

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. PROSES PEMBUATAN NATA DE COCO

Pembuatan *nata de coco* diawali dengan mencampurkan berbagai variasi konsentrasi gula sebagai sumber karbon, urea sebagai sumber nitrogen dan asam asetat glasial sebagai pengatur pH ke dalam media air kelapa, lalu media yang sudah diperkaya oleh nutrisi ini dipanaskan sampai mendidih selama 5 menit, pemanasan ini berfungsi sebagai sterilisasi agar media tidak terkontaminasi oleh bakteri lain yang tidak diinginkan. Setelah melalui proses pendinginan pada suhu kamar selama 24 jam, lalu dilakukan penambahan starter (*Acetobacter xylinum*) ke dalam media air kelapa tersebut. Setelah 9 hari proses fermentasi, akan terbentuk gel berwarna putih pada permukaan media.

Pada tahap awal proses pembuatan *nata de coco*, bakteri *Acetobacter xylinum* yang telah dimasukkan ke dalam media air kelapa akan mengalami peningkatan jumlah koloni secara cepat, kemudian bakteri yang ada pada media tersebut memproduksi serat selulosa dalam jumlah banyak dengan bantuan enzim-enzim isomerase dan enzim-enzim polimerase yang juga diproduksi sendiri oleh bakteri tersebut, sehingga pada bagian permukaan media air kelapa terlihat keruh atau terbentuk gel dengan viskositas yang lebih tinggi daripada cairan yang ada di bawahnya. Semakin lama lapisan gel tersebut semakin tebal dan sangat jelas terlihat, sedangkan jumlah cairan pada media tersebut semakin lama semakin sedikit.

Alasan mengapa suatu mikroorganisme (*Acetobacter xylinum*) membuat selulosa dalam jumlah besar secara biologi adalah untuk menjaga keberadaannya agar tetap di bagian atas permukaan media pertumbuhan, sehingga bakteri tersebut tetap dapat memperoleh oksigen dalam jumlah yang cukup untuk beraktifitas dan memproduksi selulosa, dan juga dapat mempertahankan dirinya dari zat-zat asing seperti: kotoran, bakteri lain dan sinar ultraviolet [7].

Serat hidrogel *nata de coco* (*pellicle*) yang terbentuk dari proses fermentasi bakteri *Acetobacter xylinum* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1. Serat Hidrogel *Nata de coco*

4.1.1 Hasil Pengamatan Pada Proses Pembuatan *Nata de coco*

Proses pembuatan *nata de coco* ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan Departemen Teknik Kimia FTUI yang dilakukan dari bulan Maret – Mei 2010, yang mana hasil pengamatan pada proses pembuatan *nata de coco* ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Proses Pembuatan *Nata de coco*

NO	SAMPEL	ASAM ASETAT (% v/v)	GULA (% w/v)	UREA (% w/v)	TEBAL RATA-RATA (mm)	BERAT BASAH (gram)	BERAT KERING (gram)	PERSEN Serat
1	Aa1 α	0,25%	1,50%	0,40%	10,32	463	4,75	0,93%
2	Aa1 β	0,25%	1,50%	0,50%	13,65	532	5,27	0,90%
3	Aa1 γ	0,25%	1,50%	0,60%	11,09	482	4,98	0,94%
4	Aa2 α	0,25%	2,00%	0,40%	10,63	479	4,86	0,92%
5	Aa2 β	0,25%	2,00%	0,50%	13,02	516	5,11	0,90%
6	Aa2 γ	0,25%	2,00%	0,60%	9,80	445	4,55	0,93%
7	Aa3 α	0,25%	2,50%	0,40%	9,13	439	4,41	0,91%
8	Aa3 β	0,25%	2,50%	0,50%	13,68	538	5,28	0,89%
9	Aa3 γ	0,25%	2,50%	0,60%	10,21	450	4,76	0,96%
10	Ba1 α	0,30%	1,50%	0,40%	10,35	456	4,77	0,95%
11	Ba1 β ³⁾	0,30%	1,50%	0,50%	14,07	560	5,51	0,90%
12	Ba1 γ	0,30%	1,50%	0,60%	10,42	466	4,67	0,91%
13	Ba2 α	0,30%	2,00%	0,40%	10,43	467	4,66	0,91%
14	Ba2 β ¹⁾	0,30%	2,00%	0,50%	14,57	595	5,77	0,88%
15	Ba2 γ	0,30%	2,00%	0,60%	13,69	534	5,43	0,93%
16	Ba3 α	0,30%	2,50%	0,40%	13,28	544	5,47	0,92%
17	Ba3 β ²⁾	0,30%	2,50%	0,60%	14,18	566	5,55	0,89%

NO	SAMPEL	ASAM ASETAT (% v/v)	GULA (% w/v)	UREA (% w/v)	TEBAL RATA-RATA (mm)	BERAT BASAH (gram)	BERAT KERING (gram)	PERSEN Serat
18	Ba3 γ	0,30%	2,50%	0,50%	13,03	531	5,38	0,92%
19	Ca1 α	0,35%	1,50%	0,40%	12,43	499	5,23	0,95%
20	Ca1 β	0,35%	1,50%	0,50%	13,60	538	5,30	0,90%
21	Ca1 γ	0,35%	1,50%	0,60%	11,41	477	4,80	0,92%
22	Ca2 α	0,35%	2,00%	0,40%	12,54	498	5,03	0,92%
23	Ca2 β	0,35%	2,00%	0,50%	13,87	545	5,39	0,90%
24	Ca2 γ	0,35%	2,00%	0,60%	11,65	476	4,79	0,92%
25	Ca3 α	0,35%	2,50%	0,40%	10,84	469	4,89	0,95%
26	Ca3 β	0,35%	2,50%	0,50%	10,51	473	4,81	0,93%
27	Ca3 γ	0,35%	2,50%	0,60%	13,25	501	5,31	0,96%

Keterangan :

A : Asam Asetat (2,5 ml) a₁ : Gula (15 gram) α : Urea (4 gram)
 B : Asam Asetat (3 ml) a₂ : Gula (20 gram) β : Urea (5 gram)
 C : Asam Asetat (3,5 ml) a₃ : Gula (25 gram) γ : Urea (6 gram)

Data ketebalan, massa basah dan massa kering serat *nata de coco* yang ada pada Tabel 4.1 ini diperoleh berdasarkan perhitungan rata-rata, yang mana untuk masing-masing satu variasi perlakuan konsentrasi nutrisi (gula & urea) dan pH (asam asetat) memiliki tiga sampel dalam wadah yang berbeda, yang selanjutnya dihitung rata-rata ketebalan serat dan massa seratnya. Ini dimaksudkan agar nilai untuk masing-masing variasi diperoleh mendekati data yang sebenarnya, namun pada kenyataannya sangat sulit dihasilkan ketebalan serat dan massa serat yang sama untuk satu variasi tertentu (*reproducibility*) dalam wadah yang berbeda, ini diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain: wadah tempat pertumbuhan bakteri (*Acetobacter xylinum*) berbeda satu dengan yang lain, sehingga pertumbuhan selulosa akan berbeda-beda karena tingkat kontaminasi debu dan kotoran lainnya dalam wadah juga berbeda. Faktor yang kedua adalah waktu penuangan media cair ke dalam wadah pembiakkan, hal ini juga mempengaruhi tingkat kontaminasi dari bakteri yang tidak diinginkan yang berasal dari udara atau lingkungan sekitar.

Selain itu juga dipengaruhi oleh kondisi ruangan seperti sirkulasi udara, kelembaban udara dan temperatur yang berubah-ubah karena adanya penyejuk ruangan (*Air Conditioning*).

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dari 27 variasi perlakuan konsentrasi nutrisi, pertumbuhan serat *nata de coco* terjadi di semua variasi (gula, urea dan asam asetat). pH pengukuran pada saat pembuatan media berkisar antara 3,5 – 4,2. Range pH ini sama seperti yang dilaporkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh A. Jagannath et. al (2008) [29], ini membuktikan bahwa pada interval variasi konsentrasi nutrisi dan pH tersebut, pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* berjalan dengan baik, yang mana tebal dari serat basah *nata de coco* yang terbentuk berkisar antara 9,13 – 14,57 mm dan massa serat basah yang terbentuk antara 439 – 595 gram untuk setiap 700 ml media air kelapa setelah 9 hari waktu pertumbuhan. Besar densitas serat *nata de coco* kering rata-rata adalah $1,15 \text{ g/cm}^3$ dan serat kering *nata de coco* yang dihasilkan rata-rata di bawah 1% w/w dari serat hidrogelnya, yaitu sekitar 0,88% - 0,96% w/w.

Dapat dilihat juga bahwa *nata de coco* dengan kode sampel Ba₂β dengan variasi asam asetat 0,3% v/v; gula 2,0% w/v dan urea 0,5% w/v terhadap media cair air kelapa, memiliki ketebalan dan massa serat hidrogel (*pellicle*) yang paling tinggi daripada variasi konsentrasi nutrisi dan pH yang lainnya, yaitu memiliki tebal serat sebesar 14,57 mm dan massa serat sebesar 595 gram. Sedangkan untuk variasi konsentrasi nutrisi lain, yang memiliki ketebalan dan massa serat yang tinggi, yaitu pada sampel Ba₃β & Ba₁β dimana masing-masing memiliki ketebalan serat sebesar 14,18 dan 14,07 mm, serta massa serat masing-masing sebesar 566 dan 560 gram. Untuk melihat faktor apa yang paling berpengaruh diantara gula, urea dan asam asetat, terhadap tingginya ketebalan dan massa serat *nata de coco* dapat dilihat dari perhitungan analisa data statistik yang mengacu pada jurnal lain (A. Jagannath et al. 2008) berikut ini:

4.1.2 Analisa Data Statistik

Persamaan polinomial orde kedua digunakan untuk menentukan pengaruh dari penambahan gula, urea dan asam asetat yang paling dominan dalam meningkatkan ketebalan serat *nata de coco* yang terbentuk. Persamaan umum yang digunakan mengacu pada A. Jagannath et al. (2008) [29], sebagai berikut:

$$T = b_0 + b_1(A) + b_2(G) + b_3(U) + b_4(A)^2 + b_5(G)^2 + b_6(U)^2 + b_7(A * G) + b_8(A * U) + b_9(G * U) \quad \dots (1)$$

Keterangan:

- b_0 : *intersect*
 $b_1 - b_9$: koefisien regresi
 T : Tebal serat hidrogel *nata de coco* (*pellicle*) (mm)
 A : konsentrasi asam asetat (% v/v)
 G : konsentrasi gula (% w/v)
 U : konsentrasi urea (% w/v)

Koefisien regresi ini diturunkan dari analisa multiple regresi linier dengan menggunakan program microsoft Exel 2007. Nilai koefisien regresi $b_0 - b_9$ dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2. Koefisien regresi yang digunakan untuk melihat pengaruh asam asetat, gula dan urea pada pembuatan serat *nata de coco*

Variable Name	Final Value
b_0	12,322392
b_1	1,033338
b_2	1,226448
b_3	1,057870
b_4	1,000098
b_5	1,004718
b_6	1,000304
b_7	1,000664
b_8	1,000170
b_9	1,001164

Dari Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa nilai koefisien regresi yang tertinggi adalah koefisien b_0 (*intersect*) yaitu sebesar 12,322, ini membuktikan bahwa sumber karbon dari gula dan sumber nitrogen dari urea serta pH sangat besar peranannya dalam pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum*, sehingga dihasilkan serat *nata de coco* yang memiliki ketebalan dan massa serat yang tinggi.

Namun demikian, pengaruh variasi konsentrasi dari gula, urea dan asam asetat tidak terlalu signifikan dalam penelitian, ini dapat dilihat dari koefisien b_1 (asam asetat), b_2 (gula) dan b_3 (Urea) yang besar nilainya hampir sama, yaitu masing-masing 1,033; 1,226 dan 1,057. Ini disebabkan karena bakteri *Acetobacter*

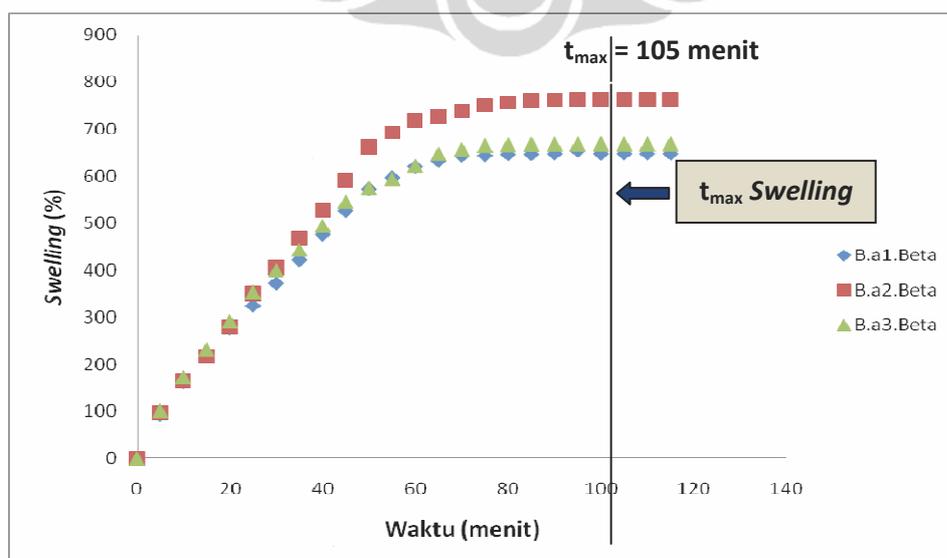
xylinum dapat tumbuh dengan baik pada semua kondisi variasi konsentrasi nutrisi dan pH tersebut yang berkisar antara 3,5 – 4,2. Tetapi bila melihat dengan teliti nilai koefisien regresi dari masing-masing variasi, maka yang paling tinggi pengaruhnya terhadap ketebalan dan massa serat adalah gula (b_2 sebesar 1,2264 dan b_5 sebesar 1,0047) bila dibandingkan dengan asam asetat dan urea, ini menunjukkan bahwa gula sebagai sumber karbon merupakan senyawa atau unsur yang paling penting dan dibutuhkan dalam penyusun struktur kimia dari serat selulosa.

Akan tetapi pengaruh-pengaruh ini perlu dibuktikan lagi dengan cara mengatur range konsentrasi gula, urea dan asam asetat (pH) yang lebih besar, sehingga pengaruhnya dapat dilihat secara signifikan terhadap ketebalan serat dan massa serat selulosa.

4.2. UJI SWELLING SERAT NATA DE COCO MURNI

Salah satu keunggulan dari serat *nata de coco* adalah memiliki porositas yang tinggi dan bersifat hidrofilik serta kemampuan serat dalam menyerap air yang tinggi (*swelling*) [4], dimana sifat fisik ini dapat digunakan untuk mengkarakterisasi ketiga kandidat serat yang ada, sehingga diperoleh serat yang memiliki persentase *swelling* yang tinggi.

Data persentase *swelling* dari masing-masing serat *nata de coco* dapat dilihat dari Gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.2. Grafik Uji Swelling Serat Nata de coco

Dari Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa serat mengalami peningkatan jumlah massa yang signifikan, mulai dari menit ke-1 sampai dengan menit ke-65, setelah menit ke-65 kenaikan jumlah massa serat tidak terlalu tinggi seperti dimenit-menit sebelumnya sampai pada menit ke-105, pada menit ke-105 ini kenaikan massa serat oleh air tidak terjadi lagi atau serat mengalami kejenuhan.

Tabel 4.3. Hasil Pengamatan Uji *Swelling* Serat *Nata de coco*

PUKUL			MENIT KE-	SAMPEL		
Mulai	Selesai	Unit		Ba ₁ β	Ba ₂ β	Ba ₃ β
t ₀			0	16,29	19,91	16,59
13.20	13.25	WIB	5	31,73	39,36	33,55
13.39	13.44	WIB	10	42,97	52,86	45,36
13.59	14.05	WIB	15	52,33	63,37	55,01
14.19	14.24	WIB	20	61,54	75,71	64,94
14.34	14.39	WIB	25	69,20	89,74	75,39
14.49	14.54	WIB	30	76,88	100,72	82,98
15.14	15.19	WIB	35	85,03	113,18	90,18
15.29	15.34	WIB	40	93,84	125,08	98,65
15.44	15.49	WIB	45	102,12	137,61	107,07
15.58	16.03	WIB	50	109,64	151,65	111,89
16.14	16.19	WIB	55	113,67	157,77	115,14
16.30	16.35	WIB	60	117,32	162,88	119,81
16.45	16.50	WIB	65	119,34	164,71	123,98
17.10	17.15	WIB	70	121,21	167,01	125,56
17.26	17.31	WIB	75	121,35	169,32	126,97
17.42	17.47	WIB	80	121,75	170,46	127,21
17.57	18.02	WIB	85	121,81	171,44	127,33
18.11	18.16	WIB	90	121,98	171,58	127,41
18.25	18.30	WIB	95	122,99	171,69	127,43
18.41	18.46	WIB	100	122,00	171,78	127,45
18.57	19.02	WIB	105	122,00	171,84	127,46
19.13	19.18	WIB	110	122,00	171,84	127,46
19.30	19.35	WIB	115	122,00	171,84	127,46

Dari uji *swelling* serat pada Tabel 4.3 dapat dilihat, bahwa serat dengan kode Ba₂β mengalami peningkatan massa yang paling tinggi, yang mana massa awal dari serat tersebut mula-mula sebesar 19,91 gram kemudian setelah 105 menit waktu perendaman di dalam air, massa serat tersebut mengalami

peningkatan menjadi 171,84 gram, ini artinya bahwa serat tersebut mampu menambah sejumlah air yang terserap ke dalam seratnya sekitar 763,08%. Sedangkan untuk serat dengan peningkatan massa tertinggi kedua adalah serat dengan kode Ba₃β, yang mana massa awal serat tersebut mula-mula sebesar 16,59 gram kemudian setelah 105 menit waktu perendaman, massa seratnya mengalami peningkatan menjadi 123,98 gram atau meningkat sekitar 647,32% dan serat yang terakhir adalah Ba₁β dengan peningkatan massa serat sekitar 632,59%. Ini menunjukkan bahwa semakin tebal serat yang terbentuk, maka kemampuan serat tersebut dalam menyerap air akan semakin tinggi.

4.3. UJI *TENSILE STRENGTH* SERAT NATA DE COCO MURNI

Untuk menentukan variasi konsentrasi nutrisi dan pH terbaik yang dipilih untuk digunakan sebagai pembuatan komposit serat-resin pada tahap selanjutnya, maka ketiga kandidat sampel yang menghasilkan serat *nata de coco* dengan ketebalan dan jumlah serat yang tinggi, yaitu : Ba₁β, Ba₂β & Ba₃β dilakukan uji mekanik dengan menggunakan alat uji tarik *Ultimate Tensile Strength* (UTS) jenis Autograph AG-IS 50 kN yang ada di Laboratorium Bio-Material LIPI Cibinong.

Hasil uji tarik material serat *nata de coco* murni tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

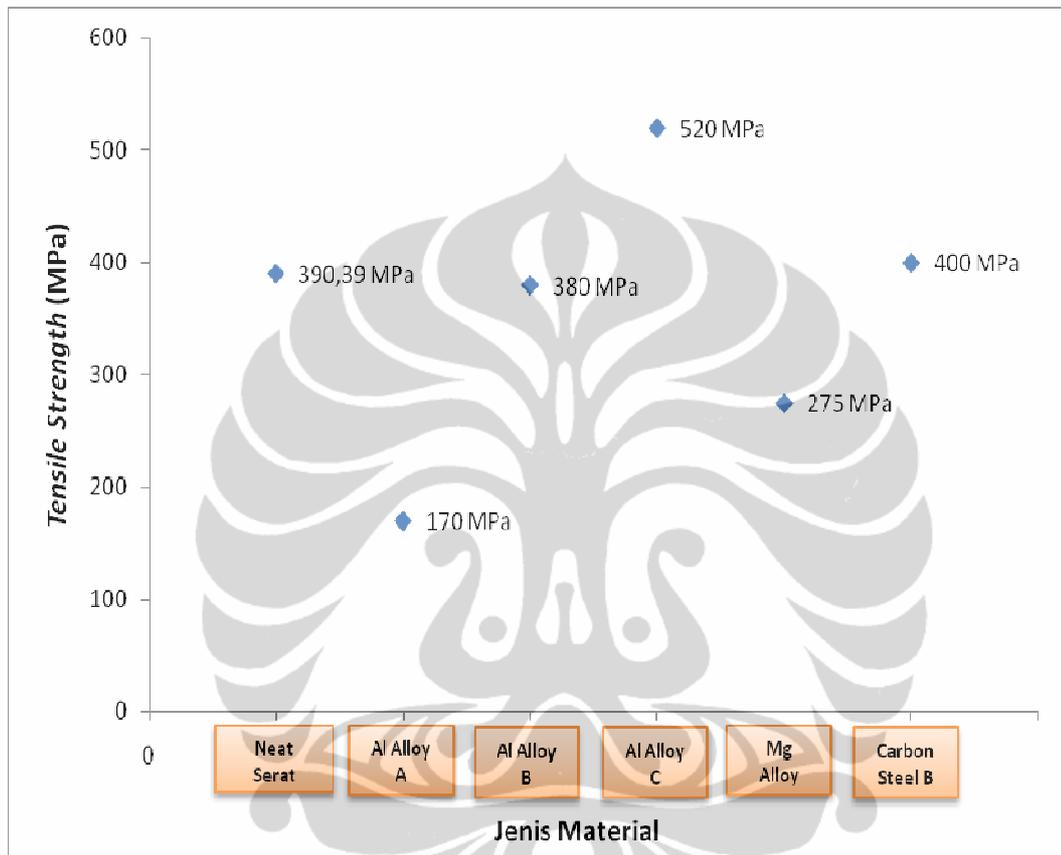
Tabel 4.4. Hasil Uji Tarik Serat *Nata de coco* Murni

No	Kode Sampel	Max Force (N)	Max Strain (%)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
1	Ba ₁ β	87,922	7,545	210,813	7,553
2	Ba ₂ β	143,469	11,744	390,392	11,750
3	Ba ₃ β	113,906	14,730	226,904	14,734

Dari hasil uji tarik ini dapat dilihat bahwa serat yang memiliki kuat tarik paling tinggi adalah sampel dengan kode Ba₂β yaitu pada variasi konsentrasi asam asetat 0,3% v/v; gula 2,0% w/v dan urea 0,5% w/v dengan nilai *tensile strength* sebesar 390,392 MPa, ini membuktikan bahwa semakin banyak jumlah serat *nata de coco* yang terbentuk, maka semakin besar kuat tarik serat tersebut. Sedangkan untuk variasi konsentrasi yang lain yaitu Ba₃β dan Ba₁β masing-masing memiliki nilai *tensile strength* sebesar 226,904 dan 210,813 MPa, sehingga sampel dengan

kode $Ba_2\beta$ yang dipilih untuk digunakan sebagai formula untuk pembuatan komposit serat-resin untuk tahap selanjutnya.

Perbandingan kuat tarik serat *nata de coco* murni dengan beberapa material logam *alloy* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Kuat Tarik Antara Serat Murni dan Logam Alloy

Keterangan :

- Al Alloy A : Aluminium dengan komposisi logam Al-Cu-Mg
 Al Alloy B : Aluminium dengan komposisi logam Al-Cu-Mg-Si
 Al Alloy C : Aluminium dengan komposisi logam Al-Zn-Mg-Cu
 Mg Alloy : Magnesium dengan komposisi logam Al 10% dan Mn 0,1%
 Carbon Grade B : Carbon Steel A-131 Grade B dengan komposisi C-Mn-Si
 Neat Serat : Serat *nata de coco* murni

Dari Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa kuat tarik dari serat *nata de coco* murni yang besarnya sekitar 390 MPa lebih baik bila dibandingkan dengan beberapa material logam *alloy*, seperti *aluminium alloy* dengan tipe tertentu dan *magnesium alloy* yang besarnya sekitar 170 – 520 MPa, tetapi kuat tarik dari serat *nata de coco* ini masih lebih kecil bila dibandingkan dengan logam *carbon steel* yang memiliki kuat tarik sekitar 400 – 500 MPa. Ini membuktikan bahwa serat *nata de coco* berpotensi untuk dapat digunakan sebagai material *high strength* pengganti dari material logam *alloy*. Keunggulan dari serat *nata de coco* ini, selain memiliki kuat tarik yang tinggi, juga memiliki densitas yang jauh lebih rendah sekitar 1,15 g/cm³ bila dibandingkan dengan logam-logam *alloy* yang memiliki densitas rata-rata sekitar 1,8 – 2,7 g/cm³ [45].

4.4. PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT SERAT – NANOFILLER

Pada tahap ini ada dua proses yang digunakan dalam pembuatan komposit serat *nata de coco* dengan nanofiller, dimana nanofiller yang digunakan adalah SiO₂, Al₂O₃ dan clay jenis *Ca montmorillonite*. Proses pertama adalah dengan cara memasukkan sejumlah tertentu partikel nanofiller secara langsung ke dalam media pada saat pemasakan media air kelapa. Dan proses kedua, yaitu membuat dahulu *nata de coco* dengan formula tertentu sehingga menjadi *pellicle*, kemudian nanofiller SiO₂, Al₂O₃ dan Clay dengan konsentrasi 3% w/v dimasukkan ke dalam serat hidrogel *nata de coco* (*pellicle*) dengan terlebih dahulu dibuat larutan koloid nanofiller, selanjutnya direndam selama 2 minggu, sampai partikel-partikel nanofiller tersebut menembus masuk ke dalam serat *nata de coco* dan terikat pada mikrofibrilnya.

Dari Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa proses pertama yaitu mencampurkan nanofiller Al₂O₃ dengan komposisi 1% w/v, 2% w/v dan 3% w/v secara langsung ke dalam media air kelapa tidak berjalan dengan baik, karena pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* tidak terjadi dan media air kelapa menjadi busuk, sehingga *pellicle* serat – nanofiller tidak terbentuk. Hal ini terjadi karena nanofiller Al₂O₃ bersifat racun bagi bakteri *Acetobacter xylinum*, sehingga pertumbuhannya tidak berlangsung dengan baik (mati).



Gambar 4.4. Media Air Kelapa yang Diberi Nanofiller Al_2O_3 dengan Konsentrasi: (a). 1% w/v, (b). 2% w/v dan (c). 3% w/v.

Sedangkan media pertumbuhan yang diberi nanofiller lain seperti SiO_2 dan clay tidak mengalami kerusakan atau busuk seperti pada penambahan nanofiller Al_2O_3 , hanya saja proses pertumbuhan serat selulosanya membutuhkan waktu yang lebih lama pada proses pertumbuhannya, yaitu sekitar 15 – 20 hari dibandingkan dengan pertumbuhan serat selulosa tanpa menggunakan nanofiller yang hanya membutuhkan waktu pertumbuhan antara 7 – 10 hari.



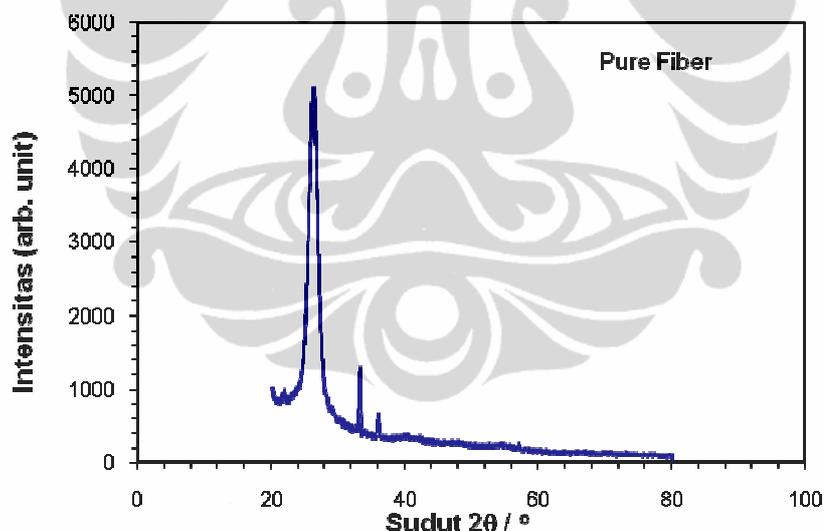
Gambar 4.5. Serat *Nata de coco*: (a) dengan penambahan nanofiller SiO_2 3% w/v Setelah 18 hari (b) tanpa penambahan nanofiller setelah 9 hari.

4.5. HASIL ANALISA XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisa material yang dilakukan dengan menggunakan XRD ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan derajat kristalinitas dari material serat *nata de coco* (selulosa) murni dan material komposit serat-nanofiller yang telah dibuat, dengan cara membandingkan puncak-puncak (*peak*) tertinggi sampel dengan puncak-puncak tertinggi standarnya.

4.5.1 Hasil Analisa XRD Serat *Nata de coco* Murni

Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD) ini dilakukan untuk mengetahui derajat kristalinitas dengan menggunakan media serat *nata de coco* murni, yang mana serat *nata de coco* ini dibuat sendiri dari bahan utama berupa air kelapa murni dengan variasi gula : urea : asam asetat dengan perbandingan masing-masing sebesar 20 gram : 5 gram : 3 ml untuk setiap 1 liter air kelapa. Hasil spektra XRD untuk material serat *nata de coco* murni ini dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:

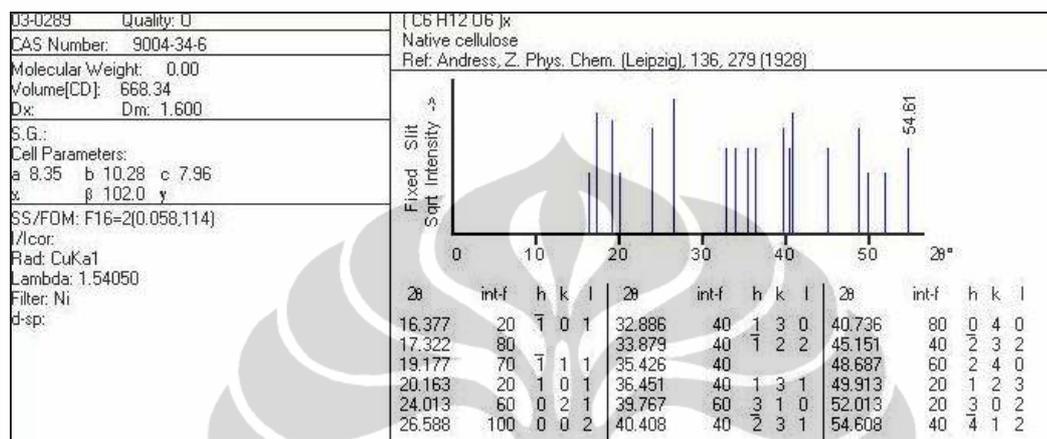


Gambar 4.6. Hasil Analisa XRD *Pure Fiber* (serat selulosa murni)

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa material serat *nata de coco* murni merupakan suatu material yang berbentuk kristal, dengan puncak-puncak dominan muncul pada daerah sudut 2θ antara $20^\circ - 40^\circ$ dari data XRD. Dimana puncak tertinggi terletak pada sudut 2θ pada titik 26,482 dengan intensitas puncak sebesar 4998,52 au, selain itu terdapat puncak-puncak kristal lain pada posisi 2θ di titik

21,835; 33,217; 35,964 dan 39,810 dengan nilai intensitas masing-masing sebesar 961,52; 1246,43; 571,59 dan 262,02 au. Ini menunjukkan bahwa material serat *nata de coco* murni yang dianalisa merupakan material yang bersifat kristalin.

Material serat selulosa murni yang telah dianalisa, kemudian dibandingkan dengan difraktogram standar *native cellulose* pada Gambar 4.7 dibawah ini :



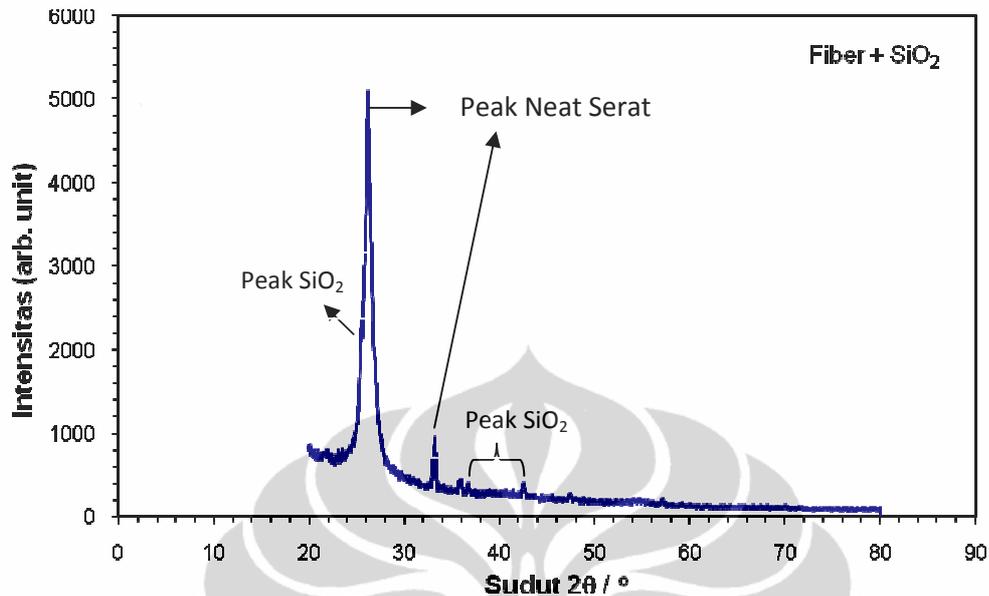
Gambar 4.7. Difraktogram Standar Selulosa Murni

Dari difraktogram standar untuk *native cellulose* (serat selulosa murni) dengan menggunakan tabung anoda CoK_α dengan panjang gelombang sebesar 1,78897 Å dapat dilihat bahwa terdapat kesamaan letak puncak-puncak tertinggi dari material yang dianalisa, yaitu pada posisi 2θ di titik 26,588; 33,879; 35,426 dan 39,767. Ini membuktikan bahwa serat *nata de coco* yang dibuat adalah material berupa serat selulosa. Spektra 8 puncak (*peak*) tertinggi serat *nata de coco* ini dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5. Puncak-puncak Tertinggi XRD Serat *Nata de coco* Murni

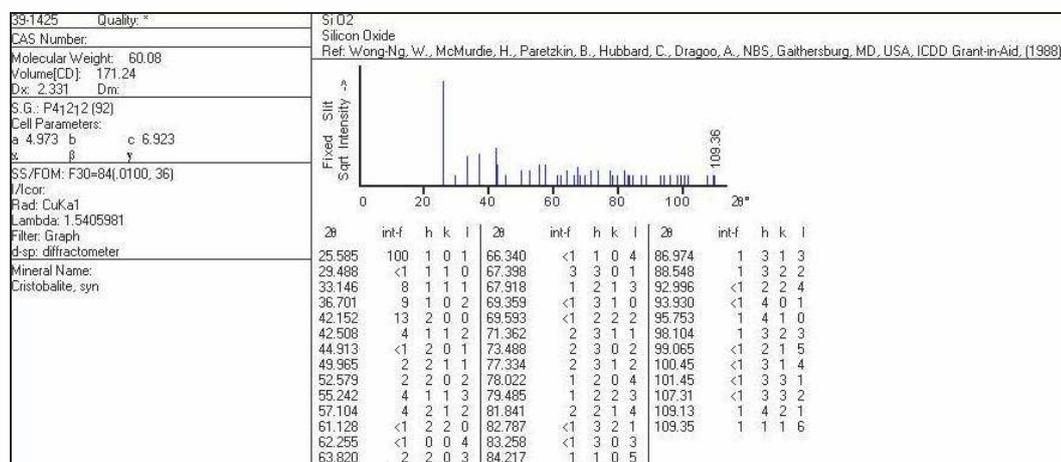
No.	Pos. [°2Th.]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr.[cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	21,8352	0,4723	53,22	808,24	4,72633	961,24	2,71
2	26,4823	1,3382	5563,61	653,88	3,90811	4998,52	100,00
3	33,2171	0,3149	254,84	432,14	3,13175	1246,43	19,47
4	35,9639	0,4723	107,44	352,00	2,89959	571,59	5,47
5	39,8109	1,8893	102,54	301,45	2,62918	262,02	1,31
6	47,7089	1,8893	48,25	240,00	2,21345	25,89	0,61
7	54,5050	1,5744	76,27	187,00	1,95486	49,11	1,17
8	57,0954	0,5760	49,64	166,00	1,87178	64,63	1,53

4.5.2 Hasil Analisa XRD Komposit Serat - Nanofiller SiO₂



Gambar 4.8. Hasil Analisa XRD Komposit Serat - Nanofiller SiO₂

Dari Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa pada material komposit yang dianalisa dengan menggunakan XRD terdapat partikel nanofiller SiO₂, ini dibuktikan dengan adanya puncak-puncak lain yang berbeda dari puncak difraktogram standar dari material serat *nata de coco*, yaitu pada posisi 2θ di titik 25,513; 36,710; dan 42,510 dengan nilai intensitas masing-masing sebesar 2252,90; 361,21; dan 333,87 au. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan difraktogram standar untuk senyawa SiO₂ seperti pada Gambar 4.9 untuk membuktikan bahwa nanofiller SiO₂ telah terkomposit di dalam material serat *nata de coco*.



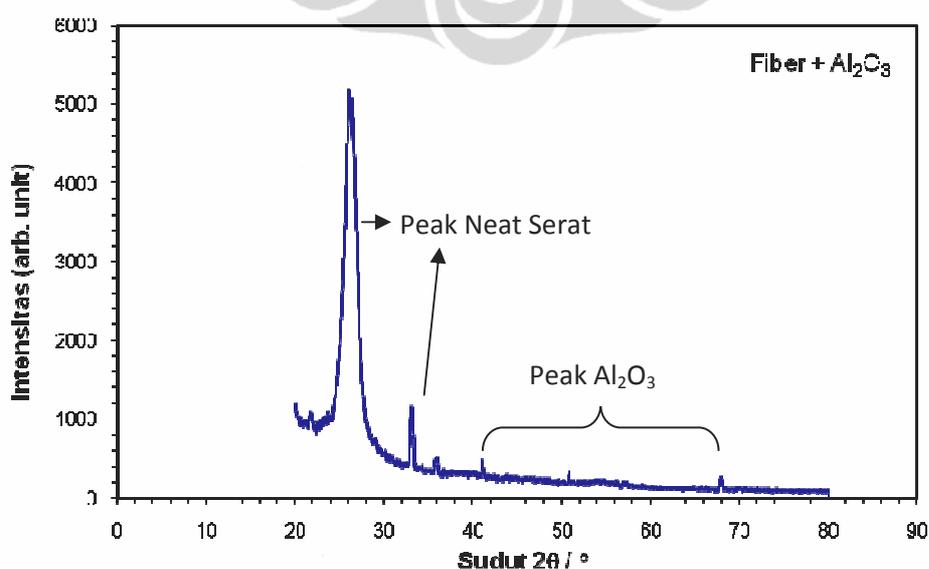
Gambar 4.9. Difraktogram Standar SiO₂

Dari Gambar 4.9, dapat dilihat bahwa puncak tertinggi terletak di posisi 2θ pada titik 25,585 dan untuk puncak-puncak tertinggi lainnya terletak pada posisi 36,701 dan 42,508. Nilai intensitas dari selulosa murni mengalami kenaikan menjadi sebesar 5039 au. bila dibandingkan nilai intensitas dari difraktogram serat murni pada Gambar 4.6 yang besar nilainya sekitar 4998,52 au, hal ini disebabkan karena adanya nanofiller SiO_2 yang juga bersifat kristal sehingga membentuk puncak-puncak baru SiO_2 , ini menunjukkan bahwa struktur material komposit tersebut lebih bersifat kristalin jika dibandingkan dengan material serat *nata de coco* murninya. Spektra 8 puncak (*peak*) tertinggi dari komposit serat *nata de coco* - nanofiller SiO_2 ini dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut ini:

Tabel 4.6. Puncak-puncak Tertinggi XRD Komposit Serat- Nanofiller SiO_2

No.	Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	FWHM [$^{\circ}2\theta$.]	Area [cts* $^{\circ}2\theta$.]	Backgr. [cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	21,8117	0,4723	21,97	712,41	4,73136	734,15	2,29
2	25,5131	0,5772	345,55	455,54	3,60010	2252,90	89,10
3	26,0239	0,6298	1280,43	572,80	3,97573	5039,14	100,00
4	33,2052	0,3149	168,98	347,00	3,13284	544,01	26,39
6	36,7100	0,3321	143,46	301,70	3,08770	361,21	15,22
7	42,5100	0,3753	132,33	329,31	3,10067	333,87	22,66
8	54,9067	1,5360	84,32	142,67	1,94025	41,17	2,00

4.5.3 Hasil Analisa XRD Komposit Serat dan Nanofiller Al_2O_3



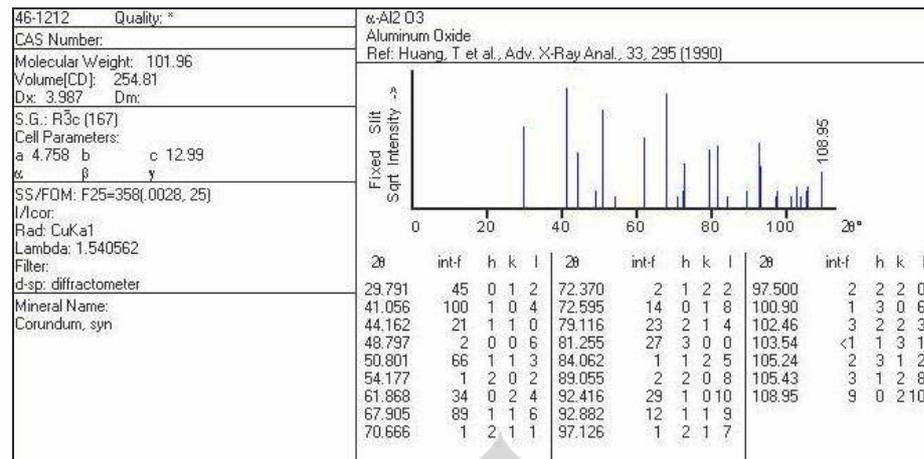
Gambar 4.10. Hasil Analisa XRD Komposit Serat – Nanofiller Al_2O_3

Pada Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa partikel nanofiller Al_2O_3 telah masuk ke dalam lembaran serat *nata de coco*, hal ini dibuktikan dengan adanya puncak-puncak difraktogram spesifik dari nanofiller Al_2O_3 yaitu pada posisi 2θ di titik 41,070; 50,7901 dan 67,8789 dengan nilai intensitas masing-masing sebesar 502,08; 267,62 dan 221,78 au. Pada hasil analisa XRD material gabungan serat dengan nanofiller Al_2O_3 ini, diperoleh derajat kristalinitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedua hasil analisa dari XRD di atas baik hasil XRD dari serat *nata de coco* murni maupun komposit serat – nanofiller SiO_2 , ini dapat dilihat dari banyaknya puncak-puncak difraktogram baru serta meningkatnya nilai intensitas pada puncak difraktogram utama yang terletak pada 2θ di titik 26,008, yaitu sebesar 5069 au. Ini membuktikan bahwa nanofiller Al_2O_3 dapat memicu pembentukan serat *nata de coco* menjadi lebih bersifat kristal bila dibandingkan dengan struktur kristal serat *nata de coco* murninya. Menurut M. Zainuri et al. 2008 [46], bahwa Al_2O_3 memiliki kristalinitas yang tinggi, sehingga kekuatan mekanik *modulus elastis* juga tinggi. Untuk mengetahui spesifik puncak difraktogram dari material komposit serat-nanofiller Al_2O_3 dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7. Puncak-puncak Tertinggi XRD Komposit Serat – Nanofiller Al_2O_3

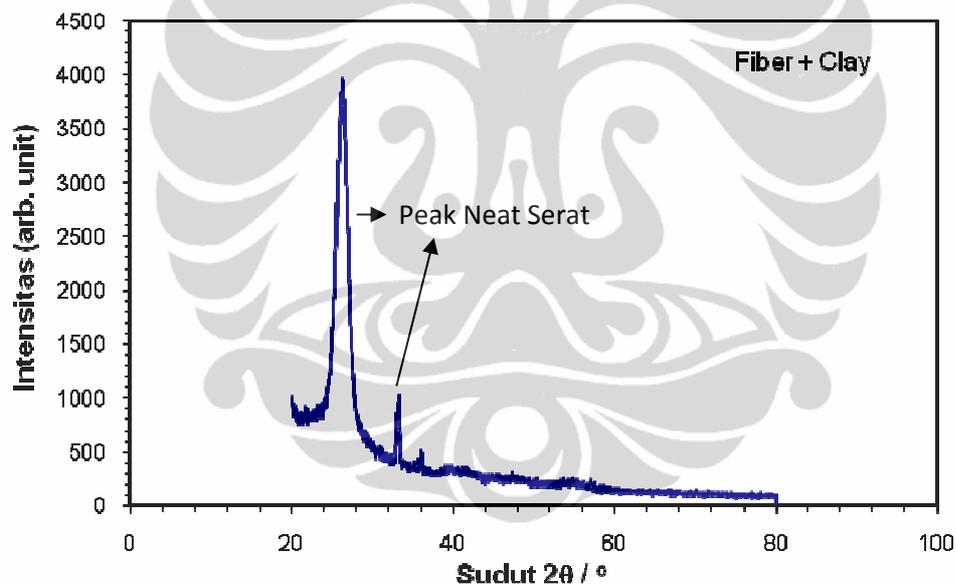
No.	Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	FWHM [$^{\circ}2\theta$.]	Area [cts* $^{\circ}2\theta$.]	Backgr.[cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	21,7902	0,3936	53,38	913,49	4,73597	986,49	3,30
2	26,0082	0,6298	2586,63	714,59	3,97809	5069,75	100,00
3	26,4925	0,3936	1554,64	691,38	3,90664	4692,06	96,16
4	33,1477	0,4723	324,46	401,01	3,13813	1102,39	16,73
5	35,9280	0,3149	351,75	334,22	2,90239	484,62	4,13
6	41,0700	0,5643	450,12	431,43	3,25469	502,08	18,54
7	50,7901	0,4320	187,98	345,13	2,96750	267,21	8,12
8	67,8789	0,5211	161,31	409,55	3,11789	221,78	13,69

Dari Gambar 4.11 difraktogram standar untuk Al_2O_3 ini dapat dilihat bahwa puncak tertinggi intensitas kristal terletak pada posisi 2θ di titik 41,056, sedangkan untuk puncak-puncak yang lain terletak pada posisi 2θ di titik 50,801 dan 67,905. Posisi ini sama dengan hasil XRD dari puncak senyawa Al_2O_3 pada analisa komposit serat-nanofiller Al_2O_3 pada Gambar 4.10.



Gambar 4.11. Difraktogram Standar Al₂O₃

4.5.4 Hasil Analisa XRD Komposit Serat - Nanofiller Clay (Ca Montmorillonite)



Gambar 4.12. Hasil Analisa XRD Komposit Serat - Nanofiller Clay

Dari Gambar 4.12, dapat dilihat bahwa spektra XRD dari komposit serat *nata de coco* dan nanofiller clay tidak mengalami perubahan puncak-puncak pada posisi 2θ dari struktur kristalnya (sama seperti struktur kristal pada serat *nata de coco* murni), hal ini disebabkan karena sifat dari clay jenis *Ca montmorillonite* ini sangat higroskopis, dan mudah tersuspensi dalam larutan air [47], khususnya pada tahap awal proses pembuatan *nata de coco*, selain itu, clay memiliki sifat mudah beraglomerasi satu dengan yang lain, sehingga menyebabkan struktur clay

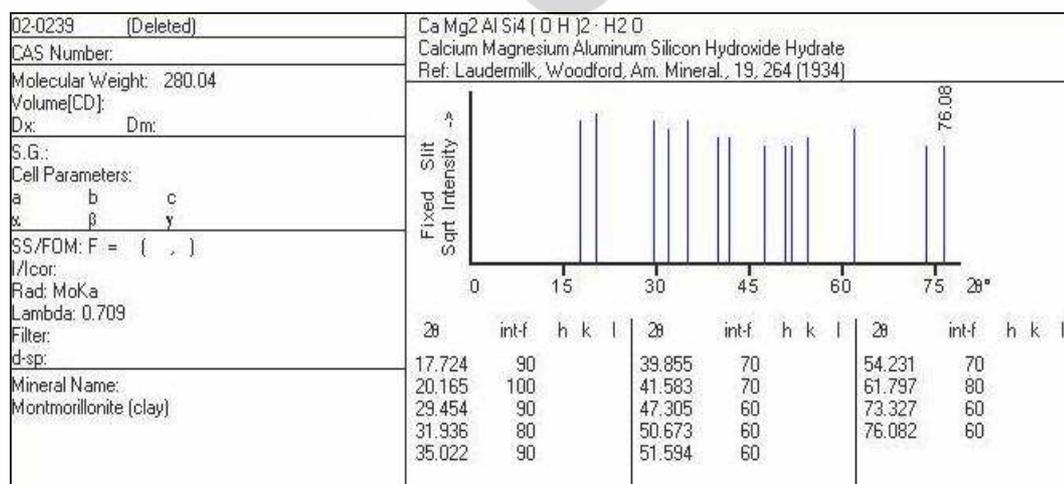
mengalami perubahan sifat dari kristal menjadi amorf, oleh sebab itu struktur clay tidak dapat dideteksi oleh alat XRD. Untuk mengetahui apakah nanofiller clay tersebut sudah masuk ke dalam lebaran serat *nata de coco* atau tidak, dapat digunakan alat analisa lain seperti SEM-EDX, sehingga persentase dari distribusi nanofiller di dalam serat dapat diketahui dengan jelas.

Tabel 4.8. Puncak-puncak Tertinggi XRD Komposit Serat – NanoClay

No.	Pos. [°2Th.]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr.[cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	26,2979	1,1808	3801,00	618,11	3,93503	3919,22	100,00
2	33,1623	0,3149	180,55	398,89	3,13679	961,25	17,81
3	35,9192	0,4723	64,00	332,00	2,90308	480,36	4,21
4	47,3268	1,2595	41,85	228,00	2,23028	33,68	1,03
5	54,7895	1,5744	72,47	170,00	1,94549	46,66	1,43
6	57,0465	0,3840	34,11	153,00	1,87325	66,63	2,04

Dari Tabel 4.8, dapat dilihat bahwa puncak-puncak difraktogram yang tertinggi terletak di posisi 2θ yang sama dengan XRD pada material serat *nata de coco* murni, yaitu pada posisi 26,2979; 33,1623; 35,9192 dan lain sebagainya. Ini menunjukkan bahwa clay yang dimasukkan ke dalam serat berbentuk amorf, sehingga tidak dapat dideteksi oleh alat XRD.

Berikut adalah puncak-puncak difraktogram standar dari clay jenis *Ca Montmorillonite* seperti tampak pada Gambar 4.13 di bawah ini:



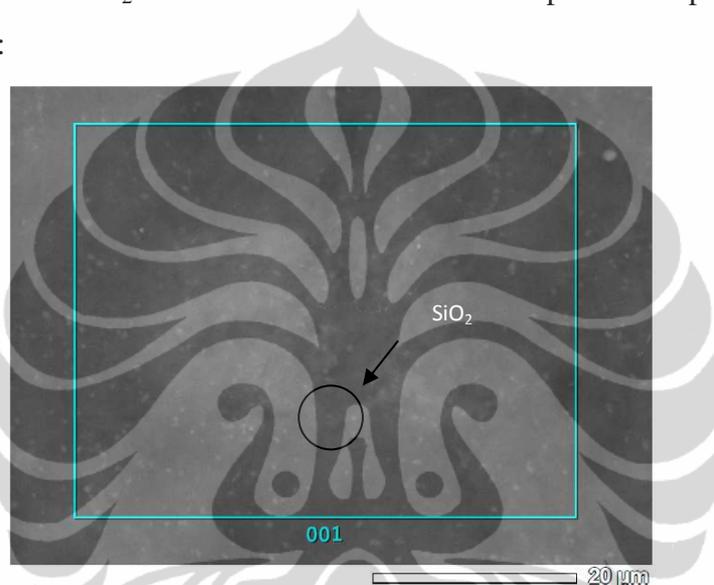
Gambar 4.13. Difraktogram Standar Clay

Dari Gambar 4.13, dapat dilihat bahwa struktur dasar dari clay (*Ca montmorillonite*) sebenarnya adalah bersifat kristal dan memiliki puncak-puncak tertinggi pada posisi 2θ di titik 17,724; 20,165; 29,454; 31,936; 35,022 dan lain sebagainya.

4.6. HASIL ANALISA SEM-EDX

4.6.1 Hasil Analisa SEM-EDX Komposit Serat - Nanofiller SiO_2

Distribusi nanofiller SiO_2 di dalam serat *nata de coco* dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut ini:



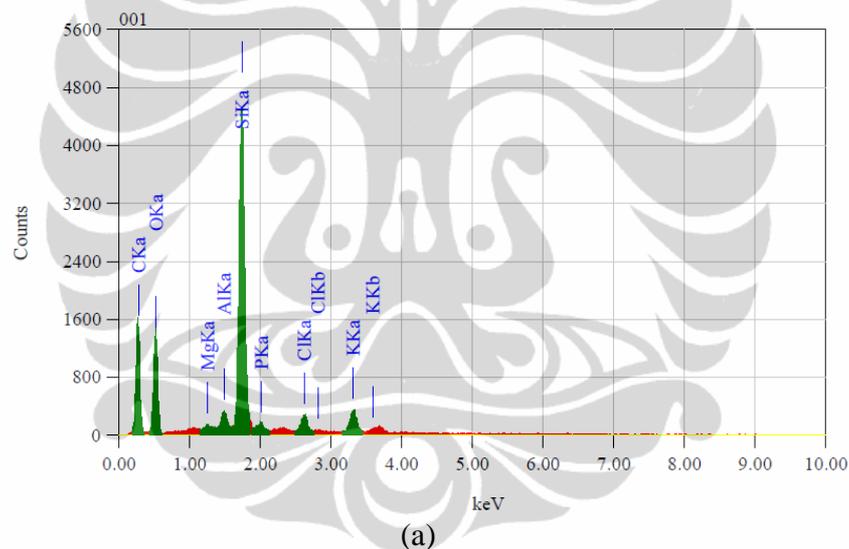
Gambar 4.14. Hasil SEM-EDX Morfologi Komposit Serat – Nanofiller SiO_2

Gambar 4.14 menunjukkan hasil analisa morfologi dengan menggunakan SEM-EDX dari komposit serat-nanofiller SiO_2 , pada gambar tersebut terlihat jelas adanya nanofiller SiO_2 yang terdistribusi secara merata pada permukaan serat *nata de coco*, sedangkan untuk mengetahui apakah nanofiller SiO_2 terikat di dalam serat bisa dilihat dengan menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM), namun pada penelitian ini analisa menggunakan TEM tidak dilakukan, tetapi untuk mengetahui apakah nanofiller SiO_2 terikat di dalam serat bisa digunakan analisa lain, misalnya dengan menggunakan analisa XRD dengan melihat puncak-puncak tertinggi (*peak*) hasil XRD dari material nanokomposit dengan XRD standarnya. Dari hasil XRD di atas, sudah dibuktikan, bahwa terdapat puncak intensitas SiO_2 pada posisi 2θ yang sama dengan 2θ standarnya,

sehingga dapat disimpulkan, bahwa nanofiller SiO_2 tersebut terikat dengan baik pada permukaan dan bagian dalam serat *nata de coco*.

Dari analisa SEM-EDX ini juga dapat diketahui persentase jumlah massa unsur yang terdapat pada material komposit serat-nanofiller SiO_2 , dimana jumlah persen massa silika sekitar 16,06% merupakan unsur terbesar selain Karbon (C) sekitar 44,55% dan Oksigen (O) sekitar 35,00% (karbon dan oksigen adalah unsur terbesar dalam penyusun serat *nata de coco*).

Unsur-unsur lain yang terdapat dalam material komposit ini antara lain adalah Mg 0,23%, Al 0,90%, P 0,39%, Cl 1,13% dan K 1,71%, dimana unsur-unsur ini sudah terkandung di dalam air kelapa [48,49]. Persentase jumlah massa untuk masing-masing unsur penyusun komposit dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut ini :



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.2494

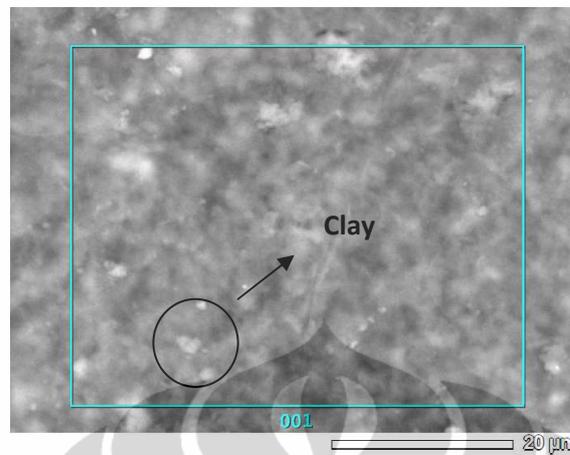
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%
C K	0.277	44.55	0.11	56.20
O K	0.525	35.00	0.29	33.15
Mg K*	1.253	0.23	0.09	0.14
Al K	1.486	0.90	0.09	0.51
Si K	1.739	16.06	0.08	8.67
P K*	2.013	0.39	0.10	0.19
Cl K	2.621	1.13	0.09	0.48
K K	3.312	1.71	0.11	0.66
Total		100.00		100.00

(b)

Gambar 4.15. Hasil Analisa Komposisi SEM-EDX (a) *Peak* Intensitas dan (b) Komposisi Kimia Komposit Serat – SiO_2

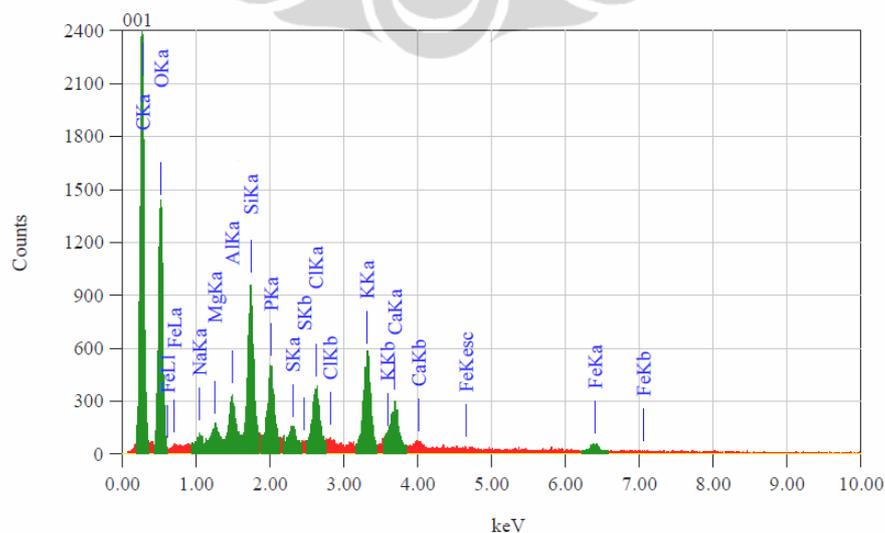
4.6.2 Hasil Analisa SEM-EDX Komposit Serat - Nanofiller Clay

Distribusi clay pada serat *nata de coco* dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut ini:



Gambar 4.16. Hasil SEM-EDX Morfologi Komposit Serat – Nanofiller Clay

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nanofiller clay terdistribusi di dalam serat *nata de coco*, ini berarti bahwa proses pengisian nanofiller clay ke dalam serat *nata de coco* berjalan dengan baik. Pada analisa SEM-EDX ini sekaligus dapat diketahui jenis clay yang digunakan, yaitu *Ca Montmorillonite* dengan struktur kimia $(Ca.Mg_2 Al Si_4 (OH)_2 . H_2O)$. Unsur-unsur ini dapat dilihat dari Gambar 4.17 (a) dan (b), yang mana terdapat sejumlah massa Ca 1,62%, Mg 0,43%, Al 0,99% dan Si 3,24%, sedangkan unsur terbesar masih didominasi oleh karbon dan oksigen sebagai penyusun utama dari serat *nata de coco*, yaitu masing-masing sebanyak C 46,77% dan O 38,97%.



(a)

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.2701

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%
C K	0.277	46.77	0.09	57.56
O K	0.525	38.97	0.36	36.00
Na K	1.041	0.41	0.16	0.26
Mg K	1.253	0.43	0.12	0.26
Al K	1.486	0.99	0.11	0.54
Si K	1.739	3.24	0.10	1.70
P K	2.013	2.01	0.10	0.96
S K	2.307	0.41	0.09	0.19
Cl K	2.621	1.47	0.10	0.61
K K	3.312	3.03	0.13	1.15
Ca K	3.690	1.62	0.15	0.60
Fe K	6.398	0.65	0.36	0.17
Total		100.00		100.00

(b)

Gambar 4.17. Hasil Analisa SEM-EDX (a) *Peak* Intensitas
(b) Komposisi Kimia Komposit Serat – Clay

4.7. UJI KUAT TARIK MATERIAL KOMPOSIT

Tahap pertama yang dilakukan untuk mengetahui kinerja komposit serat *nata de coco* adalah melakukan uji mekanik kuat tarik dengan menggunakan alat uji *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Uji ini digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari lembaran serat *nata de coco* sebelum dan setelah menjadi komposit. Pengujian kuat tarik ini dilakukan sesuai dengan ASTM-D638.

Hasil uji kuat tarik untuk seluruh material baik serat murni maupun komposit serat-resin ditunjukkan dalam Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4.9. Hasil Uji Kuat Tarik Komposit Serat

No	Kode Sample	Max Force (N)	Max Strain (%)	Elongation at Break (%)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (MPa)
1	Serat-SiO ₂ -EP	28,797	2,620	5,190	4,21	914,89
2	Serat-Al ₂ O ₃ -EP	93,016	5,758	6,082	12,98	1.456,85
3	Serat-Clay-EP	69,172	3,000	4,790	10,97	771,23
4	Serat-SiO ₂ -VE	219,938	5,864	5,924	19,81	1.301,92
5	Serat-Al ₂ O ₃ -VE	217,750	6,368	6,368	21,02	903,68
6	Serat -Clay-VE	305,078	7,278	7,282	27,53	957,65
7	Serat-SiO ₂ -PE	179,609	10,558	10,568	16,27	619,83
8	Serat-Al ₂ O ₃ -PE	125,438	7,144	7,182	10,07	375,65
9	Serat-Clay-PE	193,641	8,972	8,976	15,59	590,95
10	Serat-SiO ₂	218,969	15,816	15,824	230,86	2.760,87
11	Serat-Al ₂ O ₃	143,922	10,992	10,992	177,43	2.677,54
12	Serat-Clay	135,922	10,976	10,982	128,42	3.920,38

No	Kode Sample	Max Force (N)	Max Strain (%)	Elongation at Break (%)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (MPa)
13	Serat-Epoxy	1169,22	5,012	6,046	21,00	1.523,52
14	Serat-Vinil Ester	906,094	8,372	8,378	29,35	1.457,89
15	Serat-Poliester	923,281	9,748	9,788	25,79	1.200,08
16	Pure Serat Nata-1	87,922	7,545	7,533	210,81	9.888,11
17	Pure Serat Nata-2	143,469	11,744	11,750	390,39	11.198,42
18	Pure Serat Nata-3	113,906	14,730	14,734	226,90	10.191,63

Keterangan :

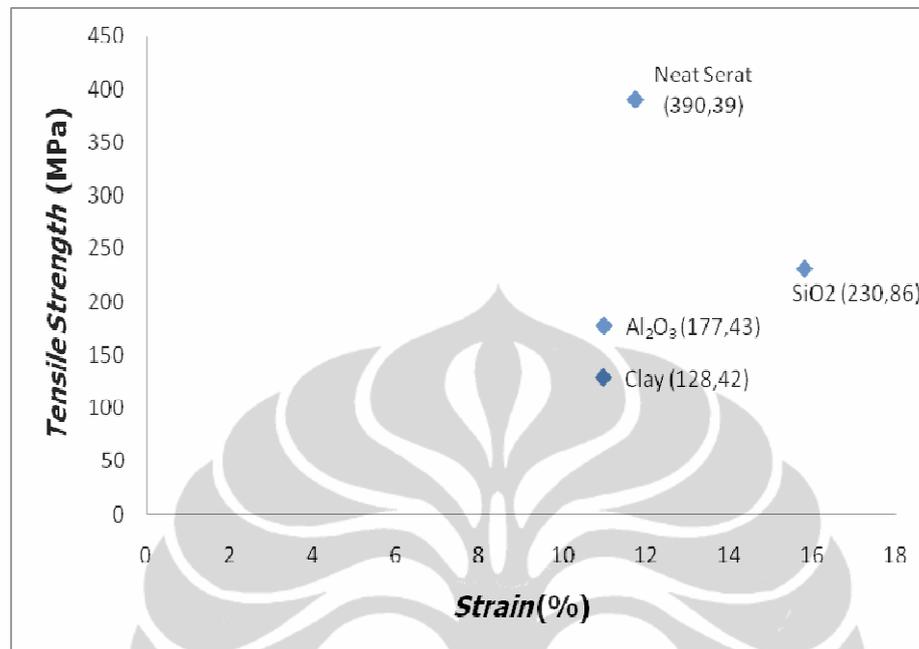
EP : Epoksi
 VE : Vinil Ester
 PE : Poliester

Dari Tabel 4.8, memperlihatkan bahwa hasil uji tarik lembaran serat *nata de coco* memiliki kekuatan tarik yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut terjadi baik dalam bentuk serat murni maupun serat yang telah dikomposit oleh resin. Dimana material yang memiliki kekuatan tarik terbesar adalah serat *nata de coco* murni dengan kisaran kekuatan tarik sebesar 210 – 390 MPa dan *tensile modulus* sekitar 9,9 – 11,2 GPa. Sebagai pembandingan, kekuatan tarik serat *nata de coco* murni yang dibuat dalam penelitian ini, lebih tinggi bila dibandingkan dengan serat *nata de coco* murni yang dilaporkan oleh Iguchi et al. 2000 [7] dengan kekuatan tarik sebesar 100 – 260 MPa.

4.7.1. Perbandingan Kuat Tarik Komposit Serat - Nanofiller

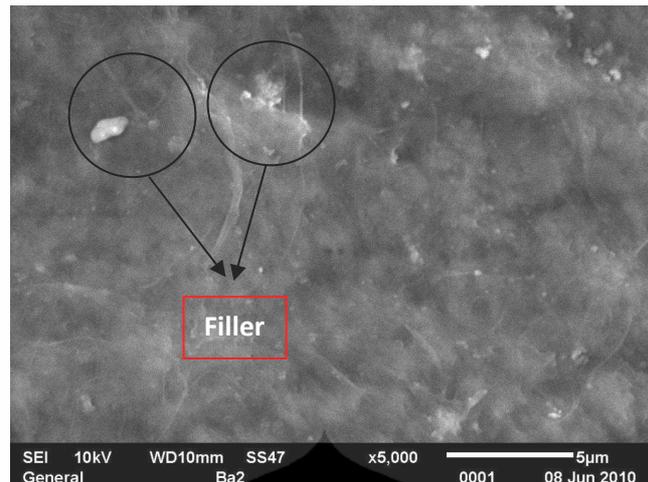
Selain melakukan uji tarik dengan menggunakan serat *nata de coco* murni, pengujian juga dilakukan untuk komposit serat nanofiller, dimana dari hasil uji pada Gambar 4.18 tersebut menunjukkan bahwa kuat tarik komposit serat-nanofiller mengalami penurunan ketika satu lembaran serat *nata de coco* diisi dengan nanofiller, yang mana besar kekuatan tarik masing-masing adalah: serat - SiO₂ (230,86 MPa), serat - Al₂O₃ (177,43 MPa) dan serat - Clay (128,42 MPa), ini mungkin terjadi karena ukuran partikel nanofiller yang diisi ke dalam serat *nata de coco* tidak seragam sehingga masih banyak partikel nanofiller yang ukurannya di atas ukuran nano atau lebih besar dari 100 nm, dengan ukuran partikel di atas ukuran nano tersebut, kemungkinan ada sebagian nanofiller yang tidak terbungkus oleh mikrofibril, sehingga menyebabkan serat-serat mikrofibril

tersebut menjadi sobek atau rusak, akibatnya kekuatan tarik dari komposit serat – nanofiller tersebut menjadi turun.



Gambar 4.18. Grafik Uji Kuat Tarik *Neat* Serat Terhadap Nanofiller

Dari Gambar 4.18 menunjukkan pengaruh dari keberadaan nanofiller terhadap serat *nata de coco*, yang mana komposit serat dengan nanofiller SiO₂ memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar daripada komposit serat-nanofiller Al₂O₃ dan serat-nanofiller clay, ini disebabkan karena ukuran partikel SiO₂ lebih seragam daripada partikel nanofiller yang lain (Gambar 4.13), padahal dari sifat mekanik, *neat* Al₂O₃ sendiri memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibanding sifat mekanik dari *neat* SiO₂ [36]. Faktor keseragaman ukuran partikel dari nanofiller inilah yang menyebabkan komposit serat-nanofiller SiO₂ lebih tinggi daripada komposit serat-nanofiller Al₂O₃ dan serat- nanofiller Clay. Ukuran partikel dan morfologi serat dengan perbesaran 5000x dapat dilihat dari analisa SEM pada Gambar 4.19 berikut ini :



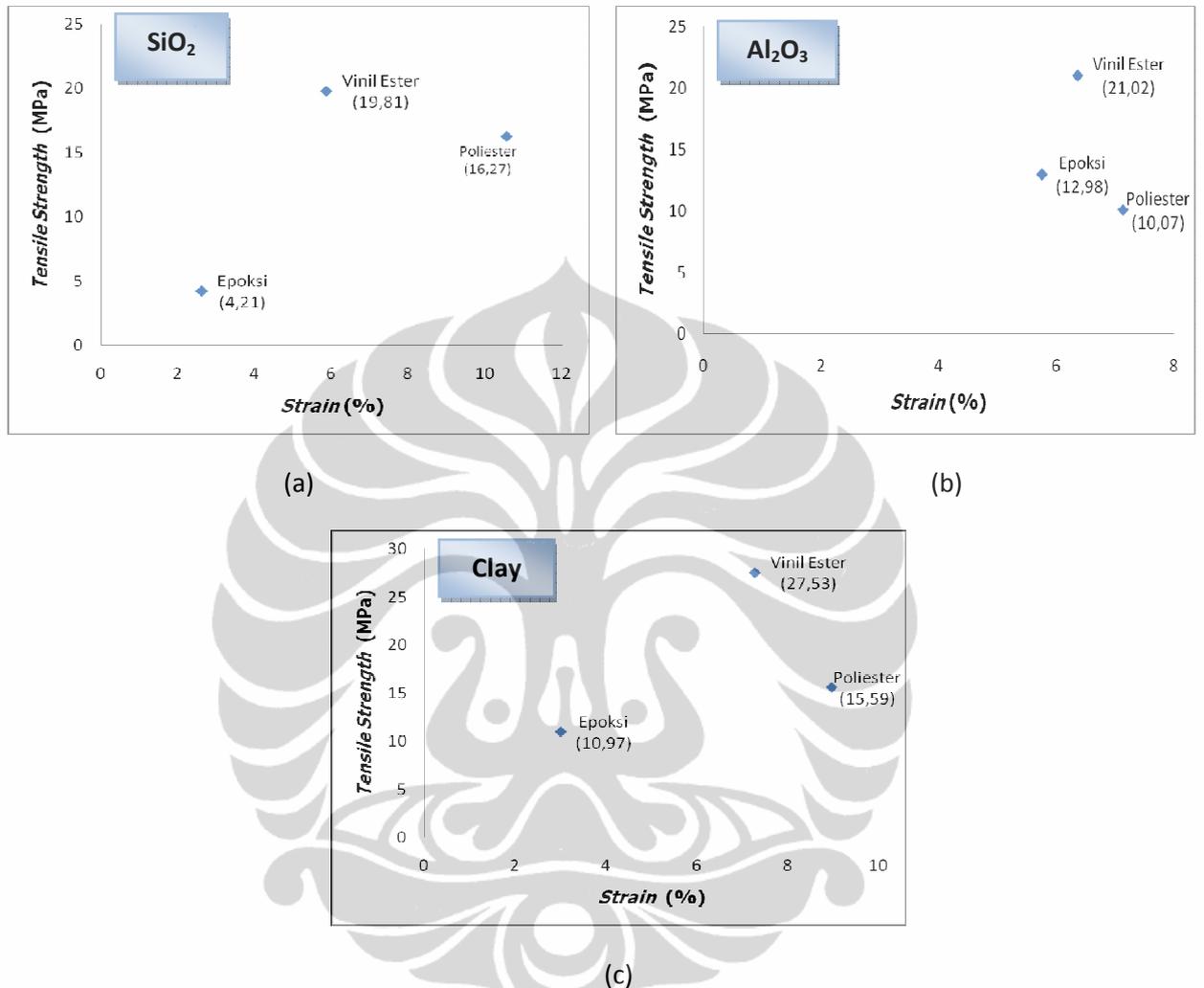
Gambar 4.19. Hasil Analisa SEM Serat *Nata de coco* – Nanofiller Al_2O_3 dengan Perbesaran 5000x

Dari hasil analisa SEM pada Gambar 4.19, dapat dilihat bahwa serat *nata de coco* mengalami kerusakan atau sobek pada bagian serat mikrofibrilnya, disebabkan karena terdapat partikel dari nanofiller Al_2O_3 yang ukurannya di atas ukuran nano, hal inilah yang menyebabkan nilai kuat tarik dari komposit serat – nanofiller Al_2O_3 lebih rendah daripada komposit serat – nanofiller SiO_2 .

4.7.2. Perbandingan Kuat Tarik Komposit Serat Resin – Nanofiller

Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis resin dan partikel nanofiller, yang mana masing-masing variasi tersebut memiliki nilai kuat tarik yang berbeda-beda. Kuat tarik dari material komposit serat – nanofiller dengan resin juga mengalami penurunan kekuatan yang cukup signifikan, bila dibandingkan dengan kuat tarik serat murni, yaitu sekitar 4,21 – 27,53 MPa. Dimana komposit serat – nanofiller – resin yang memiliki kuat tarik terbaik adalah komposit serat – clay – vinil ester yang kekuatan tariknya sebesar 27,53 MPa dan *tensile modulus* sebesar 0,957 GPa, sedangkan untuk komposit serat – nanofiller – resin yang memiliki kuat tarik terkecil adalah komposit serat – SiO_2 – epoksi dengan kuat tarik sebesar 4,21 MPa dan *tensile modulus* sebesar 0,914 GPa. Ini terjadi karena serat *nata de coco* tersebut mengalami kontak dengan cairan resin pada saat proses pencampuran serat – resin (komposit), menyebabkan serat menjadi basah dan struktur badan serat menjadi besar (*swelling*) akibatnya kristalinitas serat semakin berkurang, sehingga kekuatan serat tersebut menjadi turun.

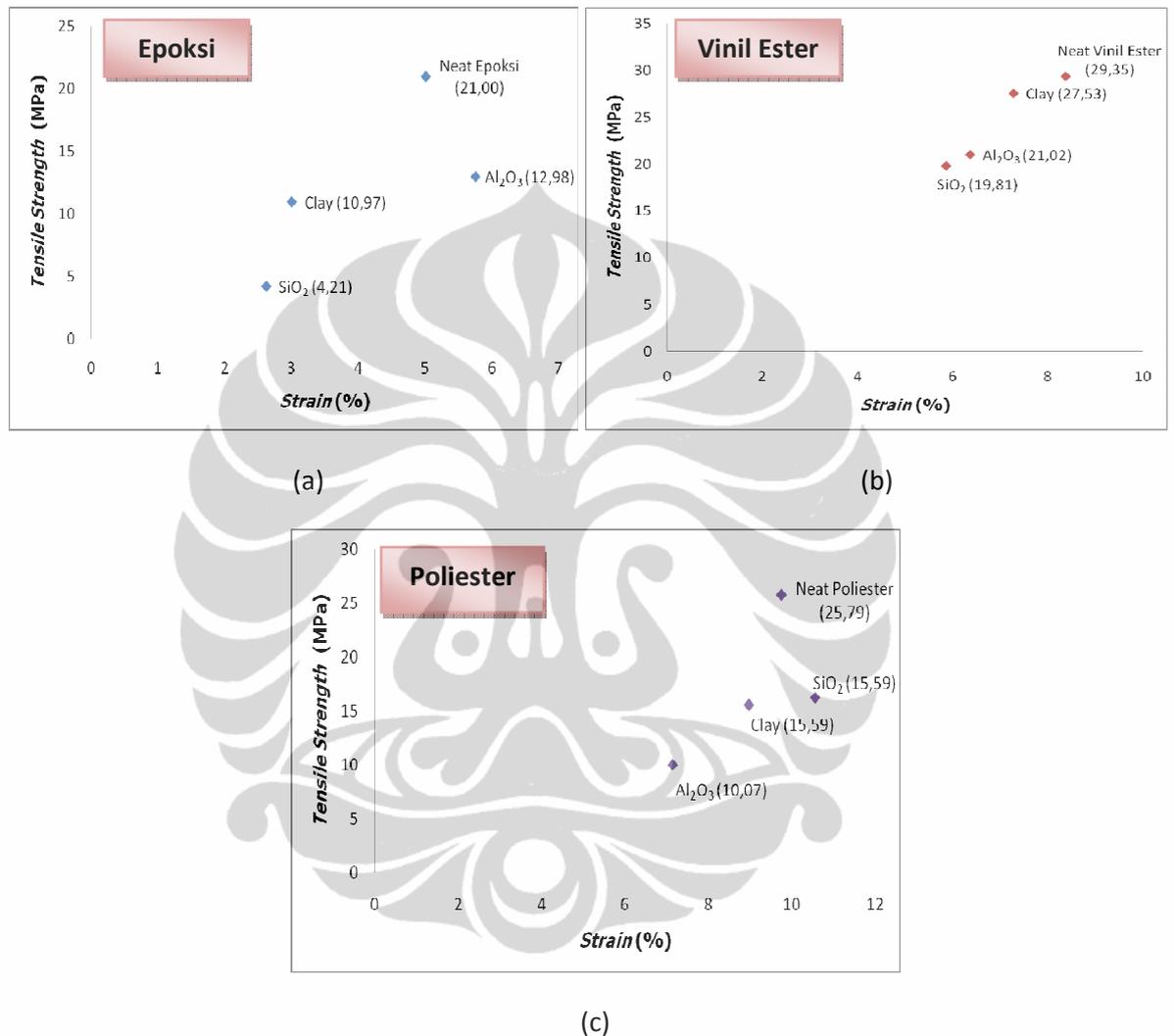
Nilai kuat tarik masing-masing komposit serat-resin terhadap nanofiller dapat dilihat dari Gambar 4.20 berikut ini :



Gambar 4.20. Grafik Uji Kuat Tarik Komposit Serat Terhadap Resin
(a) Nanofiller SiO₂ (b) Nanofiller Al₂O₃ dan (c) Nanofiller Clay

Dari Gambar 4.20 (a), (b) dan (c), dapat dilihat bahwa untuk satu lembar serat yang terisi dengan nanofiller SiO₂, Al₂O₃ dan clay, memiliki perbedaan kuat tarik tertentu bila dikompositkan dengan menggunakan jenis resin yang berbeda, yang mana material serat-nanofiller dengan komposit resin vinil ester memiliki kuat tarik yang paling tinggi, yaitu sekitar 19,81 – 27,42 MPa, dan kuat tarik resin vinil ester terhadap nanofiller yang paling baik adalah nanofiller clay sebesar 27,53 MPa. Ini menunjukkan bahwa interaksi tarik menarik antar molekul komposit serat-clay-vinil ester, lebih baik bila dibandingkan dengan interaksi

tarik-menarik antar molekul material komposit serat-vinil ester dengan nanofiller lain, disamping itu secara mekanik *neat* resin vinil ester juga memiliki kuat tarik yang lebih besar dari pada *neat* resin yang lain, ini dapat dilihat dari Gambar 4.21 berikut ini :



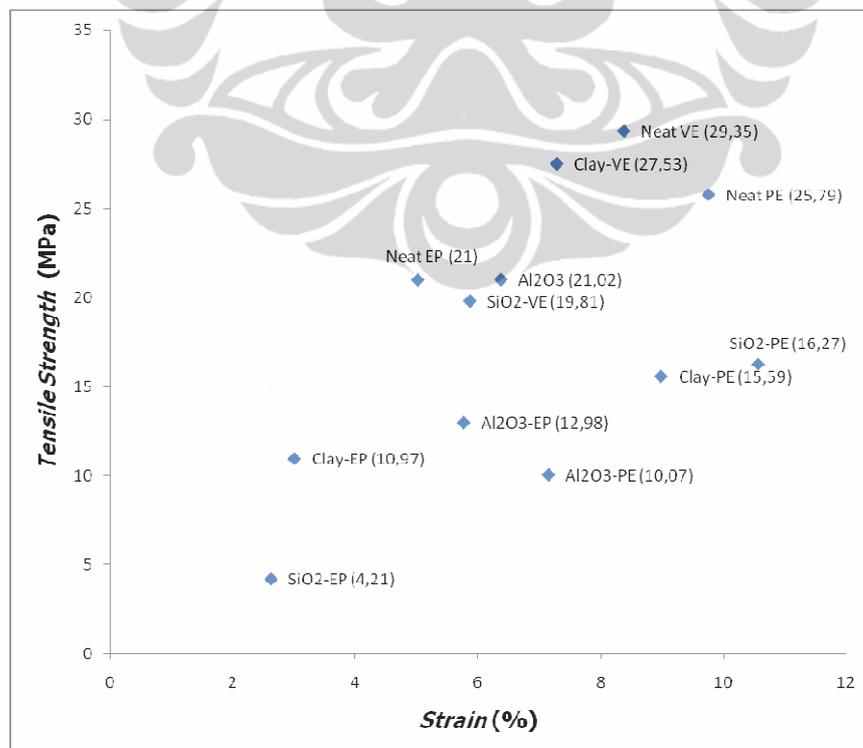
Gambar 4.21. Grafik Uji Kuat Tarik Komposit Serat-Resin Terhadap Nanofiller (a) Resin Epoksi, (b) Resin Vinil ester dan (c) Resin Poliester

Dari Gambar 4.21 (a), (b) dan (c) dapat dilihat bahwa *neat* vinil ester memiliki nilai kuat tarik yang paling tinggi diantara *neat* resin lain, seperti epoksi dan poliester, yang mana nilai kuat tarik dari resin *neat* vinil ester sebesar 29,35 MPa, sedangkan untuk *neat* resin epoksi dan poliester masing-masing memiliki kuat tarik sebesar 21,00 dan 25,79 MPa. Ini membuktikan bahwa kekuatan

mekanik *tensile strength* dari vinil ester lebih tinggi dari resin epoksi dan poliester untuk satu lembar serat yang dikomposit.

Sedangkan komposit serat – epoksi memiliki nilai kuat tarik yang lebih rendah dari komposit serat – vinil ester dan serat – poliester, karena resin epoksi lebih sulit penanganannya pada saat proses pembuatan komposit, selain memiliki viskositas yang lebih tinggi, resin epoksi juga sering menimbulkan rongga-rongga udara (*void*) yang menjadi cacat pada material komposit, sehingga menjadi daerah yang paling rapuh pada saat dilakukan uji kuat tarik.

Resin poliester sendiri memiliki sifat yang getas, atau mudah hancur bila diberi tekanan, selain itu resin poliester juga memiliki daya rekat yang kurang baik dengan serat (*reinforcement*), ini yang menyebabkan resin poliester memiliki kekuatan tarik tidak sebesar resin vinil ester, tetapi resin poliester ini memiliki viskositas yang rendah sebelum dicampur dengan katalis, sehingga penanganan pada saat komposit lebih mudah dari pada resin epoksi, selain itu resin poliester ini tidak menimbulkan banyak rongga-rongga udara (*void*) seperti resin epoksi. Berikut ini adalah grafik perbandingan kuat tarik untuk masing-masing variasi komposit dan *neat* resin.



Gambar 4.22. Grafik Uji Kuat Tarik Komposit Overall

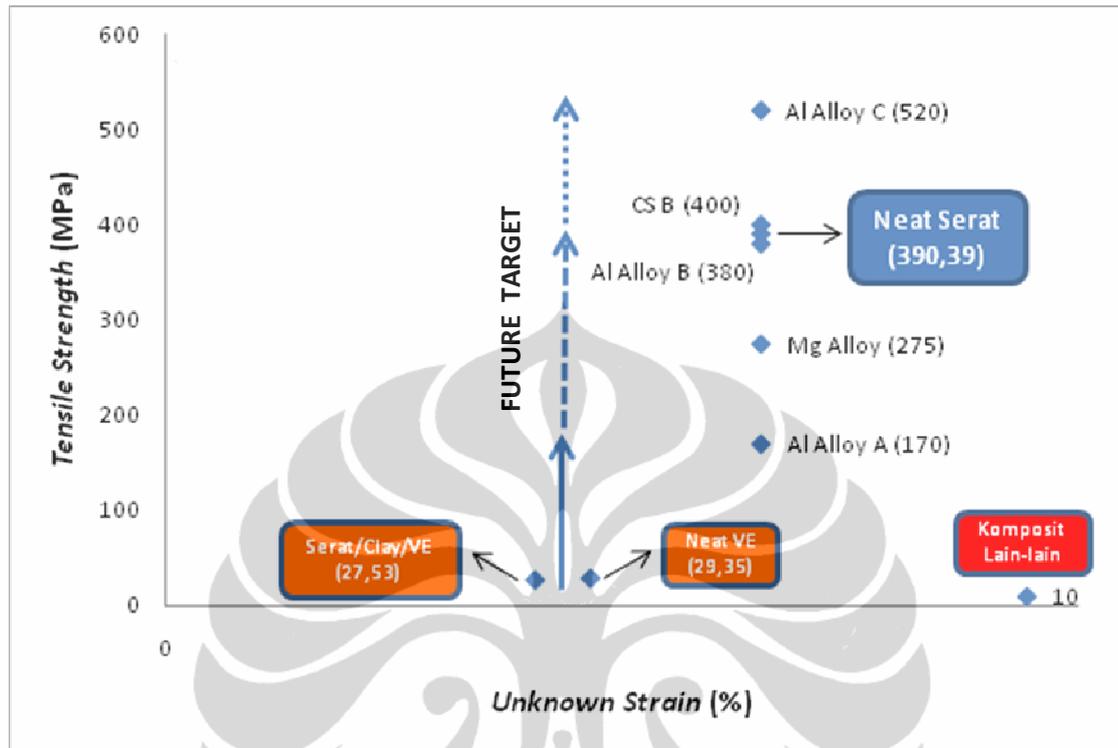
Dari Gambar 4.22, dapat dilihat bahwa *neat* vinil ester memiliki kuat tarik yang paling tinggi diantara komposit yang lain, yang mana besar nilai kuat tarik *neat* vinil ester ini adalah 29,35 MPa. Pengaruh dari resin vinil ester ini cukup signifikan bila dibandingkan dengan resin lain, karena komposit serat-nanofiller dengan vinil ester memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit serat-nanofiller dengan resin epoksi maupun resin poliester, ini dapat dilihat dari nilai kuat tarik komposit yang menggunakan resin vinil ester yaitu masing-masing sebesar 19,81 MPa untuk SiO₂, 21,02 MPa untuk Al₂O₃ dan 27,53 MPa untuk Clay. Sedangkan komposit yang menggunakan resin epoksi memiliki nilai kuat tarik rata-rata di bawah 13 MPa, dan untuk komposit yang menggunakan resin poliester memiliki nilai kuat tarik rata-rata di bawah 17 MPa.

Ini memperlihatkan bahwa kombinasi antara resin vinil ester dengan nanofiller pada serat *nata de coco* cukup baik diantara kombinasi resin dan nanofiller yang lain, sehingga penelitian mengenai material komposit dari serat-nanofiller clay-vinil ester dapat dikaji lebih lanjut.

4.8. TARGET PENGEMBANGAN KOMPOSIT

Untuk perkembangan selanjutnya, komposit serat – clay – vinil ester ini dapat dibuat kembali dengan modifikasi baru mulai dari *pretreatment* serat, preparasi partikel nanofiller sampai teknik proses komposit terbaik, sehingga ke depannya pada tahap pertama pengembangan komposit, diharapkan dapat diciptakan suatu material komposit berbahan dasar serat yang memiliki kekuatan tarik mencapai kekuatan material Al Alloy tipe A (Aluminium dengan komposisi Al-Cu-Mg) sebesar 170 MPa, kemudian pada tahap ini dilakukan evaluasi hasil mengenai kelemahan dan keunggulan dari proses pembuatan komposit yang sudah dilakukan, apabila sesuai target, maka komposit ini dikembangkan lagi ketahap kedua sampai memiliki kekuatan tarik mencapai 390 MPa (Serat Murni). Evaluasi kembali hasil, bila target tercapai, maka komposit ini dikembangkan lagi ketahap selanjutnya sampai diperoleh material komposit berbahan dasar serat *nata de coco* yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi yang mendekati material Al Alloy C (Aluminium dengan komposisi Al-Zn -Mg-Cu) sebesar 520 MPa.

Grafik target pengembangan material komposit berbahan dasar serat *nata de coco* dapat dilihat pada Gambar 4.23 berikut ini :



Gambar 4.23. Target Pengembangan Material Komposit Berbahan Dasar Serat *Nata de coco*

Keterangan :

- Al Alloy A : Aluminium dengan komposisi logam Al-Cu-Mg
- Al Alloy B : Aluminium dengan komposisi logam Al-Cu-Mg-Si
- Al Alloy C : Aluminium dengan komposisi logam Al-Zn-Mg-Cu
- Mg Alloy : Magnesium dengan komposisi logam Al 10% dan Mn 0,1%
- Carbon Grade B : Carbon Steel A-131 Grade B dengan komposisi C-Mn-Si
- Neat Serat : Serat *nata de coco* murni