MODIFIKASI PERMUKAAN SERAT LBKP DAN HASIL *DEINKING* DENGAN KARBOKSIMETIL SELULOSA

Sonny Kurnia Wirawan *, Nina Elyani, Jenni Rismijana
Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot 132 Bandung
* sonny_bbpk@yahoo.co.id

Diterima : 06 Nopember 2012, Revisi akhir : 21 Desember 2012

MODIFICATION OF LBKP AND DEINKED PULP FIBER BY USING CARBOXYMETHYL CELLULOSE

ABSTRACT

The strength properties of paper are strongly affected by fiber quality. The objective of this study was to assess the effect of modification fiber by carboxymethylation of leaf bleached kraft pulp (LBKP) and deinked pulp (DIP) by using carboxymethyl cellulose (CMC). Carboxymethylation was carried out by addition of various concentration of CMC and cationic agent of CaCl_2 . Handsheets with 70 gsm were made from the stock, and the physical properties were tested as the tensile index, stretch, tensile energy absorption (TEA), tearing index, and bursting index as well as SEM analysis. The results showed that the highest increase of fiber strength of LBKP and DIP was achieved by addition of 1% CMC and 9.19% CaCl_2 . For LBKP, the increasing of tensile index was 18.1%, stretch 27%, TEA 30.2%, tear index 7,8 % and burst index 16,7%. Whereas for DIP, the increasing of tensile index reached 29.9%, stretch 22.2%, TEA 61.2%, tear index 20.7% and burst index 63.1%. From the results of SEM analysis showed that the addition of CMC and CaCl_2 increased fiber bonding.

Keywords: CMC, LBKP, DIP

ABSTRAK

Sifat kekuatan kertas sangat dipengaruhi oleh kualitas serat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh modifikasi serat kraft putih kayu daun (LBKP) dan serat hasil deinking (DIP) dengan karboksimetilasi menggunakan karboksimetil selulosa (CMC). Modifikasi secara karboksimetilasi dilakukan dengan variasi penambahan CMC dan sebagai *cationic agent* CaCl_2 . Lembaran dibuat dari stok dengan gramatur 70 gsm, kemudian dilakukan pengujian fisik dengan parameter indeks tarik, regang, TEA, indeks sobek dan indeks retak. Selain itu lembaran juga diuji morfologi dan SEM. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekuatan lembaran tertinggi dicapai oleh LBKP maupun DIP, pada kondisi penambahan 1% CMC and 9.19% CaCl_2 . Untuk LBKP peningkatan indeks tarik adalah 18,1%, regang 27%, TEA 30,2%, indeks sobek 7,8 % dan indeks retak 16,7%. Sedangkan untuk DIP, peningkatan indeks tarik mencapai 29,9%, regang 22,2%, TEA 61,2%, indeks sobek 20,7% dan indeks retak 63,1%. Hasil analisa SEM menunjukkan bahwa dengan penambahan CMC dan CaCl_2 , mengakibatkan terjadi peningkatan ikatan antar serat.

Kata kunci: CMC, LBKP, DIP

PENDAHULUAN

Kebutuhan kertas dewasa ini terus meningkat, seiring dengan peningkatan ekonomi dan daya beli masyarakat. Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber serat LBKP yang melimpah. Selain itu menurut Holik (2006) Indonesia

juga merupakan negara terbesar ketiga, yang menggunakan serat daur ulang seperti DIP sebagai sumber bahan baku kertas. Akan tetapi hingga saat ini untuk meningkatkan kekuatan kertas yang dihasilkan, Indonesia masih mengimpor serat panjang yang berasal dari pulp kayu jarum seperti *Needle Bleached Kraft*

Pulp (NBKP). Dengan demikian penelitian mengenai modifikasi serat LBKP dan DIP untuk meningkatkan kekuatan lembaran kertas, sangat diperlukan untuk mengurangi ketergantungan import Indonesia terhadap NBKP.

Sifat fisik yang terdapat pada lembaran kertas merupakan hasil interaksi dari fleksibilitas, kekuatan ikatan dan kekuatan serat yang berada dalam lembaran tersebut. Pengujian sifat fisik kertas yang umum dilakukan adalah ketahanan tarik, ketahanan retak, ketahanan sobek, porositas dan kelicinan. Secara umum sifat fisik suatu lembaran kertas dipengaruhi oleh morfologi serat (panjang dan diameter serat), jumlah ikatan serat, kekuatan dari ikatan serat, gramatur atau berat serat dan kadar air. Interaksi antara serat dengan serat maupun serat dengan aditif merupakan faktor utama yang mempengaruhi sifat fisik suatu lembaran kertas. Selama ini untuk mendapatkan kekuatan melalui ikatan antar serat maupun ikatan serat-aditif diperoleh melalui proses refining bahan baku dan penambahan aditif *wet-end*

Muatan gugus hidroksil serat memegang peranan yang sangat penting pada sifat kertas, sama halnya dengan sifat serat dalam proses pembuatan kertas. Muatan serat akan berpengaruh terhadap *swelling* dan fleksibilitas serat atau mempengaruhi ikatan serat atau kekuatan ikatan spesifik.

Saat ini menurut Arndt dan Zelm (2008) cara umum yang digunakan untuk meningkatkan jumlah muatan gugus hidroksil serat adalah sulfonasi, oksidasi dan karboksimetilasi.

Karboksimetilasi merupakan suatu metode untuk meningkatkan gugus hidroksil dan *swelling* pada serat, yang berdampak pada peningkatan kekuatan kertas. Proses karboksimetilasi serat menunjukkan akan terjadinya peningkatan kekuatan ikatan spesifik antar serat, akan tetapi menurut Fors, C. (2000) proses ini memiliki kekurangan bahwa pada serat yang telah mengalami proses *swelling* akan cenderung lebih sulit untuk proses penghilangan air atau *dewatering*.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Liimatainen dkk. (2009), Duker dan Lindström (2008), dan Blomstedt (2007), namun metode yang digunakan masih menggunakan sumber serat NBKP, dan dilakukan pada temperatur tinggi, hal ini akan menghambat penerapan pada skala industri karena kenaikan temperatur akan meningkatkan biaya produksi kertas. Sehingga dikembangkan metode karboksimetilasi

menggunakan temperatur lebih rendah. Selain itu, pada penelitian sebelumnya pengaruh CMC terhadap peningkatan kekuatan kertas belum terlalu jelas digambarkan secara eksplisit, sehingga dilakukan analisis SEM untuk mengetahui pengaruh penambahan CMC terhadap perubahan struktur serat.

Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh karboksimetilasi permukaan serat LBKP dan DIP menggunakan CMC dan CaCl_2 terhadap kekuatan lembaran kertas yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan terdiri dari LBKP, kertas koran bekas (ONP) import. Untuk proses *deinking* digunakan NaOH, natrium silikat, H_2O_2 , dan EDTA, sedangkan untuk proses karboksimetilasi digunakan CMC dan CaCl_2 .

Metode

Pembuatan Lembaran LBKP

Pulp LBKP digiling hingga mencapai derajat giling 300 mL Canadian Standard Freeness (CSF) pada konsistensi 1,5%, kemudian ditambahkan CaCl_2 sesuai dengan Tabel 1, stok pulp dipanaskan hingga mencapai temperatur 50-55°C kemudian ditambahkan CMC dengan derajat substitusi (DS) 0,52 sesuai dengan variasi yang tertera pada Tabel 1, diaduk hingga homogen dan dibuat lembaran tangan dengan gramatur 70 g/m².

Tabel 1. Variasi Komposisi Lembaran Pulp LBKP

No	Kode	CaCl_2 (%)	CMC (%)
1	S-1	-	-
2	S-2	0,496	-
3	S-3	0,496	1
4	S-4	9,190	1

Pembuatan Lembaran DIP

Sumber DIP yang digunakan pada penelitian ini berasal dari kertas koran bekas impor dengan kondisi *deinking* sebagai berikut: 1 kg serat kering oven ditambahkan NaOH 1%, natrium silikat 2,5%, H_2O_2 1%, dan EDTA 0,5%. Kemudian

ditambahkan air pada hidropulper sebanyak 23.841 mL dan dipanaskan pada temperatur 50°C. Setelah itu dilakukan proses flotasi selama 15 menit, dan dicuci sampai netral.

DIP diencerkan hingga konsistensi 1,5%, kemudian ditambahkan CaCl_2 dengan variasi penambahan sesuai dengan Tabel 2, *stock* dipanaskan hingga mencapai temperatur 50-55°C, lalu ditambahkan CMC (DS = 0,52) dengan variasi konsentrasi sesuai Tabel 2. Kemudian dibuat lembaran tangan dengan gramatur 70 g/m².

Tabel 2. Komposisi Lembaran *Deinked Pulp* (DIP)

No	Kode	CaCl_2 (%)	CMC (%)
1	S-5	-	-
2	S-6	0,496	-
3	S-7	0,496	1
4	S-8	9,19	1

Analisis Sifat Fisik Lembaran

Lembaran uji dikondisikan sesuai dengan standar SNI tentang kondisi ruang penyimpanan contoh pada temperatur $23 \pm 1^\circ\text{C}$ dan kelembaban

udara (RH) $50 \pm 2\%$. Kemudian dilakukan pengujian sifat fisik dengan parameter indeks tarik, regang dan TEA menggunakan alat uji tarik merk TMI, model 84-21-01-00002. Ketahanan sobek menggunakan alat uji sobek Elmendorf merk TMI, model 83-11-01-0002. Kemudian ketahanan retak menggunakan alat uji retak L & W, tipe 11-2. Metode pengujian dilakukan seperti pada Tabel 3. Untuk mengetahui pengaruh CMC dan CaCl_2 terhadap *fines* dilakukan pengujian morfologis menggunakan *fiber tester* L&W.

Sifat Fisik Lembaran

Pada penelitian ini kondisi modifikasi serat dengan CMC dilakukan pada temperatur 50°- 55°C, hal ini berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Blomstedt (2007) dan Laine dkk. (2003) dimana proses modifikasi serat dilakukan pada temperatur 120°C dan temperatur 60° C. Kondisi ini dilakukan karena pada industri kertas penggunaan temperatur erat kaitannya dengan peningkatan konsumsi kukus (*steam*) yang pada akhirnya akan meningkatkan biaya produksi. Hasil pengujian sifat fisik, untuk pulp LBKP dan DIP terlihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Parameter Uji Lembaran

No	Parameter	Metode Uji
1	Ketahanan sobek	SNI 0436:2009, Kertas - Cara uji ketahanan sobek - (Metode Elmendorf)
2	Ketahanan tarik, regang, dan TEA	SNI ISO 1924-2:2010, Kertas dan karton - Cara uji sifat tarik - Bagian 2:Metode kecepatan elongasi tetap
3	Ketahanan retak	SNI ISO 2758:2011, Kertas - Cara uji ketahanan retak .
4	Klasifikasi dan morfologi	ISO 16065-2:2007, Pulps – <i>Determination of fibre length by automated optical analysis – Part 2: Unpolarized light method</i>

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Lembaran

Jenis pulp	Kode	Gramatur (g/m ²)	Indeks tarik (Nm/g)	Regang (%)	TEA (kgfm/m ²)	Indeks sobek (mNm ² /g)	Indeks retak (kN/g)
LBKP	S-1	84,3	39,56	2,00	4,21	7,90	2,21
	S-2	78,4	42,63	2,25	4,84	8,07	2,39
	S-3	76,2	40,98	2,43	4,96	8,35	2,49
	S-4	72,8	46,73	2,54	5,48	8,52	2,58
DIP	S-5	66,0	22,63	2,03	2,09	7,83	1,11
	S-6	75,4	23,41	2,05	2,08	8,57	1,62
	S-7	71,2	28,49	2,40	3,21	8,59	1,77
	S-8	74,8	29,39	2,48	3,37	9,45	1,81

Gambar 1. Diagram Alir Percobaan

Pada S-2 (LBKP, CaCl_2 0,496%) dan S-6 (DIP, CaCl_2 0,496%) terjadi peningkatan kekuatan dibandingkan dengan blanko (S-1 dan S-5) kemungkinan dikarenakan CaCl_2 yang bertindak sebagai *cationic agent* yang akan menurunkan muatan zeta potensial stok, sehingga akan mengurangi gaya tolak-menolak antar serat yang pada akhirnya dapat meningkatkan kekuatan lembaran. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Liimatainen et al. 2009) yang menunjukkan bahwa pada proses karboksimetilasi menggunakan CMC (DS = 0,52) keberadaan CaCl_2 sebagai elektrolit dapat meningkatkan penyerapan CMC terhadap permukaan serat, yang diakibatkan karena pengaruh elektrolit yang akan mengurangi gaya tolak-menolak anionik antara serat – CMC

Indeks tarik merupakan nilai ketahanan tarik dibagi dengan gramatur, sedangkan ketahanan tarik adalah gaya tarik maksimum per satuan lebar yang menyebabkan kertas atau karton akan

bertahan sesaat sebelum putus dibawah kondisi yang dijelaskan dalam metoda uji standar (SNI ISO 1924-2.2010) Ketahanan tarik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti panjang serat, ikatan antar serat, tingkat penggilingan, jumlah dan jenis aditif, tahap pengempaan dan gramatur atau berat dasar lembaran. Panjang serat dapat mempengaruhi nilai ketahanan tarik, tetapi jumlah dan ikatan antar serat merupakan parameter yang penting untuk mengoptimasi sifat kekuatan tarik (Holik, 2006).

Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai indeks tarik dengan penambahan CaCl_2 dan CMC, baik untuk lembaran yang berasal dari pulp LBKP maupun dari DIP. Hal ini membuktikan bahwa penambahan CMC dapat meningkatkan ikatan serat sehingga dapat menaikkan nilai indeks tarik walaupun tidak dilakukan penambahan serat panjang. Hal ini sesuai dengan penelitian Duker E. dan Lindström, T. (2008) yang menyatakan bahwa penambahan CMC dapat meningkatkan ketahanan tarik

Gambar 2. Grafik Indeks Tarik Lembaran LBKP dan DIP pada Berbagai Variasi Penambahan CaCl_2 dan CMC

Gambar 3 . Grafik Daya Regang Lembaran LBKP dan DIP pada Berbagai Variasi Penambahan CaCl_2 dan CMC

lembaran dengan cara meningkatkan formasi dan jumlah ikatan antar serat.

Menurut Holik, (2006). hal yang mempengaruhi regang suatu lembaran adalah panjang serat, bahan pengisi, derajat giling, dan elastisitas atau fleksibilitas serat. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Blomstedt, Minna. 2007 dan Blomstedt, Minna. et all. 2007) menyatakan bahwa penambahan CMC akan meningkatkan plastisitas dan fleksibilitas serat, dan meningkatkan kemampuan serat tersebut untuk berikatan pada saat pembentukan lembaran, sehingga dapat meningkatkan kekuatan kertas. Dari gambar 3 diketahui nilai regang yang paling tinggi didapat oleh kode S-4 untuk lembaran yang berasal dari LBKP, dan S-8 yang berasal

dari DIP. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CaCl_2 dapat meningkatkan retensi CMC terhadap serat, sehingga kemampuan serat untuk berikatan lebih tinggi yang pada akhirnya dapat meningkatkan nilai regang lembaran.

Nilai TEA merupakan gabungan dari nilai tarik dan regang lembaran kertas. Gambar 4 menunjukkan dengan penambahan CaCl_2 dan CMC dapat meningkatkan nilai TEA, karena dengan penambahan kedua zat tersebut maka nilai regang lembaran juga akan meningkat. Nilai TEA yang paling tinggi diperoleh oleh S-4 untuk lembaran LBKP dan S-8 untuk lembaran DIP. Nilai ketahanan sobek dipengaruhi oleh panjang serat dan banyaknya jumlah ikatan serat yang terlibat pada saat penyobekan.

Gambar 4. Grafik TEA Lembaran LBKP dan DIP pada Berbagai Variasi Penambahan CaCl_2 dan CMC

Gambar 5. Grafik Indeks Sobek Lembaran LBKP dan DIP pada Berbagai Variasi Penambahan CaCl_2 dan CMC

Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan penambahan CaCl_2 dan CMC cenderung meningkatkan nilai ketahanan sobek, hal ini diduga karena dengan penambahan CMC dan CaCl_2 maka akan terbentuk ikatan antar serat yang lebih banyak sehingga dapat meningkatkan nilai ketahanan sobek lembaran.

Nilai ketahanan sobek tertinggi didapat pada contoh yang mengalami penambahan CaCl_2 9,19 % dan CMC 1 % baik itu pada lembaran yang berasal dari pulp LBKP maupun DIP. Untuk lembaran pulp LBKP kenaikan tertinggi mencapai 7,8% dibandingkan nilai ketahanan sobek blanko. Sedangkan untuk lembaran yang berasal dari pulp DIP kenaikan tertinggi mencapai 20,6 %. Seperti parameter kekuatan fisik lembaran yang

lain, hasil pengujian indeks retak pada Gambar 6 menunjukkan adanya peningkatan ketahanan retak setelah penambahan CMC dan CaCl_2 . Untuk lembaran pulp LBKP kenaikan tertinggi diperoleh oleh contoh kode S-4 dengan kenaikan sebesar 16,7 %. Sedangkan untuk lembaran yang berasal dari DIP, kenaikan terbesar didapat oleh kode S-8 dengan kenaikan sebesar 63,1 % dibandingkan dengan blanko (S-1 dan S-5).

Dari seluruh hasil penelitian terlihat bahwa kenaikan kekuatan lembaran tertinggi untuk seluruh parameter diperoleh dari lembaran yang berasal dari DIP, hal ini belum dapat dipastikan dengan jelas, tapi diperkirakan karena pada lembaran DIP telah mengalami penggilingan berulang kali, sehingga terjadi

Gambar 6. Grafik Indeks Retak Lembaran LBKP dan DIP pada Berbagai Variasi Penambahan CaCl_2 dan CMC

Tabel 5. Hasil Uji Morfologi Serat

Jenis pulp	Kode	Mean Length mm	Mean Width mm	Fines %
LBKP	S-1	0,839	22,6	11,5
	S-2	0,805	22,4	11,1
	S-3	0,801	22,4	11,0
	S-4	0,810	22,5	10,5
DIP	S-5	1,140	26,6	10,3
	S-6	1,182	26,6	9,6
	S-7	1,164	26,4	9,5
	S-8	1,169	26,5	9,4

penurunan kekuatan yang cukup besar, dengan proses karboksimetilasi dengan CMC ini, mengakibatkan peningkatan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lembaran yang berasal dari LBKP.

Hasil Uji Morfologi Serat

Fines berperan sebagai pengisi bagian-bagian kosong diantara serat-serat dalam pembentukan lembaran. Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa dengan penambahan CaCl_2 dan CMC mengakibatkan jumlah fines menurun baik untuk LBKP maupun DIP. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya Blomstedt, et al. (2007) yang diduga karena CMC menyebabkan fines terflokulasi sehingga menjadi fraksi serat yang lebih besar dan tidak terbaca sebagai fines.

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 dapat terlihat suatu hubungan bahwa dengan penambahan CMC dan CaCl_2 dapat meningkatkan sifat kekuatan lembaran tetapi hal ini juga menyebabkan berkurangnya jumlah fraksi *fines*, baik untuk serat LBKP maupun DIP.

Dari Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa penambahan CaCl_2 dan CMC menyebabkan terurainya gumpalan mikrofibril yang mengakibatkan sejumlah besar air dapat terikat pada mikrofibril eksternal sehingga terjadi pengembangan serat atau *swelling*. Fenomena ini sesuai dengan penelitian Blomstedt, (2007), yang berdampak positif terhadap kekuatan kertas, karena dengan semakin banyak terbentuk mikrofibril diduga jumlah ikatan antar serat juga akan meningkat sehingga menaikkan sifat kekuatan lembaran.

Gambar 7. Grafik Hubungan antara % Fines dengan Kekuatan Fisik Lembaran LBKP

Gambar 8. Grafik Hubungan antara % Fines dengan Kekuatan Fisik Lembaran DIP

Sedangkan hasil analisa SEM (Gambar 11) menunjukkan bahwa modifikasi permukaan serat dengan penambahan CaCl_2 dan CMC akan meningkatkan jumlah ikatan antar serat. Hal ini diduga diakibatkan karena fiber swelling yang dapat meningkatkan pembentukan mikrofibril dan ikatan antar serat. Proses modifikasi secara karboksimetilasi dengan penambahan CaCl_2 dan CMC terhadap serat LBKP maupun DIP

dapat meningkatkan nilai indeks tarik, regang, TEA, indeks sobek dan indeks retak lembaran. Berdasarkan hasil analisa mikroskop dan SEM, penambahan CaCl_2 dan CMC berakibat terjadinya peningkatan jumlah ikatan antar serat. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa peningkatan kekuatan pada pulp DIP lebih tinggi dibandingkan proses karboksimetilasi pada serat primer LBKP.

a) S-1 (LBKP Blanko)
Serat Belum *Swelling*

b) S-4 (LBKP, CaCl_2 9,19%, CMC 1%)
Serat Setelah *Swelling*

Gambar 9. Hasil Analisa Mikroskop Serat LBKP (a) Serat LBKP Blanko Sebelum Modifikasi (b) Serat LBKP Setelah Modifikasi dengan CMC pada Penambahan CaCl_2 9,19 % dan CMC 1%

a) S-5 (DIP Blanko)
Serat Belum *Swelling*

b) S-8 (DIP, CaCl_2 9,19%, CMC 1%)
Serat Setelah *Swelling*

Gambar 10. Hasil Analisa Mikroskop Serat DIP (a) Serat DIP Blanko Sebelum Modifikasi (b) Serat DIP Setelah Modifikasi dengan CMC pada Penambahan CaCl_2 9,19 % dan CMC 1%

a. Serat LBKP Blanko (S-1)

b. Serat LBKPS-4 (CaCl_2 9,19%, CMC 1%)

c. Serat DIP Blanko (S-5)

c. Serat DIP S-8 (CaCl_2 9,19%, CMC 1%)

Gambar 11. Hasil SEM (a) Serat LBKP Blanko/S-1 sebelum Modifikasi (b) Serat LBKP Setelah Modifikasi / S-4 (c) Serat DIP/S-5 Blanko Sebelum Modifikasi (d) Serat DIP Setelah Modifikasi/S-8

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya pada teknisi Litkayasa Dadang SA., Maman S., Cucu, Enung FM., yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arndt, T., Zelm, R. 2008. New nanotechnology-produced fibre compounds in papermaking applications—review and first own experiences. *Das Papier* 9,59–63.
- Saito, T. and Isogai, A. 2005. A novel method to improve wet strength of paper. *Tappi J.* 4(3): 3-8.
- Blomstedt, M. 2007. Modification of Cellulosic Fibers by Carboxymethyl Cellulose – Effects on Fiber and Sheet Properties. *Laboratory Of Forest Products Chemistry, Reports.* Helsinki. Espoo
- Blomstedt, M., Mitikka-Eklund, M., Vuorinen, T., 2007. Simplified modification of bleached softwood pulp with carboxymethyl cellulose. *Appita.* 60 (4): 309-314
- Duker E dan Lindström, T. 2008. On the Mechanism Behind the ability of CMC to enhance Paper Strength. *Nordic Pulp and Paper Research journal* Vol. 23 no.1.hal. 57-64
- Fors, C. 2000. *The effect of fibre charge on web consolidation in papermaking. Licentiate thesis*, Royal Institute of Technology, Department of Pulp and Paper Chemistry and Technology, Stockholm, Sweden
- Holick, H. 2006. *Handbook of Paper and Board.* Weinheim: Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Laine, J., Lindstrom, T., Bremberg, C., Glad-Nordmark, G. 2003. Studies on topochemical modification of cellulosic fibres part 4. Toposelectivity of carboxymethylation and its effects on the swelling of fibres. *Nordic Pulp and Paper Research journal* Vol. 18 no.3: 316 – 324
- Liimatainen, H., Haapala, A., Niinimäki, J., Haavisto, S., 2009. Adsorbed and Dissolves CMC on Fibre Suspension Dispersing, Dewaterability, and Fines Retention. *Bioresources* 4 (1): 321-340