

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

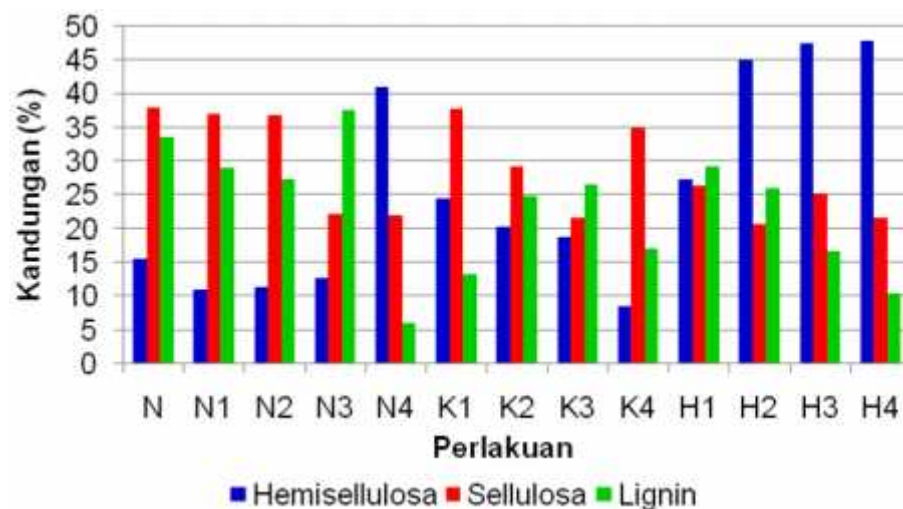
5.1.a Uji Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan lignin, sellulosa, dan hemisellulosa S2K, baik serat tanpa perlakuan maupun dengan perlakuan. Hasil uji komposisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1, dan Gambar 5.1.

Tabel 5.1 Kandungan Serat Sabut Kelapa

No.	Perlakuan	Kandungan (%berat)		
		Hemisellulosa	Sellulosa	Lignin
1	N	15,5	37,9	33,5
2	N1	11,0	37,0	29,0
3	N2	11,3	36,8	27,3
4	N3	12,7	22,2	37,5
5	N4	40,9	22,0	6,1
6	K1	24,5	37,7	13,2
7	K2	20,4	29,2	24,8
8	K3	18,7	21,6	26,6
9	K4	8,6	35,0	17,1
10	H1	27,4	26,4	29,2
11	H2	45,0	20,6	26,0
12	H3	47,5	25,3	16,6
13	H4	47,9	21,5	10,4

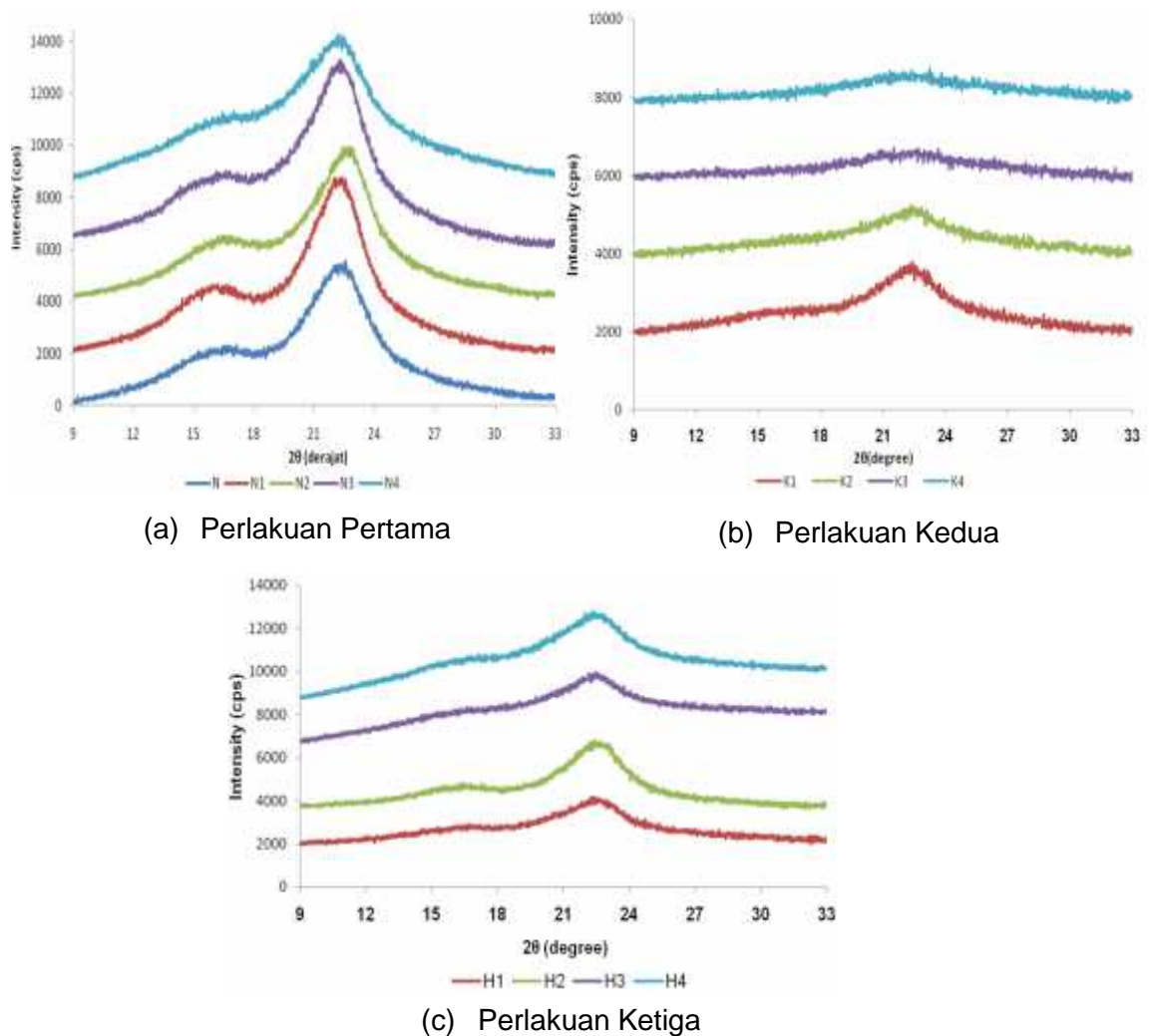
Sumber : Laboratorium Teknik Kimia PNUP



Gambar 5.1 Jumlah Kandungan Senyawa Serat Sabut Kelapa

5.1.b Uji Sinar X

Gambar 5.2 menunjukkan diagram hasil uji Sinar X atau *X-Ray Diffraction* (XRD). Gambar tersebut menunjukkan perbedaan kurva antara perlakuan pertama, perlakuan kedua, dan perlakuan ketiga. Gambar 5.2a menunjukkan kurva intensiti serat sabut kelapa tanpa dan dengan perlakuan NaOH, Gambar 5.2b menunjukkan kurva intensiti serat sabut kelapa dengan perlakuan KMnO_4 , dan 5.2c menunjukkan kurva intensiti serat sabut kelapa dengan perlakuan H_2O_2 .



Gambar 5.2 Profil Kurva Uji XRD

Berdasarkan rumus 2.10, maka nilai indeks kristalisasi serat tanpa perlakuan dan dengan perlakuan alkali dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai Indeks Kristalisasi

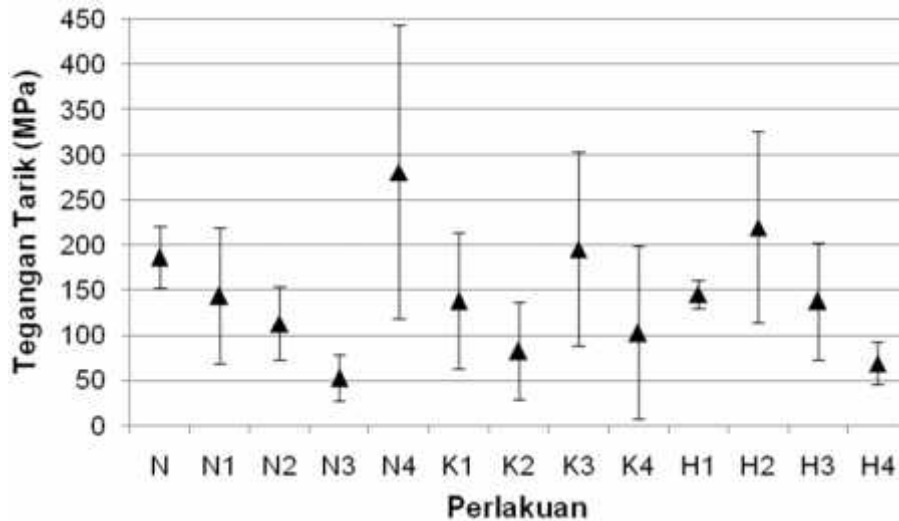
TREATMENT	$I_{(am)}$	$I_{(002)}$	I_c (%)
N	2.116,11	5.309,07	60,14
N1	2.540,86	6.745,58	62,33
N2	2.101,42	5.508,30	61,85
N3	2.713,79	7.019,27	61,34
N4	3.179,72	5.791,28	45,09

5.1.c Uji Tarik Serat Tunggal

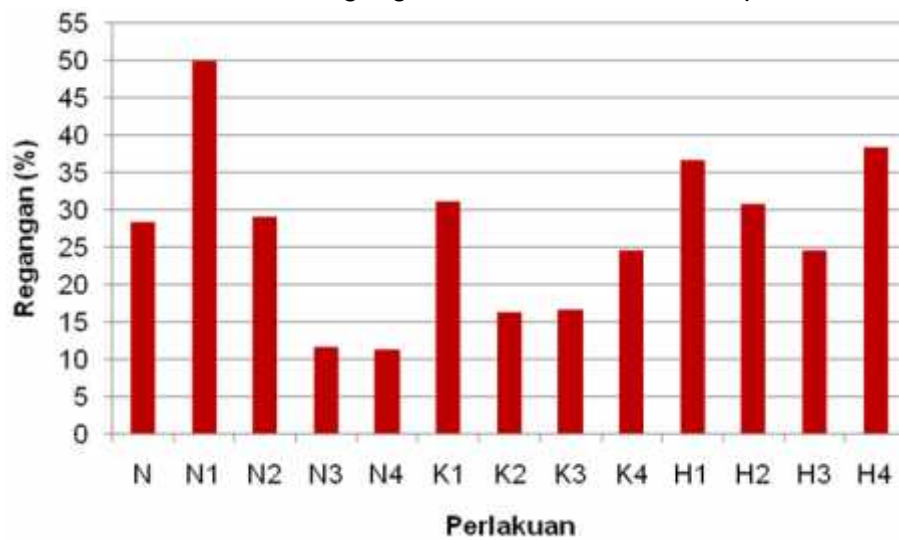
Uji tarik serat tunggal dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan kimia terhadap kekuatan tarik serat sabut kelapa. Tabel 5.3, dan Gambar 5.3 memperlihatkan hasil uji tarik yang dimaksud, sedangkan Gambar 5.4 memperlihatkan nilai regangan. Pada pengujian tarik serat tunggal diperoleh nilai beban tertinggi dan regangan hingga serat putus. Berdasarkan nilai beban tersebut dan rumus 2.1 maka diperoleh nilai tegangan tarik, dan regangan sebagaimana pada Tabel 5.3, Gambar 5.3, dan Gambar 5.4.

Tabel 5.3 Nilai Tegangan Tarik Rata-rata Serat Sabut Kelapa

No	Perlakuan	Kekuatan Tarik (N/mm^2)	Regangan (%)
1	N	186,42	28,33
2	N1	144,00	50,00
3	N2	113,09	29,17
4	N3	52,65	11,67
5	N4	280,94	11,25
6	K1	138,37	31,25
7	K2	82,70	16,25
8	K3	195,37	16,67
9	K4	102,87	24,58
10	H1	145,86	36,67
11	H2	219,69	30,83
12	H3	137,67	24,58
13	H4	69,22	38,33



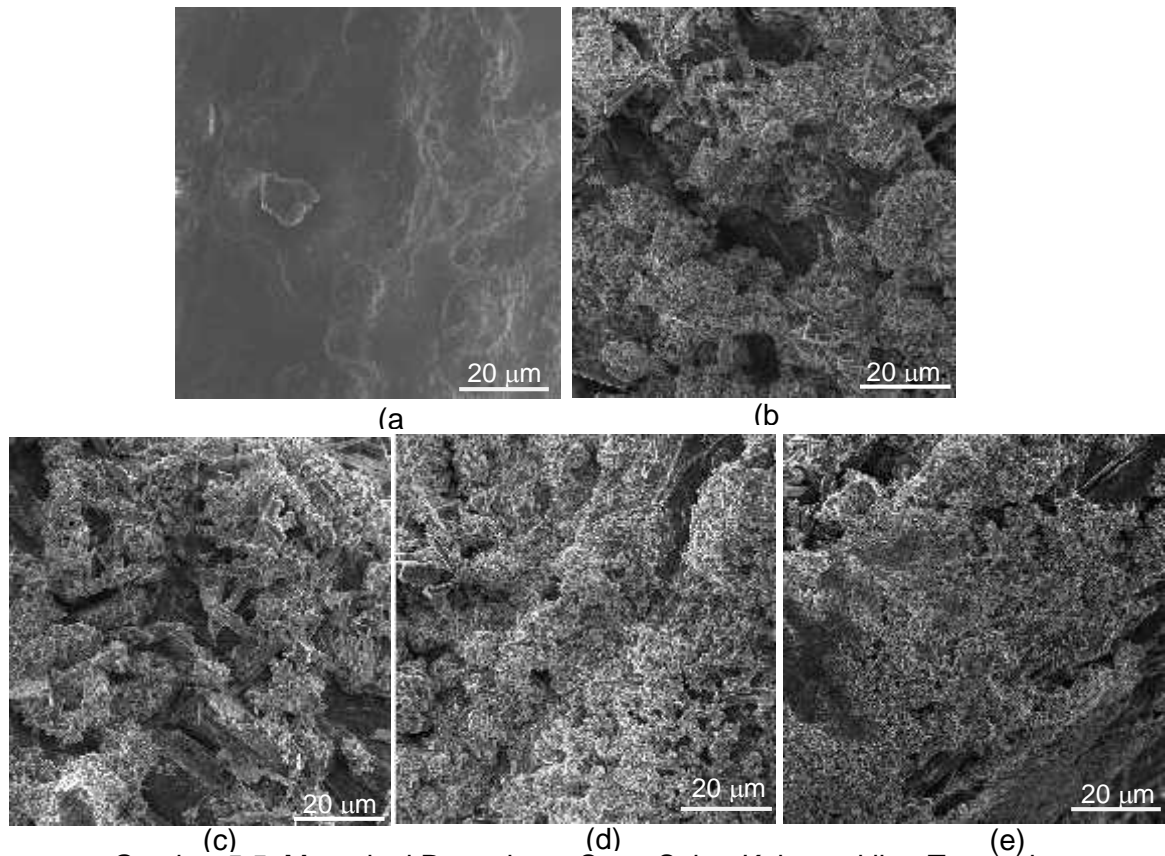
Gambar 5.3 Tegangan Tarik Serat Sabut Kelapa



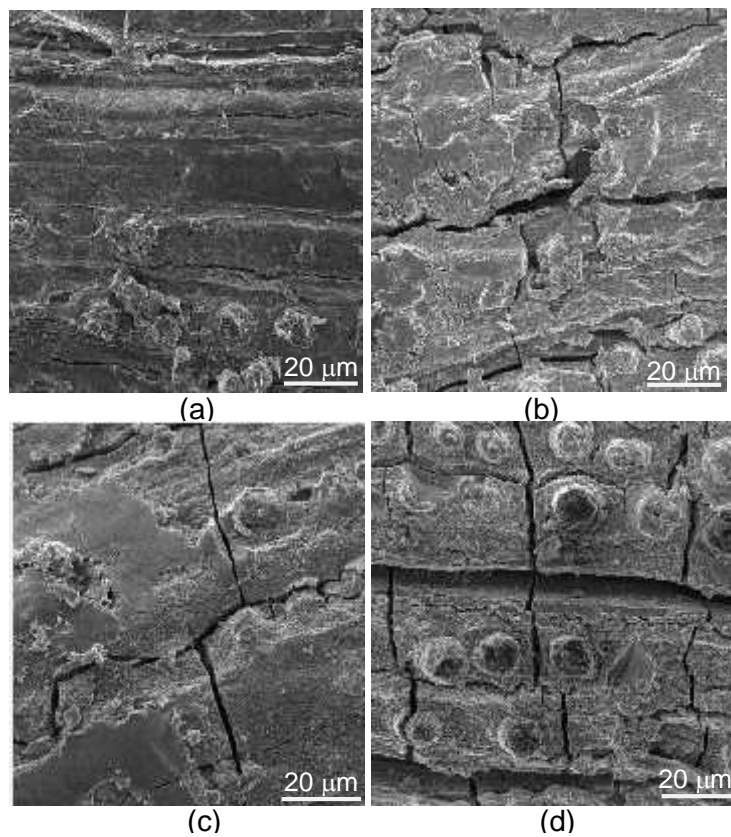
Gambar 5.4 Regangan Serat Sabut Kelapa

5.1.d Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

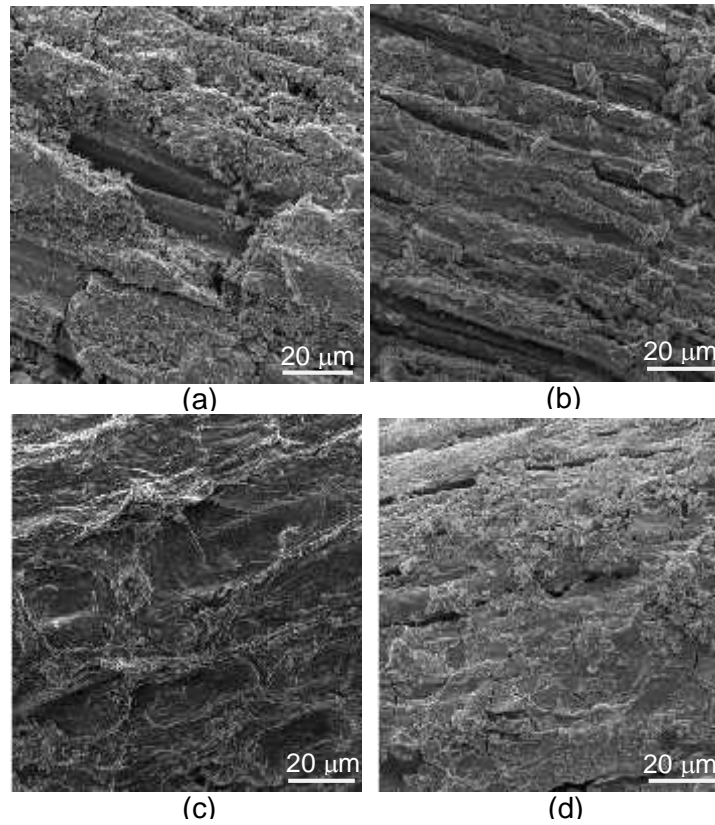
Uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan serat, dan untuk mengetahui bentuk perikatan antara serat dengan matriks, baik serat yang tidak diberi perlakuan maupun yang telah diberi perlakuan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.5, 5.6, dan 5.7. Gambar 5.5a memperlihatkan morfologi permukaan S2K yang tidak diberi perlakuan, sedangkan morfologi permukaan S2K yang telah diberi perlakuan diperlihatkan pada Gambar 5.5b-e untuk perlakuan pertama, Gambar 5.6a-d untuk perlakuan kedua, dan Gambar 5.7a-d untuk perlakuan ketiga.



Gambar 5.5. Morfologi Permukaan Serat Sabut Kelapa akibat Tanpa dan dengan Perlakuan Pertama (a) N, (b) N1, (c) N2, (d) N3, (e) N4



Gambar 5.6. Morfologi Permukaan Serat Sabut Kelapa akibat Perlakuan Kedua (a) K1, (b) K2, (c) K3, (d) K4

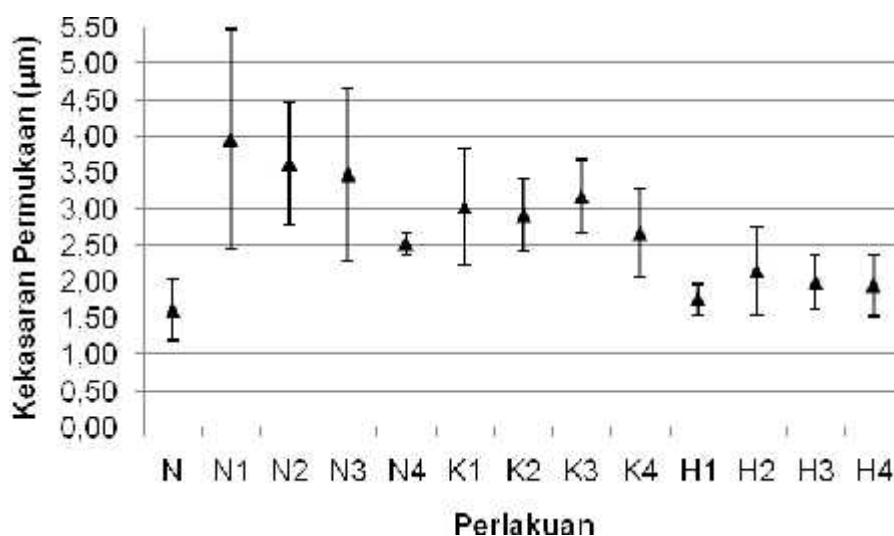


Gambar 5.7. Morfologi Permukaan Serat Sabut Kelapa akibat Perlakuan Ketiga
(a) H1, (b) H2, (c) H3, (d) H4

Tabel 5.4 memperlihatkan nilai kekasaran permukaan serat sabut kelapa hasil perlakuan kimia, yang diukur dengan alat ukur kekasaran permukaan Mitutoyo SJ.301 di Laboratorium Metrologi Universitas Brawijaya Malang.

Tabel 5.4 Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan S2K Hasil Perlakuan Kimia

No	Kode Perlakuan	Nilai Kekasaran
		μm
1	N	1,62
2	N1	3,96
3	N2	3,63
4	N3	3,48
5	N4	2,53
6	K1	3,03
7	K2	2,92
8	K3	3,17
9	K4	2,67
10	H1	1,76
11	H2	2,15
12	H3	2,00
13	H4	1,95



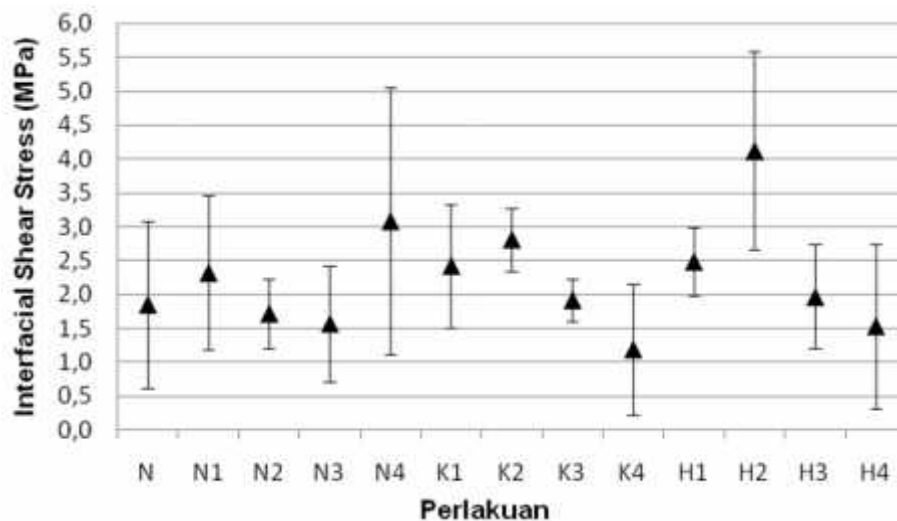
Gambar 5.8 Nilai Kekasaran Permukaan S2K Hasil Perlakuan Kimia

5.1.e Uji Single Fiber Pull Out (SFPO)

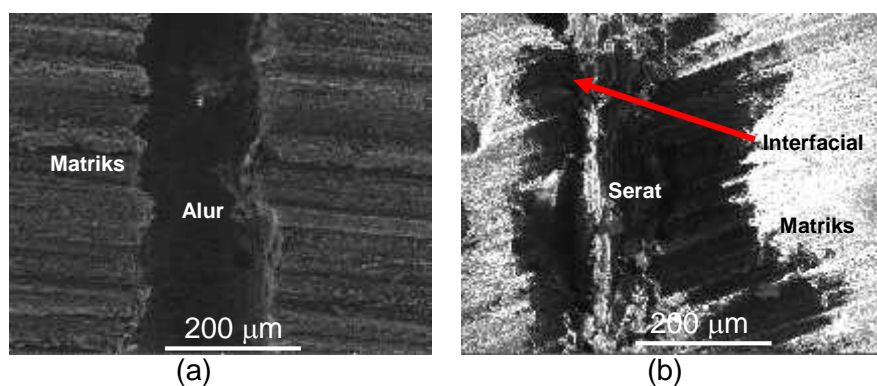
Pengujian SFPO dilakukan untuk mengetahui reaksi atau kemampuan perikatan antara serat dengan matriks. Pengujian ini dilakukan pada panjang serat tertanam dalam matriks yaitu 2 mm dengan kecepatan penarikan 1 mm/menit. Pada pengujian SFPO diperoleh nilai beban tarik maksimum yang diberikan pada serat hingga serat terlepas dari matriks. Berdasarkan nilai beban tarik tersebut dan rumus 2.5, maka diperoleh nilai tegangan geser atau *interfacial shear stress* (IFSS) sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 5.4, dan Gambar 5.8. Sedangkan bentuk reaksi atau perikatan antara serat dengan matriks dapat dilihat pada Gambar 5.9. Gambar 5.9a memperlihatkan alur pada matriks yang merupakan bekas tempat serat. Sedangkan Gambar 5.9b memperlihatkan reaksi perikatan antara serat dengan matriks. Jejak alur bekas serat yang ditinggalkan pada matriks sebagai efek gesekan antara serat dengan matriks dapat dilihat pada Gambar 5.10, sedangkan Gambar 5.11 memperlihatkan morfologi permukaan serat yang tercabut dari matriks sebagai efek pengujian SFPO.

Tabel 5.5 Nilai Tegangan Geser antara S2K dengan Matriks Poliester

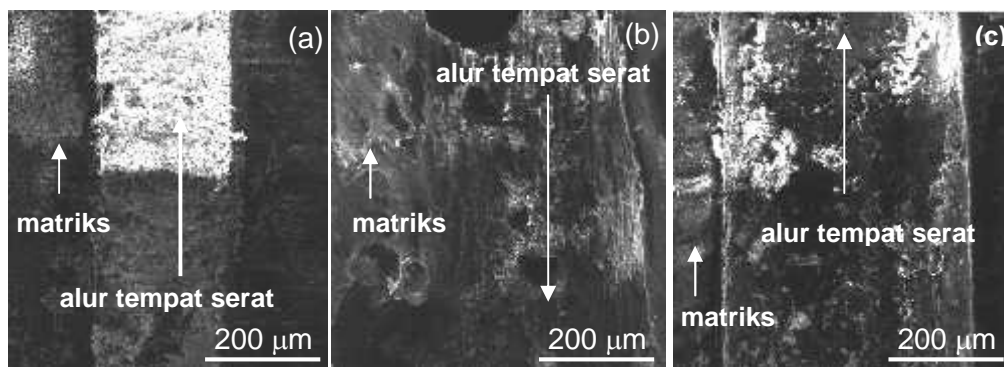
NO	Perlakuan	D	F	τ
		mm	N	N/mm ²
1	N	0,31	3,70	1,85
2	N1	0,39	5,43	2,32
3	N2	0,29	3,03	1,72
4	N3	0,33	3,40	1,57
5	N4	0,35	7,38	3,09
6	K1	0,30	4,85	2,42
7	K2	0,35	6,10	2,82
8	K3	0,29	3,40	1,92
9	K4	0,31	2,36	1,19
10	H1	0,29	4,40	2,49
11	H2	0,34	8,55	4,13
13	H4	0,26	2,83	1,53



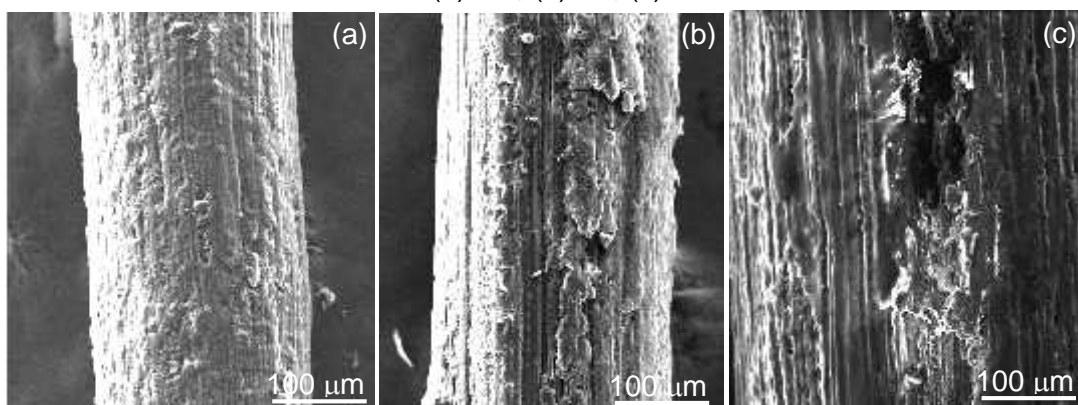
Gambar 5.9. Tegangan Geser antara S2K dengan Matriks Poliester



Gambar 5.10. Bentuk Alur dan Perikatan Serat Sabut Kelapa dengan Matriks Poliester



Gambar 5.11 SEM Alur Tempat Serat Pada Matriks Efek Uji SFPO
(a) N2, (b) K2, (c) H2



Gambar 5.12 SEM Serat yang Terlepas dari Matriks akibat SFPO
(a) N2, (b) K2, (c) H2

5.2 Pembahasan

5.2.1 Efek Perlakuan terhadap Morfologi Serat Sabut Kelapa

Tabel 5.1, dan Gambar 5.1 memperlihatkan hasil pengujian komposisi kandungan serat sabut kelapa. Pada perlakuan pertama yaitu perlakuan sodium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% ,dan 20% mengakibatkan kadar lignin, dan selulosa menurun dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan. Kandungan lignin S2K tanpa perlakuan 33,5% menjadi 6,1% akibat perlakuan 20% NaOH, sedangkan kandungan selulosanya 37,9% pada S2K tanpa perlakuan menjadi 22,0% pada perlakuan 20% NaOH. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan alkali maka kandungan lignin, dan selulosanya semakin rendah. Hal ini berarti alkali yang diberikan mampu menembus dan memutus ikatan lignin, dan ikatan selulosa. Selulosa

merupakan senyawa yang bersifat kristalin sedangkan lignin bersifat amor. Hal ini yang menyebabkan pada perlakuan N4 indeks kristalisasinya paling rendah yaitu 45,09% dibandingkan dengan perlakuan N1, N2, dan N3. Pada perlakuan pertama, khususnya pada perlakuan N4 kandungan selulosa dan lignin paling kecil yaitu berturut-turut 22,0 % dan 6,1%. Kandungan hemisellulosa juga mengalami penurunan dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan, meskipun relatif meningkat dari perlakuan N1 hingga N4, meskipun peningkatan tersebut masih dibawah dari nilai tanpa perlakuan kecuali pada perlakuan N4. Kandungan hemisellulosa berbanding lurus dengan konsentrasi larutan NaOH. Hemisellulosa merupakan senyawa yang mudah larut dalam alkali tapi sulit larut dalam asam. Sehingga pada perlakuan pertama dimana serat direndam dalam larutan sodium hidroksida yang merupakan larutan alkali menyebabkan kandungan hemisellulosanya berkurang dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan, kecuali pada perlakuan N4 (20% NaOH). Mohanty (2005) juga mengemukakan bahwa perlakuan alkali akan menurunkan kandungan selulosa yang terdapat dalam serat dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan, dan hal ini memperlihatkan bahwa meningkatnya konsentrasi larutan alkali menyebabkan kandungan selulosa menurun. Hal ini terjadi juga pada kandungan hemisellulosa yaitu kenaikan konsentrasi larutan alkali menyebabkan kandungan hemisellulosanya naik, meskipun nilainya kurang dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan. Khan (2012) mengemukakan bahwa perlakuan NaOH akan menurunkan kandungan hemisellulosa dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan.

Pada perlakuan kedua, serat direndam dalam larutan kalium permanganat ($KMnO_4$), kandungan hemisellulosa, dan selulosa relatif berkurang kecuali pada perlakuan K4 kandungan selulosanya meningkat menjadi 35,0%, sedangkan kandungan lignin relatif naik kecuali pada perlakuan K4 kandungan ligninnya menurun menjadi 17,1%. Sifat hemisellulosa yang hidrophilik dan suka

mengembang akan berkurang dengan meningkatnya konsentrasi KMnO_4 sehingga kandungan hemisellulosanya menurun hingga 8,6% pada perlakuan K4.

Pada perlakuan ketiga, serat direndam dalam larutan H_2O_2 yang bersifat asam. Karena hemisellulosa sukar larut dalam asam maka kandungan hemisellulosa meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi H_2O_2 sedangkan selulosa dan lignin merupakan senyawa yang terlarut dalam asam menyebabkan kandungan selulosa dan lignin relatif menurun dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan. Pada perlakuan H4 diperoleh kandungan selulosa sebanyak 21,5% jauh di bawah 37,9% serat tanpa perlakuan, lignin sebanyak 10,4% jauh di bawah 33,5% serat tanpa perlakuan.

Pada penelitian ini S2K yang telah diberi perlakuan NaOH , KMnO_4 , dan H_2O_2 setelah diangkat dari larutan-larutan tersebut, S2K tidak dicuci dengan aquades (umumnya dicuci dengan aquades) melainkan ditiriskan dan dikeringkan dalam temperatur ruang, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 90°C selama 5 jam. Hal ini menyebabkan terjadinya kristalisasi pada permukaan S2K. Efek ini juga terlihat pada morfologi permukaan S2K sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 5.5. Morfologi tersebut sangat berbeda dengan morfologi permukaan S2K yang diperlihatkan pada Gambar 2.33c, 2.34c, 2.36b, 2.37b, 2.38b, 2.39c,d, 2.40,c,d, 2.41c, dan 2.46b (setelah diberi perlakuan NaOH , serat dicuci dengan aquades), meskipun diantara gambar-gambar tersebut juga memperlihatkan perbedaan. Hal ini terjadi karena serat alam juga dipengaruhi oleh tempat dimana serat tersebut berasal (tempat tumbuhnya tanaman). Bila diperhatikan secara visual Gambar 5.5a yang merupakan morfologi permukaan S2K tanpa perlakuan sangat berbeda bila dibandingkan dengan Gambar 5.5b-e (S2K yang diberi perlakuan). Demikian pula bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, untuk serat sabut kelapa

tanpa perlakuan, memiliki bentuk permukaan yang berbeda, sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 2.33a, 2.34a, 2.35a, 2.36a, 2.37a, 2.38a, 2.39a, 2.40a, 2.41a, 2.42a, dan 2.46a. Pada Gambar 5.5a, memperlihatkan bahwa bentuk permukaannya tampak tidak rata dengan sedikit alur yang tidak merata. Pada Gambar 2.33a, pada permukaan serat terdapat butiran-butiran kecil seperti endapan. Pada Gambar 2.34a, permukaan serat tampak agak rata dengan sedikit endapa-endapan. Pada Gambar 2.36a, permukaan serat tampak agak rata dengan sedikit lapisan yang melekat pada permukaan serat. Pada Gambar 2.37a, permukaan serat tampak tidak rata dan adanya butiran-butiran, dan endapan lainnya. Pada Gambar 2.38a, permukaan serat tampak tidak rata dan diselimuti endapan-endapan yang berukuran kecil. Pada Gambar 2.39a, permukaan serat tampak tidak rata dengan alur-alur yang memanjang sesuai arah panjang serat. Pada Gambar 2.40a, permukaan serat tampak tidak rata dengan alur-alur yang memanjang searah dengan arah panjang serat. Pada Gambar 2.41a, permukaan serat juga tampak tidak rata dengan beberapa alur yang tidak teratur pada permukaan serat. Pada Gambar 2.46a, permukaan serat tampak tidak rata dengan beberapa alur dan endapan-endapan yang melekat pada permukaan serat. Perbedaan-perbedaan bentuk permukaan serat sabut kelapa tersebut terjadi karena tempat tumbuh dari pohon kelapa tersebut berbeda-beda pula, dimana kondisi tanah tempat tumbuhnya pohon kelapa sangat mempengaruhi jumlah kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang terdapat pada serat alam, termasuk serat sabut kelapa (Mohanty, 2005), seperti pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Gambar 5.5b merupakan morfologi permukaan serat sabut kelapa yang telah diberi perlakuan NaOH 5% memperlihatkan bahwa bentuk permukaannya tidak rata dan dapat dikatakan agak kasar dibandingkan dengan Gambar 5.5a. Kekasaran permukaan tersebut ditandai dengan adanya butiran-butiran atau

gumpalan-gumpalan pada permukaan serat meskipun butiran-butiran tersebut lebih besar bila dibandingkan dengan Gambar 5.5c, 5.5d, dan Gambar 5.5e. Butiran-butiran tersebut merupakan endapan sodium yang mengkristal akibat pengeringan pada suhu 90°C selama 5 jam. Sedangkan endapan sodium yang terdapat pada permukaan serat disebabkan setelah serat direndam NaOH, serat tidak dicuci dengan aquades melainkan hanya ditiriskan kemudian dikeringkan dalam oven. Demikian pula pada penelitian sebelumnya pada perlakuan NaOH 5% yang ditunjukkan pada Gambar 2.33c, 2.34c, 2.37b, 2.39c, 2.40c, juga memberikan bentuk permukaan yang berbeda dengan Gambar 5.5b. Salah satu penyebab perbedaan tersebut ialah permukaan serat yang diperlihatkan pada Gambar 2.33c, 2.34c, 2.37b, 2.39c, 2.40c, setelah direndam NaOH serat dicuci dengan aquades kemudian dikeringkan. Pada Gambar 2.33c, permukaan serat tidak rata, dan tampak lubang-lubang kecil dan alur-alur yang memanjang. Pada Gambar 2.34c, permukaan serat tampak tidak rata dengan alur-alur pendek yang tidak merata. Pada Gambar 2.37b, permukaan serat tidak rata dengan lubang-lubang kecil, butiran-butiran kecil, dan alur-alur yang memanjang. Pada Gambar 2.39c, permukaan serat tidak rata dengan lubang-lubang kecil, dan alur-alur pendek yang tidak merata. Pada Gambar 2.40c, permukaan serat tidak rata dengan bentuk seperti ombak-obak kecil, dan alur-alur pendek yang tidak merata.

Gambar 5.5c merupakan morfologi permukaan serat sabut kelapa yang telah diberi perlakuan NaOH 10% memperlihatkan bahwa bentuk permukaannya tidak rata, dan bisa dikatakan agak kasar dibandingkan dengan Gambar 5.5a. Kekasaran permukaan tersebut ditandai dengan adanya butiran-butiran atau gumpalan-gumpalan pada permukaan serat dimana butiran-butiran tersebut agak kecil dan memanjang bila dibandingkan dengan permukaan serat yang diperlihatkan Gambar 5.5c, 5.5d, dan Gambar 5.5e. Demikian pula pada

penelitian sebelumnya pada perlakuan NaOH 10% yang ditunjukkan pada Gambar 2.36b, 2.39d, 2.40c, 2.41c, dan 2.46b juga memberikan bentuk permukaan yang berbeda dengan Gambar 5.5c. Pada Gambar 2.36b, permukaan serat tidak rata dengan bentuk seperti ombak-ombak kecil, juga terdapat butiran-butiran dan lubang-lubang kecil. Pada Gambar 2.39d, permukaan serat tidak rata dengan bentuk seperti ombak agak besar, dan adanya alur yang memanjang. Pada Gambar 2.40c, permukaan serat tidak rata dengan lubang-lubang kecil yang dangkal, dan alur-alur yang tidak merata. Pada Gambar 2.46b, permukaan serat tidak rata dengan bentuk ombak-ombak kecil, terdapat juga lubang-lubang kecil, dan alur-alur pendek yang tidak merata.

Berdasarkan hasil pengukuran kekasaran permukaan S2K dengan alat ukur kekasaran Mitutoyo SJ.301 sebagaimana pada Tabel 5.4, menunjukkan bahwa perlakuan kimia mampu meningkatkan kekasaran permukaan, dimana nilai kekasaran permukaan paling kecil yaitu kekasaran permukaan S2K tanpa perlakuan dengan nilai kekasaran $1,62 \mu\text{m}$. Permukaan S2K yang paling kasar yaitu perlakuan N1 dengan nilai kekasaran $3,96 \mu\text{m}$ untuk perlakuan pertama, perlakuan K3 dengan nilai kekasaran $3,17 \mu\text{m}$ untuk perlakuan kedua, dan perlakuan H2 dengan nilai kekasaran $2,15 \mu\text{m}$. Secara keseluruhan, secara berturut-turut, perlakuan kimia yang memberikan tingkat kekasaran paling tinggi yaitu perlakuan pertama, kemudian perlakuan kedua, dan perlakuan ketiga. Perlakuan NaOH 5% memberikan kekasaran permukaan paling tinggi dengan nilai kekasaran $3,96 \mu\text{m}$.

Gambar 5.2 menunjukkan kurva intensiti serat sabut kelapa baik yang tanpa dan dengan perlakuan. Profil kurva XRD pada Gambar 5.2a menunjukkan bahwa perlakuan alkali menyebabkan terjadinya peningkatan indeks kristalisasi dibandingkan dengan S2K tanpa perlakuan, namun indeks kristalisasi menurun

seiring dengan meningkatnya kadar konsentrasi alkali seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.2. Demikian juga Carvalho (2010), Mulinari (2011), dan Mullick (2012) meskipun berbeda dengan Esmeraldo (2010). Indeks kristalisasi sebagaimana disajikan pada Tabel 5.2 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan maka nilai indeks kristalisasinya menurun, yaitu 62,33% pada perlakuan NaOH 5% menjadi 45,09% pada perlakuan NaOH 20%. Pada perlakuan kedua, terjadi perubahan morfologi permukaan serat. Hasil ini sesuai juga dengan hasil XRD pada Gambar 5.2b yang menunjukkan pola difraksi yang berbeda, dengan kecenderungan puncak lebih rendah, dan hilangnya kristalinitas akibat perendaman serat dalam larutan KMnO_4 . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan kalium permanganat akan merubah kristalisasi menjadi amorphous, dan semakin tinggi konsentrasi kalium permanganat semakin hilang pula kristalisasinya. Hal ini juga diperlihatkan pada Gambar 5.6, tidak terdapat kristalisasi pada permukaan serat sebagaimana pada Gambar 5.5b-e.. Selain itu, perlakuan kalium permanganat menimbulkan alur-alur atau pori-pori yang berarti perlakuan kalium permanganat membersihkan serat dari unsur-unsur atau kotoran hingga bagian dalam serat sebagaimana pada Gambar 5.6. Perlakuan ketiga dengan larutan H_2O_2 , fenomena kristalisasi muncul kembali meskipun tidak seperti pada perlakuan pertama seperti yang ditunjukkan Gambar 5.2c. Namun, berdasarkan gambar morfologi yang diperoleh dari SEM, ada perbedaan bentuk kristalisasi yang terjadi antara perlakuan pertama dan ketiga. Bentuk kristalisasi dapat berbeda antara perlakuan karena reaksi kimia yang berbeda yang terjadi pada permukaan serat. Fenomena kristalisasi dalam perlakuan ketiga dapat disebabkan oleh reaksi antara selulosa dengan hidrogen dari larutan H_2O_2 (Sinha, 2009).

Gambar 5.5a memperlihatkan permukaan serat sabut kelapa yang hampir rata dengan sedikit gumpalan yang memanjang. Hal ini menandakan bahwa

permukaan serat masih dipenuhi kotoran-kotoran atau unsur-unsur lain seperti lilin, minyak. Gambar 5.5b-e menunjukkan permukaan serat yang kasar dibandingkan dengan permukaan serat tanpa perlakuan. Salah satu fungsi perlakuan alkali yaitu menghilangkan kotoran-kotoran, unsur lilin maupun minyak yang terdapat pada permukaan serat sehingga akan meningkatkan kekasaran permukaan serat (Carvalho, 2010). Pada penelitian ini, perlakuan alkali juga mengakibatkan terjadinya kristalisasi sodium pada permukaan serat. Kristalisasi terjadi sebagai akibat pengeringan S2K dalam oven pada suhu 90°C selama 5 jam setelah direndam dalam larutan alkali. Kristalisasi tersebut menyebabkan permukaan serat lebih kasar dibandingkan dengan Gambar 2.33c, 2.34c, 2.36b, 2.37b, 2.38b, 2.39c,d, 2.40,c,d, 2.41c, dan 2.46b.

Sebagaimana pengujian yang dilakukan, perlakuan pertama menyebabkan serat terbungkus oleh kristal-kristal natrium (Gambar 5.5), pada perlakuan kedua larutan kalium permanganat menyebabkan hilangnya kristal-kristal natrium yang membungkus serat tapi menimbulkan tonjola-tonjolan dan alur-alur (Gambar 5.6), sedangkan pada perlakuan ketiga larutan hidrogen peroksida kembali membungkus serat, dan terbentuknya alur-alur yang memanjang pada permukaan serat (Gambar 5.7).

Gambar 5.5b-d memperlihatkan bentuk kristalisasi berupa butiran-butiran besar sedangkan pada Gambar 5.5e menunjukkan butiran-butiran kecil yang saling menyatu sehingga kelihatan kokoh. Morphologi permukaan serat memperlihatkan bahwa kristalisasi sodium menghilang sebagaimana pada gambar sebelumnya. Menghilangnya kristal juga diperlihatkan pada Gambar 5.2b, semakin tinggi konsentrasi kalium permanganatnya semakin rata kurvanya. Hal ini menunjukkan bahwa susunan kristal menjadi amor. Gambar 5.6a-d memperlihatkan bahwa serat yang diberi perlakuan NaOH kemudian KMnO_4 menyebabkan terjadinya alur-alur seperti parit, dan adanya tonjolan-tonjolan

pada permukaan serat, yang menghasilkan bentuk kekasaran yang berbeda dibandingkan dengan pada Gambar 5.5b-e. Ukuran alur yang terbentuk tersebut berbanding lurus dengan konsentrasi KMnO_4 yang diberikan. Alur-alur tersebut diharapkan dapat memfasilitasi matriks untuk mengisi alur-alur tersebut sehingga bisa meningkatkan kemampuan perikatan antara serat dengan matriks. Hal ini juga berarti bahwa kalium permanganat membersihkan serat secara mendalam bukan hanya dipermukaan saja.

5.2.2 Efek Perlakuan terhadap Kekuatan Tarik Serat Sabut Kelapa

Tabel 5.3 menunjukkan kekuatan tarik serat sabut kelapa sebelum dan sesudah diberikan perlakuan. Nilai kekuatan tarik maksimum diperoleh pada perlakuan N4 sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.3 yaitu sebesar 280,94 MPa, meningkat sekitar 33,6% dari serat tanpa perlakuan yaitu 186,42 MPa. Hal ini terjadi karena serat diselimuti oleh unsur sodium (Na) yang mengkristal yang mengakibatkan serat mengalami peningkatan kekuatan tarik. Kristalisasi tersebut menjadi pembungkus S2K sehingga akan memperlambat S2K putus pada saat diberikan beban tarik, dan menjadikan S2K memiliki tegangan tarik yang tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya seperti pada Gambar 5.3. Disamping itu, pada perlakuan N4 (20% NaOH) menyebabkan terjadinya degradasi lignin yang paling besar sehingga kandungan ligninnya paling sedikit. Jumlah kandungan lignin tersebut akan mempengaruhi kekuatan serat, kekuatan serat akan tinggi bila kandungan ligninnya rendah karena lignin bersifat kaku dan rapuh (Daulay, 2009). Selain itu, pada perlakuan N4 diperoleh nilai indeks kristalisasi yang paling rendah artinya lebih amorphous, dan pada saat itu nilai lignin juga paling rendah, dimana salah satu sifat lignin ialah senyawa yang bersifat amorf, sehingga diperoleh kekuatan tarik tertinggi yaitu 280,94 N/mm². Disamping itu, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.1, pada perlakuan N4 kandungan

hemisellulosa paling tinggi yaitu 40,9%, dimana hemisellulosa merupakan senyawa yang bersifat non-kristalin. Regangan rata-rata serat yang diberi perlakuan pertama lebih tinggi bila dibandingkan serat yang diberi perlakuan lainnya, sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 5.3, dan Gambar 5.4. Gambar 5.4 memperlihatkan bahwa regangan tertinggi S2K diperoleh pada perlakuan N1 yaitu sebesar 50%, sedangkan untuk perlakuan lainnya cenderung menurun dibandingkan dengan nilai regangan S2K tanpa perlakuan. Regangan terendah yang diperoleh pada setiap perlakuan yaitu N4, K2, dan H3 masing-masing 11,25%, 16,25%, dan 24,58%

Gambar 5.7a-d memperlihatkan permukaan serat sabut kelapa dengan perlakuan larutan hidrogen peroksida. Pada perlakuan tersebut muncul gumpalan-gumpalan yang memanjang pada permukaan serat, dan munculnya kembali kristalisasi, meskipun tidak sama dengan kristalisasi pada perlakuan NaOH. Meskipun alur-alur serat tertutupi oleh gumpalan-gumpalan tetapi tidak meningkatkan kekuatan tarik serat malah cenderung turun seiring meningkatnya konsentrasi hidrogen peroksida. Hal ini terjadi karena gumpalan-gumpalan tersebut tidak mampu mengisi dengan baik alur-alur pada perlakuan sebelumnya dan tidak menjadi satu kesatuan.

Terbungkusnya serat, baik sebagai akibat perlakuan pertama maupun perlakuan ketiga menyebabkan tegangan tarik serat lebih tinggi dibandingkan dengan serat yang tidak terbungkus akibat perlakuan kimia tersebut, tegangan tarik perlakuan N4 dan H2 lebih tinggi daripada tegangan tarik serat akibat perlakuan K3 (Gambar 5.3). Kristal-kristal natrium maupun hidrogen peroksida yang membungkus serat tersebut tentunya akan meningkatkan kemampuan serat untuk menerima beban tarik dan memperlambat serat putus. Sehingga tegangan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan N4 yaitu 280,94 N/mm² lebih tinggi dibandingkan dengan pada perlakuan K3 dan H2, masing-

masing 195,37 dan 219,69 N/mm². Karena pada perlakuan N4 butiran-butiran kecil, kokoh, dan saling menyatu dari kristal-kristal natrium yang membungkus serat akan meningkatkan kemampuan serat menerima beban tarik.

5.2.3 Efek Perlakuan terhadap Kemampuan Perikatan antara Serat Sabut Kelapa dengan Matriks Poliester

Perendaman S2K dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 20% memberikan efek yang signifikan terhadap kekasaran permukaan dan kekuatan tarik serat sabut kelapa. Meskipun demikian, kekasaran tersebut tidak permanen karena hanya disebabkan oleh mengkristalnya sodium yang dapat saja terlepas bila serat tersebut digabung dengan matriks atau direndam pada senyawa lain. Hal ini terjadi setelah serat direndam pada larutan KMnO₄ seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.6a-d.

Tabel 5.5 memperlihatkan tegangan geser (*Interfacial Shear Stress*) antara serat sabut kelapa dengan matriks poliester baik serat tanpa perlakuan maupun dengan perlakuan. Gambar 5.5 memperlihatkan permukaan serat agak kasar karena timbulnya kristal-kristal natrium sebagai efek pengeringan serat pada suhu 90°C selama 5 jam setelah serat direndam dalam NaOH. Kristal-kristal kecil yang saling menyatu diperlihatkan pada Gambar 5.5e. Pada saat serat ditanam dalam matriks, maka kristal-kristal ini akan bereaksi dengan matriks dan membentuk ikatan yang lebih kuat dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Gambar 5.5b-d) yang memiliki kristal-kristal besar dengan rongga yang agak besar. Sehingga pada perlakuan pertama ini, tegangan geser rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan N4 yaitu 3,1 N/mm² (Tabel 5.5, dan Gambar 5.8). Kristal-kristal yang timbul pada perlakuan pertama menghilang pada saat serat direndam pada larutan KMnO₄ sebagai perlakuan kedua (Gambar 5.6). Hal ini berarti natrium larut dalam larutan KMnO₄ sehingga juga menghasilkan kekasaran permukaan yang berbeda. Efek perlakuan kedua ini, pada permukaan serat

muncul tonjolan-tonjola dan alur-alur pada serat, semakin tinggi persentasi konsentrasi larutan semakin besar pula tonjolan-tonjolan dan alur-alur yang terbentuk dan cenderung lurus (Gambar 5.6d, perlakuan K4). Namun demikian, kekuatan perikatan antara serat dan matriks tidak berbanding lurus dengan besarnya tonjolan dan alur besar tersebut. Oleh karena alur yang besar dan lurus justru akan mempermudah terlepasnya serat dari matriks karena cengkraman yang dimiliki matriks sangat rendah sehingga tegangan geser rata-rata yang diperoleh sangat rendah (Gambar 5.8). Oleh sebab itu, tegangan geser rata-rata tertinggi pada perlakuan kedua ini diperoleh pada perlakuan K2 (Gambar 5.8), meskipun tonjolan-tonjolan dan alur yang terbentuk tidak besar tapi bercabang, justru bentuk seperti itu matriks mampu memberikan cengkraman yang kuat terhadap serat.

Gambar 5.7 memperlihatkan tingkat kekasaran permukaan serat akibat perlakuan ketiga. Gambar 5.7a mirip dengan Gambar 5.7b, akan tetapi alur-alur yang terjadi pada Gambar 5.7a lebih besar dan kelihatan lebih mudah terlepas dibandingkan dengan Gambar 5.7b. Demikian pula pada Gambar 5.7c, meskipun permukaan serat kelihatan kasar bagaikan ombak kecil, saling menyatu tetapi tidak ada alur yang terbentuk sehingga pada saat serat ditanam dalam matriks masih memungkinkan serat terlepas dari matriks dengan mudah karena cengkraman matriks yang kurang kuat. Demikian pula halnya pada Gambar 5.7d, permukaan serat kasar dan beralur namun tidak saling menyatu. Sedangkan pada perlakuan H2, permukaan serat menjadi kasar dengan alur-alur kecil (Gambar 5.7b) dibandingkan dengan permukaan serat akibat perlakuan lainnya (Gambar 5.7a, 5.7c, 5.7d). Pada saat serat ditanam dalam matriks, maka matriks akan mengisi alur-laur pada serat tersebut sehingga terjadi perikatan yang baik antara serat dengan matriks. Alur-alur yang kecil akan memberikan cengkraman yang lebih kuat dibandingkan dengan alur-alur besar, sehingga

pada perlakuan H₂ memberikan perikatan yang tertinggi diantara perlakuan yang telah diberikan pada serat yaitu 4,1 N/mm².

Gambar 5.10 memperlihatkan alur bekas tempat serat yang tercabut akibat pengujian *pull out* serat tunggal, dan memberikan bentuk yang berbeda antara perlakuan satu dengan lainnya. Sedangkan Gambar 5.11 memperlihatkan morfologi permukaan serat yang tertanam pada matriks, dan tercabut akibat beban tarik pada saat uji *pull out* serat tunggal. Pada Gambar 5.10a, memperlihatkan alur bekas S2K pada matriks akibat perlakuan NaOH, dimana terdapat endapan sodium yang melekat pada matriks tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi antara permukaan serat dengan matriks yang dapat meningkatkan perikatan antara serat dengan matriks. Gambar 5.10b merupakan alur bekas S2K pada matriks akibat perlakuan KMnO₄, dimana pada alur tersebut selain meninggalkan bekas-bekas perikatan antara serat dengan matriks juga memperlihatkan adanya lubang-lubang yang ditinggalkan. Lubang-lubang tersebut menandakan bahwa matriks sangat lengket pada serat sehingga matriks ikut dengan serat pada saat diberikan beban tarik pada saat uji *pull out* serat tunggal, dan Gambar 5.10c, masing-masing meninggalkan bekas yang berbeda. Demikian pula pada Gambar 5.10c yang merupakan alur bekas serat akibat perlakuan H₂O₂, selain meninggalkan lubang-lubang kecil yang hampir merata, juga meninggalkan endapan hidrogen peroksida. Hal ini menunjukkan bahwa perikatan antara serat dengan matriks sangat baik, dan pada perlakuan ini diperoleh tegangan geser tertinggi yaitu 4,1 N/mm².

5.2.4 Pembahasan Umum

Untuk memperbaiki kinerja komposit, hal yang paling umum dilakukan ialah perlakuan permukaan serat sebagai penguat komposit. Dalam penelitian ini perlakuan permukaan yang dilakukan ialah perlakuan kimia. Perlakuan perendaman serat sabut kelapa dalam larutan NaOH mengakibatkan terjadinya

penurunan kandungan hemisellulosa, sellulosa, dan lignin. Serat sabut kelapa tanpa perlakuan memiliki kandungan hemisellulosa, sellulosa, dan lignin, masing-masing 15,5%, 37,9%, dan 33,5%. Nilai tersebut sesuai dengan hasil beberapa peneliti sebelumnya yaitu masing-masing antara 20% - 40% untuk lignin dan 33% - 69% untuk sellulosa sebagaimana pada Tabel 2.3. Penurunan lignin dan sellulosa tersebut berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi NaOH. Pada serat sabut kelapa yang diberi perlakuan NaOH 5% masing-masing menjadi 29% dan 37%, dan pada perlakuan NaOH 20% masing-masing menjadi 6% dan 22%. Menurunnya kandungan lignin dan sellulosa berarti larutan NaOH berhasil merusak struktur lignin, dan memutuskan rantai karbon pada sellulosa. Permukaan serat sabut kelapa pada perlakuan pertama tampak lebih kasar dibandingkan dengan permukaan serat sabut kelapa yang tidak diberi perlakuan. Nilai kekasaran permukaan paling tinggi diperoleh pada perlakuan N1 yaitu 3,96 μm sedangkan paling rendah pada S2K tanpa perlakuan dengan nilai 1,62 μm . Kekasaran tersebut ditandai dengan adanya butiran-butiran pada permukaan serat. Butiran-butiran tersebut muncul sebagai efek pengeringan serat sabut kelapa dalam oven pada temperatur 90°C selama 5 jam. Serat sabut kelapa yang telah direndam dalam larutan NaOH selama 3 jam, tidak dicuci dengan aquades melainkan hanya ditiriskan dan diangin-anginkan dalam suhu ruang, kemudian langsung dikeringkan dalam oven. Semakin tinggi konsentrasi NaOH ukuran butiran tersebut bertambah kecil, namun lebih kokoh dibandingkan dengan butiran-butiran pada perlakuan dengan konsentrasi NaOH yang rendah. Butiran-butiran yang kokoh dan menyatu tersebut melapisi permukaan serat sehingga bisa memperlambat putusya serat bila diberikan beban tarik. Pada perlakuan pertama ini nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan NaOH 20%, yaitu sebesar 280,94 MPa. Pada saat itu diperoleh kandungan lignin paling

rendah yaitu 6%, karena lignin bersifat kaku dan rapuh maka kekuatan serat akan meningkat bila kandungan ligninnya rendah (Daulay, 2009). Pada perlakuan NaOH 20% ini juga diperoleh tegangan geser tertinggi antara serat sabut kelapa dengan matriks poliester yaitu 3,09 MPa. Hal ini berarti bahwa kekasaran permukaan serat oleh butiran-butiran kecil yang saling menyatu dan koko dapat bereaksi secara baik dengan matriks poliester sehingga meningkatkan kemampuan perikatan antara serat sabut kelapa dengan matriks poliester. Selain itu, pada perlakuan pertama ini juga terjadi kristalisasi, dimana nilai indeks kristalisasi berbanding terbalik dengan konsentrasi larutan NaOH, meningkatnya konsentrasi larutan NaOH menurunkan nilai indeks kristalisasi. Hasil ini sama dengan hasil yang diperoleh Carvalho (2010), dan Mulinari (2011). Akan tetapi nilai indeks kristalisasi berbanding langsung dengan ukuran butir. Semakin besar nilai indeks kristalisasi semakin besar pula besar butiran-butiran kristalisasi pada permukaan serat.

Perlakuan kedua merupakan lanjutan perlakuan pertama, dimana serat sabut kelapa yang telah direndam dalam larutan NaOH, direndam kembali dalam larutan KMnO_4 dengan konsentrasi yang bervariasi. Kristalisasi yang terjadi pada perlakuan pertama cenderung hilang pada perlakuan kedua dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan KMnO_4 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.2b. Menghilangnya kristalisasi ini dapat juga dilihat pada permukaan serat sebagaimana diperlihatkan Gambar 5.6 yang sangat berbeda dengan permukaan serat sebagaimana diperlihatkan Gambar 5.5. Gambar 5.6 memperlihatkan permukaan serat sabut kelapa tidak terdapat lagi butiran-butiran kristalisasi melainkan berupa alur-alur, dan tonjolan-tonjolan. Ukuran alur dan tonjolan tersebut berbanding lurus dengan konsentrasi larutan KMnO_4 , semakin tinggi konsentrasi larutan KMnO_4 semakin besar pula alur, dan tonjolan tersebut. Pada perlakuan kedua, kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada saat S2K

direndam dalam larutan 15% NaOH kemudian 0,75% KMnO_4 (K3) sedangkan kekuatan geser tertinggi diperoleh pada saat S2K direndam dalam larutan 10% NaOH kemudian 0,5% KMnO_4 (K2).

Perlakuan ketiga merupakan lanjutan perlakuan pertama dan kedua, serat sabut kelapa yang telah direndam NaOH kemudian KMnO_4 , direndam kembali dalam larutan H_2O_2 dengan konsentrasi yang bervariasi pula. Pada perlakuan ketiga ini, kristalisasi muncul kembali, meskipun tidak sama dengan kristalisasi yang terbentuk akibat perendaman NaOH. Kristalisasi tersebut juga dapat dilihat pada permukaan serat sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 5.7. Pada Gambar 5.7 tersebut nampak permukaan serat diselubungi oleh lapisan-lapisan kristalisasi yang terjadi, dan berbeda dengan Gambar 5.6. Kristalisasi tersebut sebagai hasil reaksi antara selulosa dengan larutan hidrogen peroksida. Sebagaimana pada perlakuan pertama, dimana permukaan serat diselubungi oleh kristal-kristal sodium, pada perlakuan ketiga ini, permukaan serat juga diselubungi oleh kristal-kristal hidrogen peroksida. Maka pada perlakuan ketiga ini, tegangan tarik rata-rata tertinggi dan tegangan geser rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan H2 (NaOH 10% kemudian KMnO_4 0,5% kemudian H_2O_2 10%) yaitu masing-masing 219,69 MPa dan 4,13 MPa.

Komponen utama penyusun molekul kayu yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa merupakan senyawa berantai panjang dan bersifat kristalin, hemiselulosa senyawa yang berantai bercabang, bersifat non kristalin dan non serat, sedangkan lignin merupakan senyawa yang bersifat amorf. Sebagaimana hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5.1, perlakuan pertama dan ketiga memiliki kandungan selulosa relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kedua. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian SEM yang diperlihatkan pada Gambar 5.5, Gambar 5.6, dan Gambar 5.7, dimana pada permukaan serat sabut kelapa terjadi kristalisasi dibandingkan dengan permukaan serat sabut kelapa

pada perlakuan kedua. Demikian pula dengan hasil pengujian XRD diperlihatkan pada Gambar 5.2, memperlihatkan kurva yang menunjukkan terjadinya kristalisasi pada perlakuan pertama dan ketiga dibandingkan dengan perlakuan kedua. Kandungan selulosa pada perlakuan pertama lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan ketiga. Hal ini juga nampak pada hasil pengujian SEM, dan XRD.

Berdasarkan dengan uraian di atas, pada perlakuan pertama, dan perlakuan ketiga terjadi kristalisasi pada permukaan serat sabut kelapa. Kristalisasi tersebut sebagai salah satu efek dari tidak dicucinya serat dengan aquades setelah direndam NaOH maupun H_2O_2 melainkan hanya ditiriskan kemudian langsung dikeringkan dalam oven pada temperatur $90^\circ C$ selama 5 jam. Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan pertama yaitu pada perendaman S2K dalam NaOH dengan konsentrasi 20% (N4), sedangkan tegangan geser rata-rata tertinggi diperoleh pada perlakuan ketiga ini yaitu pada perendaman S2K dalam larutan 10% NaOH kemudian 0,5% $KMnO_4$ kemudian 10% H_2O_2 (H2). Hal ini memberikan gambaran bahwa apabila dibutuhkan komposit dengan kekuatan serat yang tinggi namun perikatan antara serat dan matriks rendah maka serat cukup diberi perlakuan N4. Proses ini termasuk singkat sehingga akan bernilai ekonomis. Akan tetapi bila dibutuhkan komposit dengan kekuatan perikatan yang tinggi antara serat dengan matriks meskipun kekuatannya rendah maka serat sabut kelapa diberi perlakuan H2. Proses ini cukup panjang, dan tentunya akan butuh biaya lebih besar dibandingkan dengan perlakuan N4.

