2	49,33	54,9	53,9	28,2	55,5	37,4	27,9
X4	95,4	74,1	52,3	45,4	44,6	45,3	31,2	32,0	35,9	35,7
X5	89,9	85,3	70,8	52,5	43,0	52,7	55,6	42,3	30,0	30,7
X6	89,2	78,1	53,7	49,4	31,5	19,9	20,6	17,5	22,1	20,8
X7	82,7	74,1	53,2	35,4	36,0	23,8	41,0	27,8	26,3	24,3
rata-rata	92,3	79,9	60,2	46,9	42,1	39,3	36,0	36,4	31,2	30,8

Tabel 2. Hasil Plot Daerah Curam, Ditampilkan dengan Nilai Kemiringan, Koefisien Korelasi (R), dan *Residual Standard Deviation* (Rsd) untuk KKG Bekas A

Kode Contoh	Menit ke-					Kurva curam		
	1	2	3	4	5	Slope	r	rsd
X1	101,9	77,8	50,0	37,2	32,0	-18,0	0,94	8,6
X2	91,4	82,0	71,2	59,3	52,4	-10,1	0,99	1,4
X3	95,6	87,9	70,2	49,3	54,9	-10,5	0,89	7,7
X4	95,4	74,1	52,3	45,4	44,6	-13,0	0,88	8,9
X5	89,9	85,3	70,8	52,5	43,0	-12,7	0,97	4,0
X6	89,2	78,1	53,7	49,4	31,5	-14,4	0,97	4,7
X7	82,7	74,1	53,2	35,4	36,0	-13,2	0,93	6,5
				rata-rata		-13,1	0,94	6,0

Dari Gambar 7 terlihat bahwa daerah curam terjadi dari menit ke -1 sampai menit ke-5, hasil plot persamaan garis liniernya ditampilkan pada Grafik 8 dan Tabel 2.



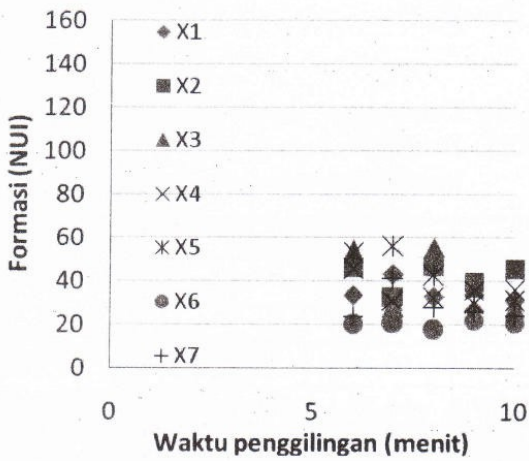
Gambar 8. Plot Daerah Curam Kurva Ulangan 1 (X1) sampai Ulangan 7 (X7).

Dari hasil tujuh kali pengulangan pengukuran kemampuan daur ulang kertas KKG bekas A terlihat adanya variasi kemiringan yang cukup besar, hal ini menunjukkan bahwa faktor penentu formasi bukan hanya waktu penguraian. Walaupun demikian, faktor penentu yang lain tersebut bisa diabaikan jika memperhatikan nilai

koefisien korelasi yang seluruhnya signifikan (pada Tabel 2 terlihat nilai r berkisar antara 0.88 sampai 0.99) jika diuji dengan uji koefisien korelasi Pearson (Untuk DF $n-1 = 3$, r Tabel dengan tingkat kepercayaan 95% adalah 0.878). Besar kesalahan nilai y pengamatan dengan y persamaan atau *residual standard deviation* (rsd) rata-rata adalah 6.0, artinya besar kesalahan pengamatan nilai formasi di daerah kurva curam adalah sebesar ± 6.0 satuan NUI.

Tabel 3 , Data Nilai Formasi pada Waktu Penguraian Menit Ke - 6 sampai Ke - 10 untuk KKG Bekas

Kode Contoh						rata-rata
	6	7	8	9	10	
X1	33,4	42,8	32,6	26,9	30,7	33,3
X2	46,3	32,9	46,8	39,7	45,6	42,3
X3	53,9	28,2	55,5	37,4	27,9	40,6
X4	45,3	31,2	32,0	35,9	35,7	36,0
X5	52,7	55,6	42,3	30,0	30,7	42,3
X6	19,9	20,6	17,5	22,1	20,8	20,2
X7	23,8	41,0	27,8	26,3	24,3	28,6
					rata-rata	34,7
					standar deviasi	8,17

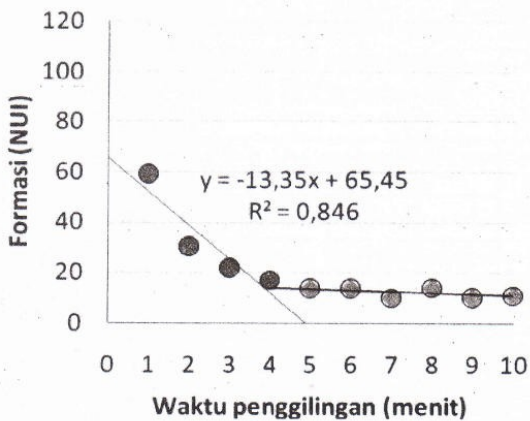


Gambar 9. Plot Daerah Datar Kurva Ulangan 1 (X1) sampai Ulangan 7 (X7).

Nilai formasi pada waktu penguraian menit ke-6 sampai ke-10 untuk setiap ulangan telah diuji menggunakan uji Dixon dan tidak ada satupun data yang harus dibuang, artinya data pada daerah datar tersebut masih memenuhi syarat untuk dinyatakan sebagai tidak ada lagi perubahan ekstrim pada tingkat kepercayaan 95%.

Penerapan Metoda Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas pada Contoh *Sorted White Ledger* (SWL)

Metoda pengukuran kemampuan daur ulang kertas yang telah diverifikasi untuk KKG bekas, dicoba untuk kertas bekas jenis *sorted white ledger*.

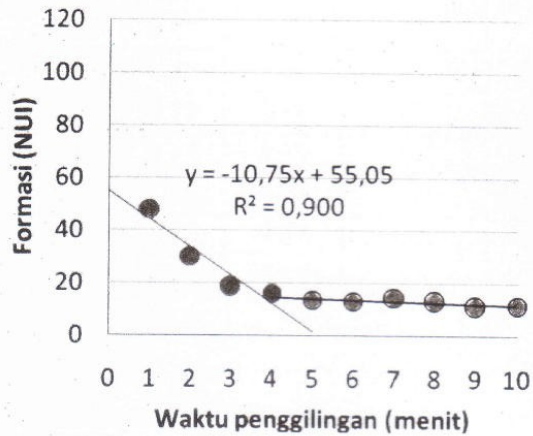


Gambar 10. Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas *Sorted*

Dari Gambar 10 terlihat bahwa contoh kertas bekas jenis *sorted white ledger* yang diukur tergolong pada kategori dapat didaur ulang kembali atau *recyclable* karena menunjukkan adanya daerah curam di awal waktu penguraian.

Penerapan Metoda Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas pada Contoh Karton Salut Bekas.

Selain contoh KKG bekas dan *sorted white ledger*, pengukuran kemampuan daur ulang kertas juga dicoba untuk karton salut bekas.



Gambar 11. Pengukuran Kemampuan Daur Ulang Kertas Karton Salut Bekas.

Contoh karton salut bekas yang diukur tergolong dalam kategori *recyclable*. Dengan mengamati kemiringan daerah curam kurva dan nilai formasi pada daerah datar kurva maka dapat dibandingkan kualitas kertas bekas yang diukur secara berurutan dari kualitas yang baik ke yang buruk sebagai berikut KKG bekas A (kemiringan = -24,8 formasi rata-rata daerah datar = 38,1 NUI), *sorted white ledger* (kemiringan = -13,35 formasi rata-rata daerah datar = 13,0 NUI), karton salut bekas (kemiringan = -10,75 formasi rata-rata daerah datar = 13,3 NUI), dan KKG bekas Z (kemiringan = -7,77 formasi rata-rata daerah datar = 16,1 NUI).

KESIMPULAN

- Kriteria kemampuan daur ulang kertas ditetapkan sebagai kemampuan kertas untuk didispersikan kembali dalam air.
- Pengembangan metoda dititikberatkan pada proses pengamatan pendispersian kembali kertas dan kertas bekas dalam air sebagaifungsi formasi kertas terhadap waktu penguraian beserta interpretasi datanya yang dilakukan dengan bantuan uji Dixon.

- Proses perlakuan awal tanpa perendaman lebih baik daripada perlakuan awal dengan perendaman.
- Proses pendispersian kembali kertas bekas dengan disintegrator lebih baik daripada dengan *beater* tanpa beban.
- Kertas bekas termasuk kategori *recyclable* jika masih menunjukkan adanya daerah curam di awal waktu penguraian dan *unrecycleable* jika tidak ada.
- Hasil verifikasi metoda menunjukkan bahwa metoda ini memiliki *residual standard deviation* (rsd) sebesar 6.0.
- Kualitas kertas dan kertas bekas dapat diamati pada dua faktor, yaitu kemiringan daerah curam kurva dan nilai formasi daerah datar kurva. Kualitas kertas yang baik akan memiliki kemiringan daerah curam dan nilai formasi daerah datar kurva yang lebih tinggi jika dibandingkan kertas bekas dengan kualitas yang buruk.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS, 1989. *Statistik Indonesia*. Biro Pusat Statistik. Jakarta.
- FEFCO, 2006. *European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies*. Groupment Ondulé. European Containerboard Organisation. Belgia.
- FBA (Fibre Box Association), 2007. *Voluntary Standard For Repulping and Recycling Corrugated Fiberboard Treated to Improve Its Performance in the Presence of Water and Water Vapor* (Revisi). Rolling Meadows.
- Hube *et al.*, 2007. "How fibers change in use, recycling," *BioResources* 2(4), 739-788.
- Hess *et al.*, 2001. "Recyclability of mixed office waste papers containing pressure sensitive adhesives and silicone release liners." *TAPPI 2001 Pulping Conference*.
- Houtman, C., K. Scallon and R. Oldack. 2008. Validation of Laboratory-Scale Recycling Test Method of Paper PSA Label Products. *Progress in Paper Recycling* 17(2), 26-31.
- Kubota, M. and K. Takae. 1998. Method for determining recyclability of waste paper. *Proceedings of the Pulp and Paper Research Conference*. Jpn Tech Assoc Pulp Paper Ind, Tokyo, Japan.
- RCChem Learning Centre. 2007. *Pengolahan Data Hasil Validasi Metode Analisis Kimia*. LIPI. Bandung.
- Richard Kling . Contract Research of Repulpability Studies. Tersedia dalam http://www.expandingpaper.com/miami_re_pulp_study.htm