



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT POLIPROPILENA
BERPENGUAT SERAT SISAL DAN SERAT SABUT KELAPA
UNTUK MATERIAL KOMPONEN OTOMOTIF**

TESIS

**NANANG MASRUCHIN
1006787640**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT POLIPROPILENA
BERPENGUAT SERAT SISAL DAN SERAT SABUT KELAPA
UNTUK MATERIAL KOMPONEN OTOMOTIF**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**NANANG MASRUCHIN
1006787640**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN ILMU MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Nanang Masruchin

NPM : 1006787640

Tanda Tangan :



Tanggal : 13 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Nanang Masruchin
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Tesis : Pengembangan Komposit Polipropilena
Berpenguat Serat Sisal dan Serat Sabut Kelapa
untuk Material Komponen Otomotif

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahril, M.Sc (.....)
Pembimbing II : Prof (R). Dr. Ir. Subyakto, M.Sc (.....)
Penguji : Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M.Phil.Eng (.....)
Penguji : Mochamad Chalid, S.Si, M.Sc.Eng, PhD (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur hanya milik Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas karena hidayah dan inayah-Nya, penulis mampu menyusun rangkaian serakan ilmu maha luas yang Dia ciptakan di alam ini. Semesta (*nature*) adalah sumber inspirasi pengembangan ilmu dan teknologi masa depan. Penulisan tesis ini merupakan prasyarat kelulusan untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari Universitas Indonesia. Banyak pihak yang membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini, oleh karena itu pada kesempatan ini saya haturkan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada:

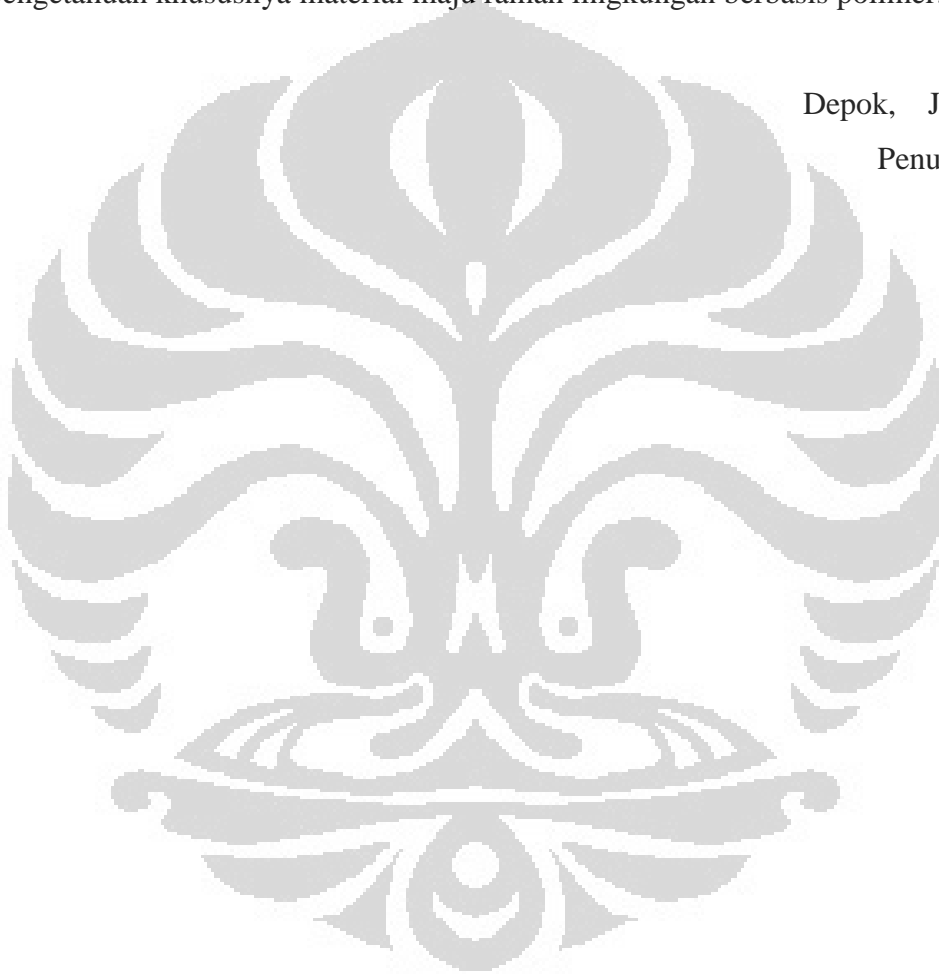
1. Ibu Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc selaku Pembimbing I dan Bapak Prof(R). Dr. Ir. Subyakto M.Sc selaku Pembimbing II. Semoga Allah SWT senantiasa meng-anugerahkan kesehatan dan umur yang panjang agar Beliau-beliau senantiasa menjadi sumber mata air ilmu pengetahuan dan tempat menimba pengalaman penelitian.
2. Bapak Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M.Phil.Eng dan Bapak Mochamad Chalid, S.Si, M.Sc.Eng, PhD selaku Dosen Penguji seminar dan sidang akhir, atas masukan dan saran perbaikan demi sempurnanya penelitian ini.
3. Dr. Asmuwahyu Saptorahardjo-PT. Inter Aneka Lestari Kimia (IALK), Balaraja, Tangerang, beserta jajarannya terutama kepada Bapak Ismail Marjuki dan adik Mato Prawidi, atas perkenan ijin dan bantuan kepada saya untuk mempergunakan semua peralatan yang luar biasa di Perusahaan Bapak. Semoga PT. IALK semakin berjaya.
4. Jajaran Kedeputan Bidang Sumber Daya Iptek, Kementerian Riset dan Teknologi, atas pemberian beasiswa Kemenristek 2010 selama saya tugas belajar, terutama kepada Bapak Sandy Adjie Prabowo dan Ibu Laila Juwita Hendriani.
5. Rekan-rekan kerja saya di Laboratorium Biokomposit, UPT Balai Litbang Biomaterial LIPI Cibinong, terutama Dr. Sasa Sofyan Munawar, S.Hut, MP.
6. Bapak dan Emak, do'a dan kasih sayang yang ayahanda dan ibunda berikan memudahkan saya dalam pencapaian sampai dengan detik ini dan masa nanti, do'akan ananda menjadi manusia yang bermanfaat bagi semesta.

7. Sahabat satu perjuangan (S2 dan S3), Staf Administrasi, dan Staf CMPFA Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia, terimakasih atas bantuan dan kerjasamanya sehingga saya mampu menyelesaikan tugas akhir penelitian ini.

Akhir kata, saya menyadari jika masih terdapat kekurangan dalam penyusunan penelitian ini, saran dan diskusi sangat saya harapkan untuk perbaikan penelitian saya berikutnya. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya material maju ramah lingkungan berbasis polimer.

Depok, Juli 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nanang Masruchin
NPM : 1006787640
Program Studi : Material
Departemen : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengembangan Komposit Polipropilena Berpenguat Serat Sisal dan Serat
Sabut Kelapa untuk Material Komponen Otomotif

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juli 2012

Yang menyatakan



(Nanang Masruchin)

ABSTRAK

Nama : Nanang Masruchin
Program Studi : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengembangan Komposit Polipropilena Berpenguat Serat Sisal dan Serat Sabut Kelapa untuk Material Komponen Otomotif

Pada penelitian ini telah dikembangkan komposit berbasis polimer polipropilena (PP) dengan penguat serat alam yaitu serat sisal dan serat sabut kelapa. Bentuk morfologi serat alam divariasikan dalam bentuk bulk (*chopped*) dan berbentuk *single of fiber* melalui proses *pulping*. Jenis polimer yang digunakan adalah homopolimer dan kopolimer. Komposit yang dihasilkan dikarakterisasi untuk memperoleh komposit dengan kekuatan optimum tanpa mengesampingkan nilai ketangguhannya. Perlakuan panas dilakukan terhadap komposit serat alam pada suhu 70°, 100° dan 130°C selama 20 jam.

Dari penelitian ini diketahui bahwa sifat mekanis polimer PP dapat ditingkatkan dengan penambahan serat alam. Serat sisal memiliki sifat mekanis yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa, hal ini dibuktikan dengan nilai kuat tarik, struktur mikro, derajat kristalinitas dan stabilitas terhadap panas. Dari analisa FE-SEM, perubahan bentuk serat menjadi pulp dapat meningkatkan dispersi serat dalam matrik polimer, namun hal ini hanya meningkatkan kuat tarik dan kuat tekuk. Nilai kuat tarik, kuat tekuk, modulus dan impak komposit pada penelitian ini dapat ditingkatkan dengan tetap mempertahankan bentuk morfologi bulk (*chopped*) dari serat alam dengan penambahan EPDM 2.5% berat dan perlakuan panas pada 130°C. Mekanisme peningkatan ketangguhan komposit disebabkan oleh pembentukan kristal β -phase PP serta mekanisme *fiber pull out* dari serat alam bentuk *chopped* pada matrik polimer. Polimer homopolimer memberikan performa komposit yang lebih baik jika dibandingkan dengan kopolimer.

Kata Kunci:

Polipropilena, selulosa, impak, komposit, sisal, sabut kelapa

ABSTRACT

Name : Nanang Masruchin
Study Program : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
Title : Development of Sisal and Coconut Fibers Reinforced Polypropylene Composites for Automotive Components Materials

The aim of this study is to develop polypropylene (PP) composite reinforced with sisal and coconut fibers. The effect of fiber morphology in term of bundles (chopped) and single of fibers (pulp), as well as types of polymer (homopolymer and copolymer) were manufactured to obtain high strength and high toughness composites. Composites were annealed at 70°, 100° and 130°C. From this study, it is reported that sisal fiber is superior to coconut fibers as reinforcing agents. It is not necessary to convert the bundles into pulp. Optimum composite could be obtained by annealed the composites of 40% weight sisal chopped reinforced PP at 130°C by addition of EPDM 2.5% wt in the presence of PP-g-MA 5% wt. The formation of β -phase crystallization of PP revealed from XRD analysis and fiber pull out mechanism take responsible for the improvement of the high toughness of composite. Homopolymer gave best performance as matrix compared to copolymer for strength and toughness composites.

Key words:

Polypropylene, cellulose, impact strength, composite, sisal, coconut fiber

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesa.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Trend Industri Otomotif.....	5
2.1.1 Dorongan Pemakaian Komposit.....	6
2.1.2 Aplikasi Komposit Serat Alam dalam Otomotif.....	7
2.2 Karakteristik Material Komposit Serat Alam.....	8
2.2.1 Keunggulan Serat Alam.....	9
2.2.2 Tantangan Penggunaan Serat Alam.....	9
2.2.3 Karakteristik Serat Alam.....	10
2.2.4 Komposisi Serat Alam.....	11
2.2.5 Struktur dan Morfologi Serat Alam.....	12
2.2.6 Modifikasi Serat Alam.....	13
2.2.6.1 Alkali.....	13
2.2.6.2 <i>Coupling agents</i>	13
2.3 Karakteristik Material Polimer Termoplastik.....	14
2.4 Teori Perekatan.....	14
2.4.1 <i>Interdiffusion</i>	15
2.4.2 <i>Chemical Bonding</i>	15
2.4.3 <i>Electrostatic attraction</i>	16
2.4.4 <i>Mechanical adhesion</i>	16
2.5 <i>Interface</i> (antar muka) dan <i>Interphase</i> (antar fasa).....	16
2.6 Nilai Impak (<i>toughness</i>).....	18
2.7 <i>Impact Modifier</i>	19
3. METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Bahan.....	21
3.2 Diagram Alir.....	21
3.3 Pengkodean Sampel Penelitian.....	23

3.4	Persiapan Serat Alam.....	24
3.4.1	Serat <i>Pulped</i>	24
3.4.2	Serat <i>Chopped</i>	24
3.5	<i>Coupling Agents</i>	25
3.6	<i>Impact Modifier</i>	25
3.7	Pembuatan Komposit.....	25
3.8	Perlakuan Panas	25
3.9	Proses Karakterisasi.....	26
3.9.1	Densitas Komposit.....	26
3.9.2	FTIR (<i>Fourier Transfer Infra-red Spectroscopy</i>).....	26
3.9.3	XRD (<i>X-ray Diffraction</i>)	27
3.9.4	<i>Optical Microscopy</i>	27
3.9.5	SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>) dan FE-SEM (<i>Field Emission SEM</i>).....	28
3.9.6	TGA (<i>Thermogravimetry</i>)	28
3.9.7	DSC (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>).....	28
3.9.8	<i>Flexural Strength</i> dan <i>Modulus</i>	29
3.9.9	<i>Tensile Strength</i> dan <i>Modulus</i>	29
3.9.10	<i>Notched Izod Impact</i>	29
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Karakterisasi Serat Alam	33
4.1.1	Kuat Tarik Serat Alam	34
4.1.2	EDS (<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>).....	37
4.1.3	FTIR (<i>Fourier Transfer Infra-red Spectroscopy</i>)	38
4.1.4	XRD (<i>X-ray Diffraction</i>).....	40
4.1.5	Stabilitas Panas (<i>Thermal Stability</i>).....	42
4.2	Karakterisasi Biokomposit	45
4.2.1	Densitas Komposit	45
4.2.2	Kuat Tekuk dan Tarik (<i>Flexural</i> dan <i>Tensile Strength</i>) ...	47
4.2.3	<i>Tensile Modulus</i> dan <i>Flexural Modulus</i> Komposit.....	49
4.2.4	Pengaruh Perlakuan Panas pada Komposit	50
4.2.5	Nilai Impak Komposit.....	53
4.2.6	Analisis FE-SEM.....	55
4.2.7	Komposit Optimum.....	59
4.2.8	Analisis DSC Perlakuan Panas pada Komposit SChOE ..	62
4.2.9	Analisis TGA pada Komposit SChO dan SChOE 130	64
4.2.10	<i>The rule of Mixture</i> (Hukum Campuran)	64
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	68
	DAFTAR REFERENSI	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen-komponen dalam mobil <i>Ford</i>	6
Tabel 2.2	Rencana target <i>recycle</i> material berdasarkan <i>European End-of-Life Vehicle (ELV) Directive</i>	7
Tabel 2.3	Produsen kendaraan, model, dan komponen yang menggunakan komposit serat alam.....	7
Tabel 2.4	Komponen interior dan eksterior mobil yang menggunakan komposit serat alam.....	8
Tabel 2.5	Sumber-sumber serat alam komersial.....	11
Tabel 2.6	Komposisi kimia dan parameter struktural serat alam.....	12
Tabel 2.7	Kekuatan mekanis serat alam dan beberapa serat sintesis.....	12
Tabel 2.8	Propertis polimer termoplastik.....	14
Tabel 3.1	Pengkodean spesimen penelitian.....	23
Tabel 4.1	Kuat tarik, modulus dan elongasi serat sisal dan kelapa.....	37
Tabel 4.2	Komposisi hasil analisa uji EDS serat alam.....	37
Tabel 4.3	Ukuran kristal selulosa.....	42
Tabel 4.4	Alomorf serat alam.....	42
Tabel 4.5	Pengaruh perlakuan panas pada temperatur pelelehan, kristalisasi komposit SCHOE.....	63
Tabel 4.6	Modulus sejajar serar (E_L), modulus tegak lurus serat (E_T), modulus random (E_R).....	65
Tabel 4.7	Komparasi modulus eksperimental dan modulus perkiraan (RoM).....	66
Tabel 4.8	Komparasi modulus eksperimental dan modulus perkiraan (RoM) dari data referensi [32].....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Trend perkembangan teknologi otomotif.....	5
Gambar 2.2	Mercedes-Benz E-Class yang mempergunakan 50 (lima puluh) jenis komponen komposit dari serat flax, hemp, sisal, wool.....	8
Gambar 2.3	Klasifikasi serat alam	10
Gambar 2.4	Struktur serat alam (a) sketsa penampang melintang <i>bundle of fibres</i> ; (b) gambar SEM serat sisal; (c) sketsa morfologi serat tunggal (<i>single of fibres</i>)	13
Gambar 2.5	Mekanisme perekatan (a) mekanisme <i>Interdiffusion</i> (b) mekanisme <i>coupling agent</i> (c) <i>electrostatic attraction</i> dan (d) <i>mechanical adhesion</i>	15
Gambar 2.6	Ilustrasi <i>interface-interphase</i> pada material komposit.....	17
Gambar 2.7	(a) Ilustrasi mekanisme penyerapan energi pada saat uji impak, (b) <i>Charpy impact test</i> , (c) <i>Izod impact test</i>	19
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian pembuatan komposit polipropilena berpenguat serat alam.....	22
Gambar 3.2	Diagram alur pengujian DSC	28
Gambar 4.1	Bahan baku serat alam yang dipergunakan (a) Serat kelapa bulk (<i>coconut chopped-CC</i>); (b) Serat sisal (<i>sisal chopped-SC</i>); (c) Serat kelapa pulp (<i>coconut pulp-CP</i>) dan (d) Serat sisal pulp (<i>sisal pulp-SP</i>).....	30
Gambar 4.2	Penampakan serat alam <i>chopped</i> setelah perlakuan perendaman dalam larutan NaOH 5%, 80°C, 1 jam	31
Gambar 4.3	Analisis FE-SEM bahan baku serat alam yang dipergunakan, (a) Sisal <i>chopped</i> ; (b) Kelapa <i>chopped</i> ; (c) Sisal pulp dan (d) Kelapa pulp	32
Gambar 4.4	Morfologi serat hasil proses <i>pulping</i> , (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa.....	33
Gambar 4.5	Kurva tegangan-regangan serat alam sisal dan serat sabut kelapa	34
Gambar 4.6	Hasil analisis SEM penampang patah dari serat alam, (a) Sisal dan (b) Kelapa	35
Gambar 4.7	Hasil analisis SEM penampang melintang dari serat alam perlakuan NaOH 5%, (a) Sisal dan (b) Kelapa	36
Gambar 4.8	Hasil analisis FE-SEM patahan uji tarik serat sabut kelapa.....	36
Gambar 4.9	Hasil analisis EDS serat sisal dalam berbagai perlakuan.....	37
Gambar 4.10	Spektrum FTIR pada berbagai kondisi perlakuan, (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa	39
Gambar 4.11	Spektra IR alomorf selulosa akibat perlakuan kimia, (a) Serat Sisal dan (b) Serat sabut kelapa.....	40
Gambar 4.12	Kurva analisis XRD serat kelapa <i>chopped</i> dan kelapa pulp.....	41
Gambar 4.13	Kurva analisis XRD serat sisal <i>chopped</i> dan sisal pulp	41
Gambar 4.14	Kurva TGA serat alam	43
Gambar 4.15	Kurva <i>heat flow</i> analisis TGA serat alam dengan beberapa perlakuan, (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa.....	44

Gambar 4.16	Penampakan spesimen uji, hasil proses dengan mesin <i>injection moulding</i> (SCHo)	45
Gambar 4.17	(a) Spesimen uji SPHo (uji tarik, uji tekuk dan uji impak); (b) Perbandingan penampakan hasil proses <i>injection moulding</i> komposit dari beberapa jenis serat	46
Gambar 4.18	Densitas komposit serat alam	47
Gambar 4.19	Nilai kuat tarik dan kuat tekuk komposit PP serat alam, komposisi 40% serat, 5% PP-g-MA dan 2.5% EPDM (SCHoE).....	48
Gambar 4.20	Kurva tegangan-regangan komposit dengan berbagai jenis serat pada komposisi 40% serat dan 5% PP-g-MA	49
Gambar 4.21	Nilai <i>flexural modulus</i> dan <i>tensile modulus</i> komposit PP serat alam, komposisi 40% serat, 5% PP-g-MA dan 2.5% EPDM (SCHoE)	50
Gambar 4.22	Pengaruh perlakuan panas pada nilai impak komposit serat alam	51
Gambar 4.23	Pengaruh perlakuan panas pada nilai <i>flexural modulus</i> dan <i>tensile modulus</i> komposit serat alam.....	52
Gambar 4.24	Nilai impak komposit serat alam.....	54
Gambar 4.25	Pengaruh perlakuan panas pada nilai kuat impak komposit serat alam	55
Gambar 4.26	Analisis FE-SEM permukaan komposit serat (CPHo).....	55
Gambar 4.27	Analisis patahan spesimen impak dengan FE-SEM komposit PP-serat sisal	57
Gambar 4.28	Analisis patahan spesimen impak dengan FE-SEM komposit PP-serat kelapa	58
Gambar 4.29	Analisis FE-SEM pengaruh perlakuan panas pada patahan komposit SCHoE.....	59
Gambar 4.30	Komposit serat alam optimum	60
Gambar 4.31	Analisis FTIR komposit serat alam optimum	61
Gambar 4.32	Analisis XRD komposit, (a) SCHo dan SCHoE 130°C; (b) analisis XRD referensi dari komposit PP/SF (PP dengan serat sisal)	62
Gambar 4.33	Kurva DSC pada kondisi pemanasan (<i>heating</i>), penetapan T_m (<i>melting temperature</i>).....	63
Gambar 4.34	Kurva DSC pada kondisi pendinginan (<i>cooling</i>), penetapan T_c (<i>crystallization temperature</i>).....	63
Gambar 4.35	Kurva analisis TGA komposit SCHo dan SCHoE 130	64

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) melalui FAO pada pertemuan dunia di Roma, 20 Oktober 2008 mencanangkan tahun 2009 sebagai *International Year of Fibers* [1]. Isu besar terkait pencanangan kegiatan itu adalah pemanfaatan berbagai serat alam (serat lignoselulosa, *animal fiber* dan *protein fiber*) menjadi sumber bahan baku dalam berbagai bidang industri. Hal tersebut diharapkan dapat menjadi alternatif solusi terhadap tantangan perubahan iklim dan dampaknya terhadap kelestarian lingkungan [2]. Faktor lain yang juga dianggap krusial adalah semakin berkurangnya cadangan minyak bumi dan fluktuasi harga minyak mentah di pasaran dunia. Sehingga hal tersebut menjadi daya dorong yang kuat bagi negara-negara di dunia untuk menerapkan revolusi hijau dalam dunia industri, dimana pemanfaatan *natural resources* dalam hal ini serat alam merupakan salah satu pilihan dalam menghadapi tantangan abad ke-21. Bukti konkrit dalam menjawab permasalahan tersebut diantaranya adalah Uni Eropa menerapkan regulasi yang tertuang dalam *European Union's Directive on end-life of vehicles/ELVs*, dimana menuju tahun 2015 semua kendaraan baru harus memakai material yang 95% dapat di daur ulang, dan atau 85% material yang digunakan haruslah dapat di-*recycle* [3]

Sifat fisik-mekanik (*physic-mechanical*) dan karakteristik panas (*thermal*) komponen otomotif berbasis polimer dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan pengisi (*filler*). Pemilihan serat alam sebagai *filler* dalam polimer dapat berfungsi sebagai penguat (*reinforce*) serta mampu menekan biaya produksi hingga 80%, hal ini dikarenakan serat alam merupakan komoditas yang lebih murah jika dibandingkan dengan *filler* lain seperti serat gelas dan karbon [4].

Serat sintesis pada kenyataannya berbentuk *solid* sedangkan serat alam merupakan *hollow fiber* yang membentuk kumpulan dari beberapa serat (*bundle of fibers*). Serat alam sendiri adalah material biokomposit yang tersusun atas lignin dan hemiselulosa sebagai matrik serta selulosa sebagai penguat. Perbedaan morfologi ini menyebabkan pemanfaatan serat alam sebagai *filler* dalam komposit

menjadi sangat kompleks. Morfologi hierarkis dari satu buah serat alam (*single fiber*) memberikan nilai kuat tarik mencapai 1.7 GPa [5], dimana nilai modulus kristal selulosa mencapai nilai 137-143 GPa [6-7]. Kompella dan Lambros [8] dalam penelitiannya menetapkan nilai kuat tarik dan modulus dari serat katun serta serat kayu, masing-masing adalah 496 MPa dan 4 GPa serta 164 MPa dan 2 GPa. Sifat mekanis ini menyebabkan serat alam dapat dijadikan penguat dalam matrik polimer.

Disamping perbedaan diatas, kompatibilitas antara serat alam yang bersifat hidrofilik dengan matrik polimer yang cenderung bersifat hidrofobik menyebabkan terbentuknya antarmuka (*interface*) yang jelek (keterbasahan rendah), sehingga dapat menurunkan kekuatan serta kestabilan dimensi komposit terhadap air yang rendah [9–12]. Banyak penelitian telah dilakukan dan berhasil untuk mengatasi permasalahan tersebut antara lain dengan perlakuan kimiawi pada serat [13], *coupling agent* [14], asetilasi [15] yang mampu memperbaiki *interface* dan keterbasahan (*wettability*) antara matrik dan serat sehingga meningkatkan nilai kuat tarik, modulus serta sifat panas komposit, namun disisi lain nilai kuat impak (*toughness*) komposit serat alam berbanding terbalik dengan peningkatan nilai kuat tarik-nya [16–18]. Komposit yang dihasilkan cenderung menjadi bersifat getas. Lebih lanjut, kajian studi nilai kuat impak komposit polimer berpenguat serat alam masih belum banyak dilakukan.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini dipelajari sifat mekanis komposit polipropilena-serat alam yaitu peningkatan nilai impak komposit tanpa mengesampingkan nilai modulus dan kuat tariknya. Pada tahap awal akan dilakukan karakterisasi terhadap dua jenis serat alam yang memiliki propertis yang berbeda yaitu serat sisal yang memiliki kandungan selulosa tinggi dengan serat sabut kelapa yang memiliki kandungan lignin yang tinggi. Dari karakterisasi ini diharapkan dapat diketahui serat dengan performa yang optimal untuk memperoleh sifat mekanis yang optimum. Morfologi masing-masing serat dalam hal ini serat berbentuk *chopped* (*bundle of fibers*) dan dibentuk pulp (*single of fibers*) melalui proses *pulping* dipergunakan untuk mengetahui pengaruhnya pada sifat mekanis komposit yang dihasilkan. Selain itu, jenis matrik polimer yang digunakan (homopolimer dan

kopolimer), penambahan *impact modifier* pada komposit-serat alam dan pengaruh perlakuan panas pada komposit terbaik divariasikan untuk mengetahui dampaknya pada sifat mekanis komposit yang dihasilkan. Karakterisasi lebih lanjut pada komposit dilakukan untuk mengetahui mekanisme penguatan impak, sifat termal, dan kristalisasi komposit polipropilena serat alam.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan karakterisasi serat alam yang digunakan (serat sisal dan sabut kelapa) dengan perlakuan fisik dan kimiawi (serat *chopped* dan serat *pulp*).
2. Menganalisis pengaruh penambahan jenis serat alam dan morfologi serat alam tersebut pada sifat mekanis dan sifat termal polimer polipropilena.
3. Menganalisis pengaruh tipe polimer yang digunakan sebagai matrik, penambahan *impact modifier* dan perlakuan panas terhadap sifat mekanis dan sifat termal komposit polipropilena-serat alam.

1.4 Hipotesis

Penetapan variabel-variabel dalam penelitian ini didasarkan pada hipotesa-hipotesa sebagai berikut:

1. Morfologi dan dimensi serat alam yaitu *bundle of fibers* disamping serat alam yang sudah diproses pulping membentuk *single of fibers* memberikan morfologi dan dimensi yang berbeda, jika dipergunakan sebagai penguat dalam matrik polimer.
2. Serat sisal memiliki nilai kuat tarik yang lebih bagus daripada serat sabut kelapa, namun derajat elongasi-nya lebih rendah daripada serat sabut kelapa.
3. Komposit dengan nilai impak yang baik memerlukan matrik dengan keuletan yang bagus serta pembentukan *interface* (antarmuka) sedemikian hingga mampu menyerap energi yang besar pada saat beban kejut.
4. Perlakuan panas (anil) diketahui dapat menurunkan konsentrasi tegangan yang terbentuk dalam sebuah material.

Oleh karena itu, pada penelitian peningkatan sifat mekanis komposit polipropilena-serat alam ini akan dipergunakan dua buah serat alam yaitu serat sisal dan serat sabut kelapa. Kedua serat alam tersebut memiliki morfologi *bundle of fibers*, dengan serat sisal memiliki nilai kuat tarik dan modulus yang tinggi, sedangkan serat kelapa memiliki daya mulur (MFA – *Microfibril Angle* – yang besar). Perlakuan kimiawi (proses *pulping* dan penambahan MAPP) merupakan usaha untuk meningkatkan kompatibilitas serat alam dengan matrik polimer. Proses *pulping* merupakan upaya untuk memperoleh dimensi serat *single of fibers*, homogenitas dan dispersi dalam matrik polimer. Dengan memvariasikan faktor-faktor pemilihan serat alam, jenis polimer, morfologi serat, perlakuan terhadap serat dan perlakuan panas pada komposit diharapkan dapat menciptakan komposit yang tidak hanya kuat namun juga tangguh sehingga mampu menerima beban kejut dengan baik, sehingga dapat memperluas aplikasi komposit ini sebagai komponen dalam interior dan eksterior otomotif.

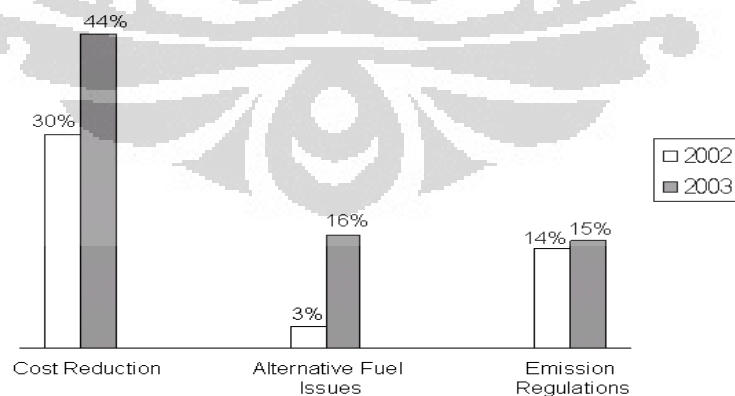
1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Serat alam yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat sisal dan serat kelapa, keduanya merupakan bundel serat. Morfologi serat divariasikan dalam bentuk bulk (*bundle of fibers*) dan pulp (*single of fiber*). Serat dalam bentuk bulk (bundel) dipotong dengan ukuran 2-5 mm. Selanjutnya, dalam penelitian ini istilah serat bulk akan disampaikan dalam bentuk *chopped*. Jumlah serat alam yang ditambahkan ditetapkan berdasarkan komposisi optimal penelitian sebelumnya yaitu 40% berat [10], pada komposisi yang lebih tinggi proses produksi mengalami kendala karena terjadinya penurunan *melt flow rate*. Polimer yang digunakan adalah dua jenis polimer polipropilena (PP) yaitu homopolimer dan kopolimer. Penambahan *coupling agent*-MAPP ditetapkan 5% berat berdasarkan hasil optimal penelitian sebelumnya [10]. Impact modifier yang digunakan pada penelitian ini adalah *ethylene/propylene/diene terpolymers* (EPDM) dengan jumlah yang ditambahkan pada komposit adalah 2,5% berat. Hal ini ditujukan supaya tidak berdampak pada kekakuan komposit [19]. Perlakuan panas dilakukan pada suhu 70°, 100°, 130°C selama 20 jam.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

2.1 Trend Industri Otomotif

Perkembangan penelitian dalam dunia otomotif pada dekade tahun terakhir ini adalah berupaya untuk menurunkan total biaya, terutama biaya operasional kendaraan terkait dengan pemakaian bahan bakar. Para *engineer* dan perusahaan-perusahaan manufaktur otomotif berlomba-lomba untuk menurunkan berat kendaraan melalui upaya peningkatan performa material dan substitusi dengan material yang lebih ringan [20]. Menurut survey yang dilakukan pada peserta kongres *Society of Automotive Engineer* (SAE), tahun 2003 seperti yang tersaji pada Gambar 2.1, membuktikan bahwa 44% *engineer* berupaya untuk menciptakan kendaraan dengan biaya yang murah untuk tujuan penghematan bahan bakar serta memanfaatkan bahan bakar alternatif untuk menurunkan emisi pencemaran terhadap lingkungan. *European Alliance for Thermoplastic Composites* (EATC) melaporkan pada tahun 2010, rata-rata berat mobil berukuran sedang diperkirakan dapat diturunkan dari 1400 kg menjadi 1150 kg dengan pemanfaatan material baru yang bersifat lebih ringan, dalam hal ini adalah pemanfaatan plastik yang meningkat 19% dari total berat kendaraan, serta penurunan sebanyak 10% berat dari substitusi baja dengan material lain [21]. Material menjanjikan yang dapat memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut adalah material komposit [20].



Gambar 2.1 Trend perkembangan teknologi otomotif [20]

Keunggulan komposit dalam dunia material yang menjadikan material ini sangat menarik adalah rasio antara kekuatan terhadap densitas yang tinggi (*high*

specific strength) serta *high specific modulus*, sehingga aplikasi dalam bidang antariksa dan industri otomotif untuk menurunkan massa total kendaraan akan memberikan dampak yang signifikan pada peningkatan efisiensi penghematan bahan bakar.

Sebagai ilustrasi, pada Tabel 2.1 disajikan persentase konstituen sebuah kendaraan *Ford* yang menunjukkan bahwa komponen baja masih menduduki persentase tertinggi lebih dari 60%, disusul oleh komponen plastik, elastomer dan polimer matrik komposit dengan total mencapai 13% [22]. Dari ilustrasi ini maka peluang substitusi dan pengembangan material komposit dalam bidang otomotif masih sangat terbuka luas.

Tabel 2.1 Komponen-komponen dalam mobil *Ford* [22]

Items	Percentage
Metallic-ferrous	68 %
Metallic-non ferrous	8 %
Glass	3 %
Plastics	8 %
Coatings	2 %
Fluids	2 %
Miscellaneous (trim, textiles, natural fibres, etc.	4 %
Tyres/Rubber	5%

2.1.1 Dorongan Pemakaian Komposit

European Comission, Council and Parliament mensyaratkan pengurangan emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh setiap kendaraan baru yang diproduksi sejak tahun 2005 tidak boleh melebihi 120 g/km dan target terus diturunkan sampai pada tahun 2011. Untuk memenuhi target tersebut produsen kendaraan harus dapat meningkatkan penghematan bahan bakar untuk kendaraan 25 s.d 40% [23] dan jika tidak mampu mencapai target tersebut maka konsumen akan dibebankan dengan membeli kendaraan yang sama dengan harga yang lebih mahal sebagai kompensasi perdagangan karbon (*carbon trade*). Sehingga, kedepan terkait dengan hal ini maka efisiensi bahan bakar mutlak untuk dilakukan dan mendorong para *engineer* untuk mendesain kendaraan lebih ringan.

Tabel 2.2 Rencana target recycle material berdasarkan *European End-of-Life Vehicle (ELV) Directive* [22]

Target Year	2006	2015
Reuse and recycling of material	$\geq 80\%$	$\geq 85\%$
Thermal energy conversion	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$
Recovery	$\geq 85\%$	$\geq 95\%$
Landfill	$\leq 15\%$	$\leq 5\%$

Disamping hal tersebut diatas, Uni Eropa juga menerapkan regulasi yang tertuang dalam *European Union's Directive on end-life of vehicles/ELVs*, dimana menuju tahun 2015 semua kendaraan baru harus memakai material yang 95% dapat di daur ulang, dan atau 85% material yang digunakan haruslah dapat di-*recycle* (salah satu metode *recycling* adalah dengan proses pembakaran-insenerasi, yang ditujukan untuk *recovery* energi, dimana emisi gas hasil pembakaran yang dihasilkan tidak diperkenankan mengandung zat-zat berbahaya terhadap lingkungan [3]. Secara terperinci rangkuman regulasi disajikan pada Tabel 2.2 [3, 22]. Oleh karena itu, aplikasi komposit polimer berpenguat serat alam sebagai komponen otomotif memberikan dampak yang positif terhadap lingkungan

Tabel 2.3 Produsen kendaraan, model, dan komponen yang menggunakan komposit serat alam [24]

Automotive Manufacturer	Model and application
Audi	A2, A3, A4 Avant, A6, A8, Roadstar; Seat back, side and back door panel, boot lining, hat rack.
BMW	3, 5 and 7 series and other; Door panels, headliner panel, boo lining, seat back
Ford	Mondeo CD 162; Door panels, B-piller, boot liner
Mitsubishi	Space star, Colt; Door panels, Instrumental panels
Volkswagen	Golf A4, Passat Variant, Bora; Door panels, seat back, boot lid finish panel, boot liner

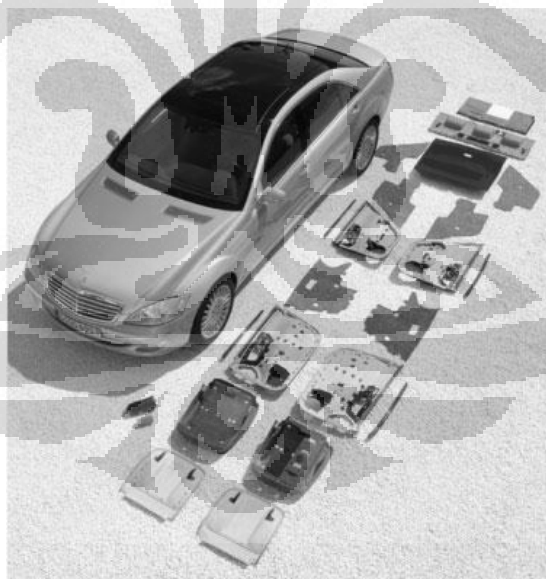
2.1.2 Aplikasi Komposit Serat Alam dalam Otomotif

Proses manufaktur komponen-komponen tersebut diatas pada umumnya memakai tiga metode utama yaitu ekstrusi (*single screw* atau *twin screw*), *injection moulding*, dan kompresi (*hot press* atau *thermoforming*). Serat alam dapat berbentuk serat panjang (*continuos*), serat pendek (*chopped*) maupun serbuk bahkan dalam bentuk *pulp fibers* (satu sel serat lignoselulosa). Aplikasi komposit

berbasis serat alam dapat ditingkatkan lebih luas (Tabel 2.3), sebagai contoh untuk komponen-komponen seperti struktural, eksterior maupun material tahan suhu tinggi jika performa komposit dapat ditingkatkan (Tabel 2.4) [23]. Pada Gambar 2.2 adalah beberapa komponen komposit serat alam yang sudah dipergunakan pada kendaraan mobil keluaran dari Mercedes-Benz *E-class*, dimana komposit berbasis penguat serat alam mencapai 50 jenis komponen.

Tabel 2.4 Komponen interior dan eksterior mobil yang menggunakan komposit serat alam [24]

Vehicle Part	Material Used
Interior	
Glove Box	Wood/cotton fibers molded, flax/sisal
Door Panels	Flax/sisal with thermoset resin
Seat Coverings	Leather/wool backing
Seat Surface/Backrest	Coconut fiber/natural rubber
Trunk Panel	Cotton fiber
Trunk Floor	Cotton with PP/PET fibers
Insulation	Cotton fiber
Exterior	
Floor Panels	Flax mat with polypropylene



Gambar 2.2 Mercedes-Benz E-Class yang mempergunakan 50 (lima puluh) jenis komponen komposit dari serat flax, hemp, sisal, wool [24-25]

2.2 Karakteristik Material Komposit Serat Alam

Untuk lebih memahami serta mampu meningkatkan performa komposit berbasis serat alam, maka pemahaman terhadap masing-masing konstituen dalam

hal ini serat alam sebagai penguat dan polimer sebagai matrik merupakan suatu keharusan. Selain itu, modifikasi terhadap serat alam mutlak diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanis, fisis serta panas dari serat alam, demikian halnya untuk peningkatan kompatibilitas antara matrik dan penguat. Pemahaman komprehensif terhadap mekanisme perekatan (*adhesion theory*), interface dan interfasa, serta karakteristik panas dari material komposit serat alam diharapkan mampu menciptakan material komposit dengan sifat-sifat yang lebih unggul dari komposit sebelumnya. Pada penelitian ini akan lebih difokuskan pada peningkatan nilai impak komposit tanpa mengesampingkan nilai kuat tarik serta propertis lainnya, sehingga pemahaman terhadap mekanisme kuat impak komposit berbasis serat alam penting juga untuk diketahui. Penjabaran studi literatur untuk poin-poin diatas disajikan kedalam pokok bahasan sebagai berikut:

2.2.1 Keunggulan Serat Alam

Kelebihan serat alam jika dipergunakan sebagai penguat dalam matrik polimer antara lain : (1) Dengan berat jenis yang lebih rendah jika dibandingkan antara serat gelas (2.5 g/cm^3) dan serat alam ($\pm 1.5 \text{ g/cm}^3$) maka komposit yang dihasilkan akan lebih ringan dan kompetitif pada sifat mekanisnya (*specific properties*), (2) Renewable dalam jumlah yang melimpah, (3) Investasi yang lebih murah, (4) Proses produksi ramah lingkungan, (5) Tidak abrasive pada mesin, (6) Tidak membuat iritasi, (7) Dapat didaur ulang, (8) Biodegradable, (9) Bahan Akustik serta isolasi panas yang baik, (10) *Non food grade* serta (11) Jika dibakar sempurna membentuk gas CO_2 dan H_2O [12, 26].

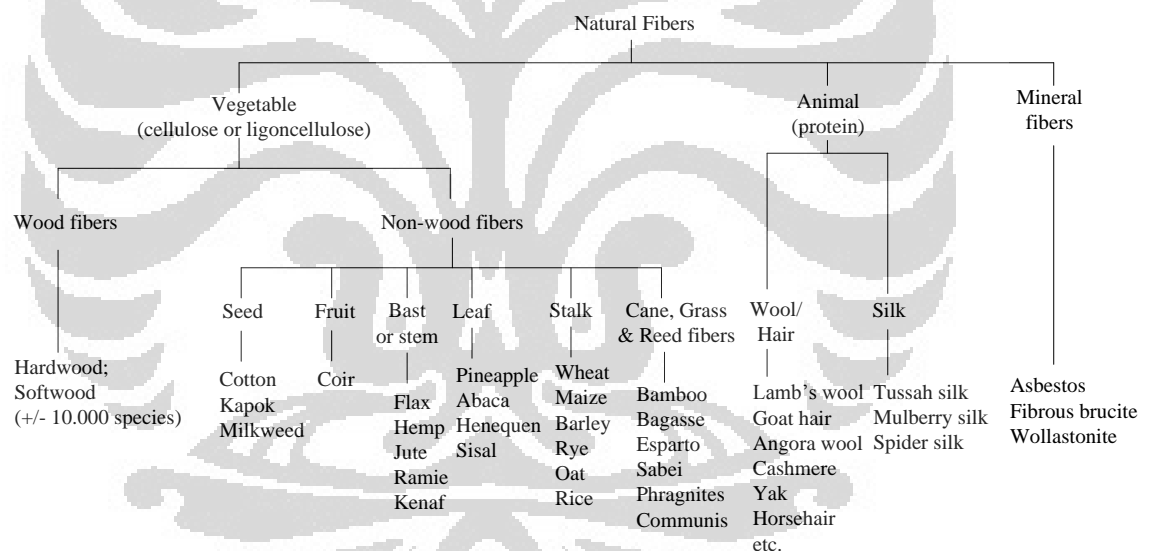
2.2.2 Tantangan Pemanfaatan Serat Alam

Berikut adalah tantangan terkait pemanfaatan serat alam, antara lain: (1) Nilai impak yang rendah, (2) Daya serap air yang tinggi, stabilitas dimensi terhadap air rendah, (3) Kualitas serat yang bervariasi, (4) Daya tahan (*durability*) terhadap cuaca, jamur/mikroorganisme yang rendah, (5) Resistensi terhadap api rendah, serta (6) Temperatur proses produksi menjadi komposit hanya $< 200^\circ\text{C}$ karena diatas suhu tersebut senyawa lignoselulosa mulai mengalami degradasi.

Hal ini membatasi jumlah polimer yang dapat dipergunakan (terbatas pada polimer-polimer dengan suhu pelehan dibawah 200°C) [12, 26].

2.2.3 Karakteristik Serat Alam

Secara struktural pada Gambar 2.3, serat alam dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama yaitu serat alam berbasis lignoselulosa (komposit selulosa, lignin dan hemiselulosa), serat alam yang berasal dari binatang (umumnya tersusun dari senyawa-senyawa protein) serta serat dari mineral alami. Dengan pertimbangan keberlanjutan (*sustainability*), keterbaruan (*renewability*) serta potensi yang sepperti data yang tersaji pada Tabel 2.5, maka serat alam menjadi lebih superior untuk diekplotasi lebih lanjut jika dibandingkan dengan kedua jenis serat alam lainnya.



Gambar 2.3 Klasifikasi serat alam [25]

Dari serat berbasis lignoselulosa sendiri dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu serat kayu dan non kayu. Untuk serat kayu, selulosa disintesa pada sel-sel yang terdapat pada bagian *xylem*, dimana untuk memperoleh serat kayu diperlukan waktu yang relatif lama, ± 10 tahun, tergantung pada masa tanam, tempat tumbuh, cuaca dsb. Sedangkan, untuk serat non kayu merupakan tanaman budidaya yang dapat dipanen dalam waktu lebih singkat 3-5 tahun, dan selulosa dapat diperoleh tidak hanya dari bagian struktural (*xylem*), melainkan dari beberapa bagian seperti biji, daging buah, kulit batang, daun dan batang. Variasi

yang sangat divergen dari serat alam memberikan ketidak seragaman terhadap sifat-sifat propertis dari serat alam.

2.2.4 Komposisi Serat Alam

Tiga komponen utama penyusun serat alam adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Disamping itu, terdapat komponen lain seperti ekstraktif, pektin dan wax. Selulosa, merupakan rantai lurus dari monomer glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang tersambung dengan ikatan β 1-4 glikosida. Derajat polimerisasi (DP) selulosa berkisar 10.000 untuk serat kayu, dimana setiap derajat berulang ini terdiri atas tiga buah gugus hidroksil. Gugus-gugus hidroksil ini akan membentuk interaksi intra dan atau inter molekul sehingga menyusun selulosa menjadi fasa kristalin sedangkan selulosa yang tidak berikatan secara rapi membentuk fasa amorf. Daerah kristalin sendiri merupakan daerah sepanjang 60 nm dimana letaknya selalu berseling dengan daerah amorf. Struktur kristalin berperan penting terhadap sifat fisik dan mekanik serat selulosa [12].

Tabel 2.5 Sumber-sumber serat alam komersial [25]

Fibre	Species	World Production
		10^3 ton
Wood fiber	> 10.000 species	1.750.000
Bamboo	> 1.250 species	10.000
Cotton linter	<i>Gossypium sp</i>	18.450
Jute	<i>Corchorus sp</i>	2.300
Kenaf	<i>Hibiscus cannabinus</i>	970
Flax	<i>Linum usitatissimum</i>	830
Sisal	<i>Agave sisalana</i>	378
Hemp	<i>Cannabis sativa</i>	214
Coir	<i>Cocos nucifera</i>	100

Hemiselulosa, merupakan rantai bercabang dari monomer glukosa, bersifat amorf dengan DP berkisar 50-300. Hemiselulosa sangat bersifat hidrofilik serta larut dalam hidrolisa asam dan basa [12].

Lignin, merupakan polimer hidrokarbon kompleks yang terdiri atas senyawa aliphatic dan aromatic. Lignin bersifat amorf dan cenderung bersifat hidrofobik. Pada Tabel 2.6, disajikan komposisi kimia dari beberapa serat non kayu. Menurut Jacob *et.al* [26] kekuatan serat alam tergantung pada kandungan

selulosa, derajat *microfibril angle* (MFA) serta *degree of polymerization* (DP). Serat dengan kandungan selulosa dan DP tinggi serta MFA yang rendah memberikan kuat tarik dan modulus yang tinggi [27,28].

Tabel 2.6 Komposisi kimia dan parameter struktural serat alam [31]

Fiber	Cellulose (%)	Hemi-cellulose (%)	Lignin (%)	Extractives (%)	Ash (%)	Pectin (%)	Wax (%)	MFA (°)	L/d	MC (%)
Jute	61-71	13.6-20.4	12-13	-	-	0.2	0.5	8.0	110	12.6
Flax	71-78	18.6-20.6	2.2	2.3	1.5	2.2	1.7	10.0	1687	10.0
Hemp	70.2-74.4	17.9-22.4	3.7-5.7	3.6	2.6	0.9	0.8	6.2	960	10.8
Kenaf	53-57	15-19	5.9-9.3	3.2	4.7	-	-	-	-	-
Banana	63-64	10	5.0	-	-	-	-	-	-	10-12
Sisal	67-78	10-14.2	8-11	-	1	10	2.0	20.0	100	11.0
Coconut	32-43	0.15-0.25	40-45	-	-	3-4	-	30-49	35	8
Cotton	82.7	5.7	-	-	-	-	0.6	-	-	-

MC: moisture content

Tabel 2.7 Kekuatan mekanis serat alam dan beberapa serat sintesis [25]

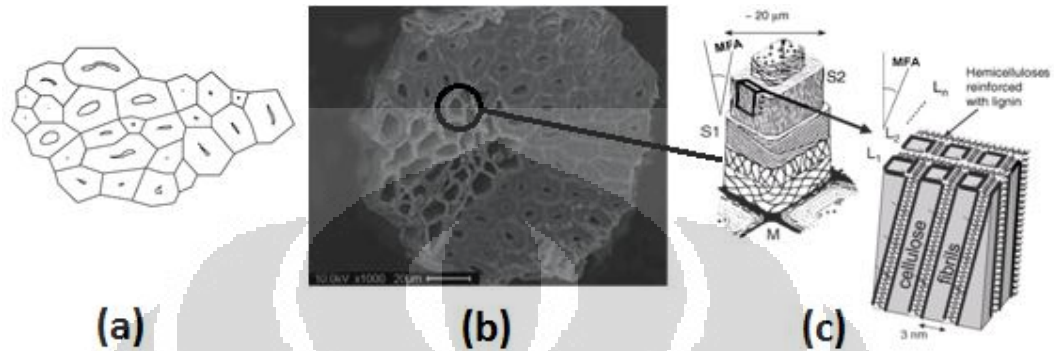
Fiber	Density (g/cm ³)	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)
Cotton	1.5-1.6	7.0-8.0	400	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Flax	1.5	2.7-3.2	500-1.500	27.6
Hemp	1.47	2.0-4.0	690	70
Kenaf	1.45	1.6	930	53
Sisal	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22
Coir	1.2	30.0	593	4.0-6.0
Softwood Kraft Pulp	1.5	4.4	1.000	40.0
E-glass	2.5	0.5	2.000-3.500	70.0
S-glass	2.5	2.8	4.570	86.0
Aramid (Std)	1.4	3.3-3.7	3.000-3.150	63.0-67.0
Carbon (Std PAN based)	1.4	1.4-1.8	4.000	230-240

2.2.5 Struktur dan Morfologi Serat Alam

Serat sintesis pada kenyataannya berbentuk *solid* sedangkan serat alam merupakan *hollow fiber* yang merupakan kumpulan dari beberapa serat (*bundle of fibers*) [32]. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.

Dari penelitian Rong *et.al* [33-34] dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur hirarkis serat alam dan serat alam yang tersusun dalam bentuk *bundle* dapat meningkatkan nilai ketangguhan dari komposit serat alam. Diameter serta panjang

serat dari serat alam sangatlah bervariasi. Menurut Wagner *et.al* [35] pada studi dengan memvariasikan diameter serat gelas diketahui bahwa pada panjang serat kritis yang sama, dengan meningkatnya diameter serat gelas mampu meningkatkan nilai kuat impak-nya. Hristov *et.al* [36] memberikan kesimpulan yang serupa terkait pengaruh dari morfologi terhadap nilai impak komposit



Gambar 2.4 Struktur serat alam (a) sketsa penampang melintang *bundle of fibres*; (b) gambar SEM serat sisal; (c) sketsa morfologi serat tunggal (*single of fibres*) [27, 32]

2.2.6 Modifikasi Serat Alam

Modifikasi serat alam ditujukan untuk meningkatkan daya rekat antara matrik dan serat. Beberapa proses yang banyak dilakukan untuk memodifikasi serat alam antara lain:

2.2.6.1 Alkali

Proses alkali merupakan perlakuan serat alam dengan penambahan alkali (NaOH) dengan variasi konsentrasi tertentu, pada konsentrasi 10% NaOH dapat menyebabkan kerusakan pada struktur serat [37]. Senyawa alkali akan melarutkan senyawa amorph seperti hemiselulosa, lignin dan wax, sehingga diperoleh serat alam dengan kekasaran yang meningkat menyebabkan terbentuknya mekanisme perekatan *mechanical interlocking* pada komposit [13]. Liu *et.al* [38], menyimpulkan bahwa proses alkali dapat meningkatkan stabilitas panas dari *native grass*.

2.2.6.2 Coupling agents

Maleated-coupling agents paling banyak dipergunakan untuk modifikasi baik pada serat maupun pada polimer. *Maleated-g-polimer* memberikan gugus

hidrofilik yang dapat berikatan dengan serat alam sedangkan gugus polimer dapat bertaut dengan matrik polimer sehingga terbentuk interface diantara serat dengan matrik. Penambahan 1% MAPP dapat meningkatkan nilai impak komposit sisal-PP [39]. Dalam studi Tajvidi *et.al* [40], penambahan MAPP dapat menurunkan kecepatan degradasi komposit akibat pemanasan.

2.3 Karakteristik Material Polimer Termoplastik

Terkait dengan degradasi termal serat selulosa diatas suhu 200°C, maka hanya polimer dengan titik leleh di bawah 200°C yang dapat dipergunakan sebagai matrik dalam komposit serat alam. Polipropilena merupakan polimer semikristalin yang paling banyak dipergunakan dalam komposit, karena mempunyai densitas paling rendah, kemudahan untuk diproses, memiliki stabilitas dimensi dan nilai impak yang tinggi, serta sifat mekanis dan elektrik yang bagus [25]. Pada Tabel 2.8 dapat dilihat beberapa sifat mekanis dari polimer termoplastik yang umum dipergunakan dalam komposit serat alam.

Tabel 2.8 Beberapa propertis polimer termoplastik [25]

Property	PP	LDPE	HDPE	PS
Density (g/cm ³)	0.899-0.920	0.910-0.925	0.94-0.96	1.04-1.06
Water absorption 24 hours (%)	0.01-0.02	< 0.015	0.01-0.2	0.03-0.10
T _g (°C)	-10 to -23	-125	-133 to -100	-
T _m (°C)	160 – 176	105 – 116	120 – 140	110 – 135
Heat Deflection Temp. (°C)	50-63	32-50	43-60	Max. 220
Coeff. of Thermal Expansion (mm/mm/°C x 10 ⁵)	6.8 – 13.5	10	12 – 13	6 – 8
Tensile strength (MPa)	26 – 41.4	40 – 78	14.5 – 38	25 – 69
Elastic modulus (GPa)	0.95 – 1.77	0.055 – 0.38	0.4 – 1.5	4 – 5
Elongation (%)	15 – 700	90 – 800	2.0 – 130	1 – 2.5
Izod impact strength (J/m)	21.4-267	>854	26.7-1068	1.1

PP: Polypropylene; LDPE: Low Density Polyethylene; HDPE: High Density Polyethylene; PS: Polystyrene

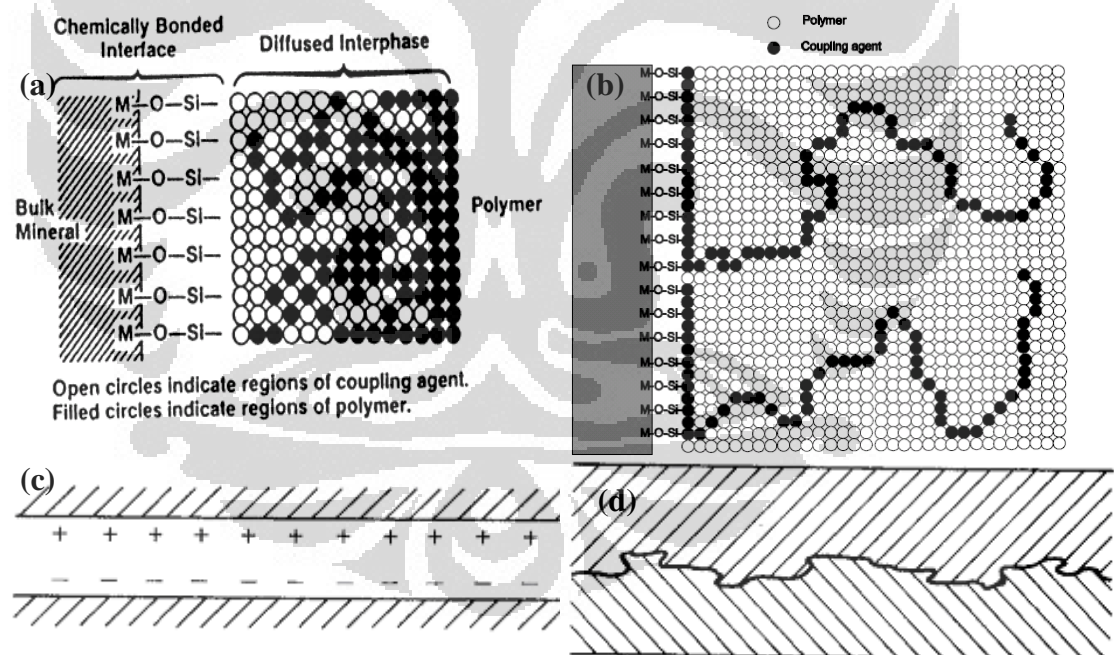
2.4 Teori Perlekatan (*Adhesion Theory*) [41]

Dalam pemahaman yang sederhana, perlekatan yang terjadi pada antar muka merupakan perlekatan antara serat dan matrik, namun hal tersebut menjadi

hal yang sangat kompleks jika mengingat sifat dari kedua komponen yang bisa saja berbeda (polar dan non polar). Untuk lebih memahami sistem perekatan antara kedua komponen tersebut, berikut adalah beberapa mekanisme perekatan yang mampu terjadi:

2.4.1 *Interdiffusion*

Mekanisme perekatan dapat terjadi jika komposisi molekul antar komponen dapat berdifusi satu sama lain. Kekuatan rekat sangat dipengaruhi oleh jumlah molekul yang berdifusi dan membentuk ikatan saling bertaut (*entanglement*). Untuk meningkatkan daya kohesifitas antara kedua komponen dapat dilakukan modifikasi permukaan serat dengan pelapisan atau menciptakan gugus aktif tertentu. Pada Gambar 2.5(a) dapat dilihat bahwa gugus silane pada rantai polimer yang melapisi permukaan serat dapat berdifusi ke dalam matrik polimer dengan baik.



Gambar 2.5 Mekanisme perekatan (a) mekanisme *Interdiffusion* (b) mekanisme *coupling agent* (c) *electrostatic attraction* (d) *mechanical adhesion* [41]

2.4.2 *Chemical Bonding*

Mekanisme ini sering dipergunakan untuk menjelaskan terjadinya perekatan dengan *coupling agent* pada komposit. Prinsip mekanisme *coupling agent* adalah terdapat dua gugus aktif yang bersifat mampu berinteraksi pada serat serta

kompatibel dengan matrik. Kekuatan rekat dipengaruhi oleh jumlah dan jenis ikatan antara dua komponen tersebut. Silane *coupling agent* banyak dipergunakan pada komposit dengan serat gelas dan *maleated anhydride graft polypropylene* (MAPP) banyak dipergunakan pada komposit PP dengan berbagai serat penguat. Ilustrasi mekanisme *coupling agent* dapat dilihat pada Gambar 2.5(b).

2.4.3 *Electrostatic Attraction*

Pada mekanisme ini, energi untuk terjadinya perekatan adalah gaya saling tarik menarik antara dua buah muatan positif dan negatif atau dapat dinyatakan dalam interaksi ikatan asam-basa (ikatan ionik). Kekuatan rekat sangat dipengaruhi oleh kepadatan dan perbedaan muatan. pH pelarut jika dipergunakan sangat berpengaruh pada pembentukan ikatan asam-basa. Ilustrasi mekanisme *electrostatic attraction* disajikan pada Gambar 2.5(c).

2.4.4 *Mechanical Adhesion*

Perekatan antara dua komponen dapat pula terjadi secara mekanis, seperti tersaji pada Gambar 2.5(d). Kedua permukaan dapat saling mengunci (*interlocking*) dimana, resin/matrik dapat secara sempurna membasahi setiap area permukaan dengan baik. Kekuatan ikatan ini lebih rendah jika dibandingkan dengan beberapa mekanisme perekatan lainnya, namun kekuatan geser akan lebih signifikan tergantung pada derajat kekasaran dari permukaan serat.

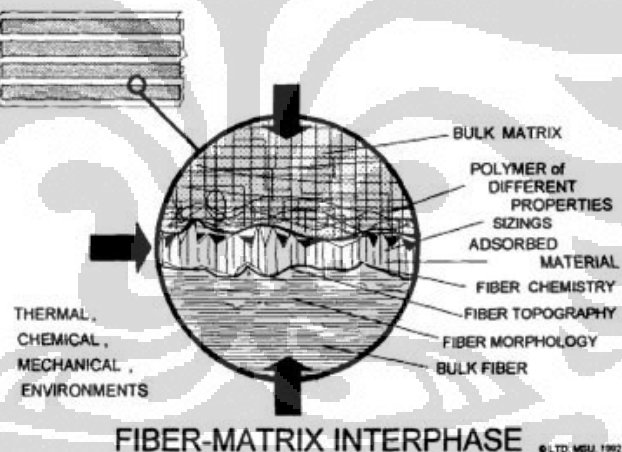
Dari beberapa mekanisme diatas, perlu menjadi catatan pula adalah sifat geometri dari serat yang dipergunakan. Serta faktor-faktor lain seperti penyusutan dari matrik, nilai koefisien panas ekspansi serat dan matrik yang akan sangat sangat berpengaruh pada ikatan pada saat proses pembuatan komposit maupun pada saat komposit menerima beban.

2.5 *Interface (antar-muka) dan Interphase (antar-fasa)*

Menurut Jacob *et.al* [26], seperti pada ilustrasi Gambar 2.6, *interface* adalah berbeda dengan *interphase*. *Interface* merupakan daerah dua-dimensi antara serat dengan matrik yang mempunyai sifat-sifat propertis diantara kedua konstituen. Molekul-molekul matrik dapat berdifusi pada permukaan serat dengan

mekanisme reaksi kimia maupun adsorpsi, dimana hal ini sangat menentukan besarnya daya perekatan antar muka. *Interface* dapat juga terdiri dari komponen kimia *coupling agent*. Daerah yang memisahkan antara matrik dengan serat merupakan daerah krusial untuk terjadinya transfer beban.

Sedangkan, *interphase* merupakan daerah tiga-dimensi yang tidak juga dapat dikatakan sebagai fasa baru, hal ini dikarenakan interphasa tidak memiliki batas yang jelas. *Interphase* dapat dikatakan sebagai daerah transisi yang terbentuk dari mekanisme difusi antarmuka antara matrik dan serat. Interphase yang lebih lunak daripada matrik polimer akan menghasilkan komposit dengan kekakuan dan kekuatan yang rendah, namun mempunyai ketangguhan yang tinggi. Sebaliknya, interphase yang lebih kaku dari matrik polimer akan menyebabkan komposit bersifat kuat dan kaku namun sangat getas (nilai ketangguhan yang rendah). *Interphase* merupakan daerah dengan ketebalan tidak lebih dari 5 μm dengan sifat-sifat propertis sangat berbeda dengan matrik polimer.



Gambar 2.6 Ilustrasi *interface-interphase* pada material komposit [26]

Kekuatan dan ketangguhan komposit berpenguat serat sangat dipengaruhi interface antara matrik dan serat. *Interface* yang kuat akan menghasilkan material komposit dengan kekuatan dan kekakuan yang baik namun bersifat sangat getas, karena pergerakan *crack* akan sangat mudah terjadi melalui matrik dan ke serat. *Interface* yang lemah akan mengurangi efisiensi transfer beban dari matrik ke serat sehingga dihasilkan material komposit dengan kekuatan dan kekakuan yang rendah. Jika nilai resistensi terhadap perpatahan (*fracture toughness*) menjadi prioritas maka, interface yang lemah lebih diharapkan. Pada interface yang lemah,

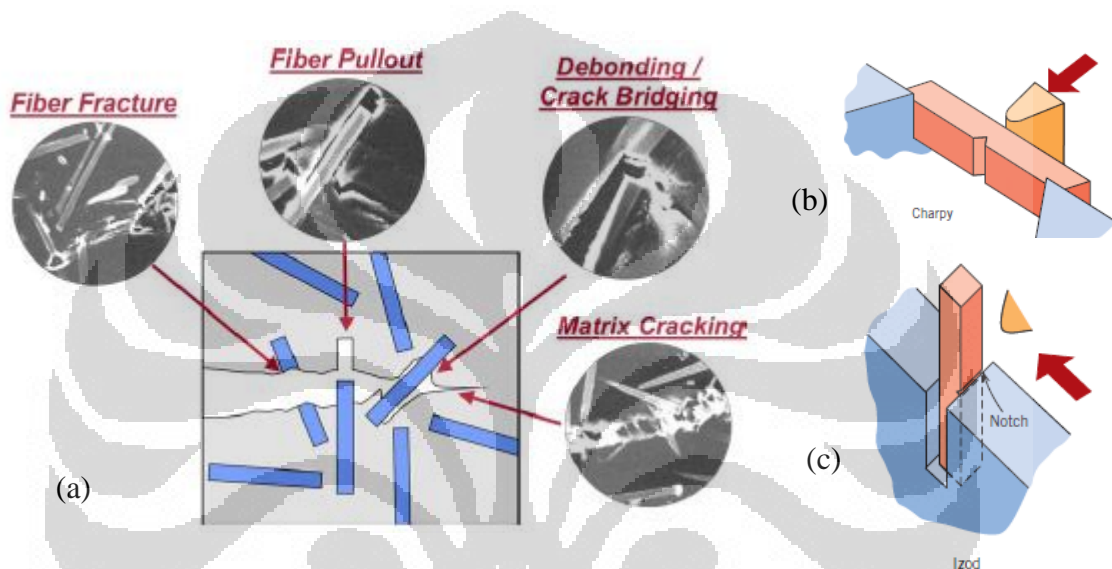
pergerakan crack secara transversal akan menyusuri antar-muka matrik dan serat sehingga menghasilkan *debonding* dan atau *pull-out fiber* daripada mekanisme perpatahan serat (*fiber breakage*) yang disebabkan *interface* yang kuat. Mekanisme *debonding* dan atau *pull-out fiber* sangat berperan untuk meningkatkan ketangguhan dari komposit [16,26,33-34,43]. Wambua *et.al* menyatakan bahwa jumlah energi yang diserap untuk terjadinya *fiber pull out* lebih tinggi daripada energi yang diserap pada mekanisme *fiber breakage*[16]. Namun, pendapat yang berbeda dikemukakan oleh Oksman *et.al* [44], bahwa *interface* yang lemah menyebabkan penurunan pula terhadap nilai uji impaknya.

2.6 Nilai Impak (*Toughness*)

Nilai impak adalah besarnya energi yang dapat diserap oleh material ketika memperoleh beban dinamis sampai terjadinya perpatahan. *Toughness* merupakan fungsi dari kekuatan dengan keuletan. Sifat material pada umumnya mempunyai nilai impak yang berbanding terbalik dengan nilai kekuatan material tersebut. Pada material komposit, hal tersebut menjadi lebih kompleks dengan adanya penguat. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai impak polimer matrik komposit antara lain: diameter serat [35], panjang serat terhadap panjang serat kritis (l_c) [46], *aspect ratio* dan distribusi serat penguat [44], persentase penguat yang ditambahkan [16,47] dan perlakuan permukaan terhadap serat sebagai penguat [48-50]. Disamping itu, pengaruh penambahan serat terhadap derajat kristalisasi, pembentukan kristal β -phase pada kasus polipropilena juga meningkatkan ketangguhan komposit [51]. Demikian halnya dengan mekanisme pembentukan lapisan transkristalisasi (*transcrystallisation layer*) pada permukaan serat mempengaruhi kekuatan komposit [48,52].

Thostenson *et.al* [53] dalam ilustrasi yang tersaji pada Gambar 2.7(a) menyatakan bahwa, baik pada kasus material komposit berpenguat serat pendek maupun berpenguat serat panjang memiliki beberapa mekanisme pelepasan energi yang sama ketika memperoleh beban antara lain: perpatahan serat, pencabutan serat, *debonding* atau jembatan *crack* (serat tidak tercabut) serta *crack* pada matrik, dimana jumlah energi pada masing-masing mekanisme adalah berbeda. Untuk mengetahui besarnya nilai ketangguhan suatu material dapat dilakukan dua

metode pengujian impak, yaitu metode *Charpy* dan metode *Izod*. Sampel dibuat sesuai standar baik dengan cara membuat takik (*notched*) atau tanpa takik (*unnotched*) pada komposit, takik ditujukan sebagai pemusatan beban (*stress concentration*). Seperti terlihat pada Gambar 2.7(b), untuk metode *Charpy*, specimen dikenakan beban dengan dua buah penyangga pada dua sisi specimen, sedangkan untuk metode *Izod*, penyangga specimen hanya terdapat pada salah satu sisi-nya, Gambar 2.7(c).



Gambar 2.7 (a) Ilustrasi mekanisme penyerapan energi pada saat uji impak [53], (b) *Charpy impact test*, (c) *Izod impact test*

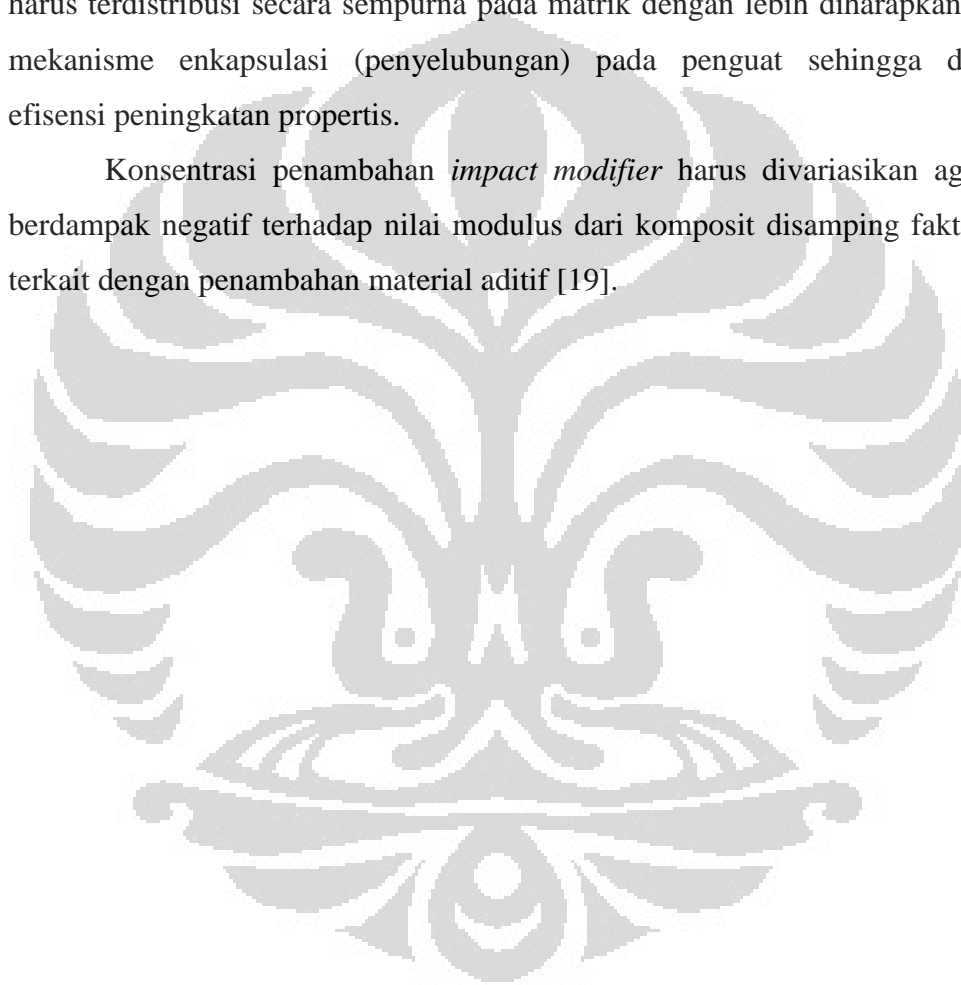
Nourbakhsh *et al.* [54] menyarankan untuk menggunakan serat alam dengan daya mulur yang tinggi (MFA – *Microfibril Angle* – yang besar) untuk dapat meningkatkan ketangguhan dari komposit serat alam.

2.7 Impact Modifier

Disamping beberapa faktor seperti yang tercantum pada poin 2.6, menurut Oksman *et.al* [19], nilai ketangguhan komposit dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan aditif yang bertujuan untuk meningkatkan duktilitas matrik polimer dan meningkatkan interaksi antar-muka/antar-fasa matrik dan serat (dalam hal ini adalah penambahan *coupling agents* atau *compatibilizer*). Bahan aditif yang umum dipergunakan untuk meningkatkan nilai impak polimer adalah *ethylene/propylene/diene terpolymer* (EPDM), disamping itu dapat pula di

gunakan *ethylene/propylene thermoplastic elastomer* (TPO), *styrene/butadiene/styrene rubber*(SBR), *styrene-ethylene/butylene-styrene*(SEBS), *acrylonitrile/butadiene rubber* (ABR), dan *ethylene vinylacetate* (EVA). Pemakaian senyawa elastomer mempengaruhi dampak, rasio viskositas polimer-elastomer serta kompatibilitas antar fasa. Secara umum, elastomer berfungsi sebagai pemusat konsentrasi (*stress concentrator*), dan mencegah terjadinya perpatahan katastrofik lanjut. Demikian halnya dengan penguat, senyawa ini juga harus terdistribusi secara sempurna pada matrik dengan lebih diharapkan melalui mekanisme enkapsulasi (penyelubungan) pada penguat sehingga diperoleh efisiensi peningkatan propertis.

Konsentrasi penambahan *impact modifier* harus divariasikan agar tidak berdampak negatif terhadap nilai modulus dari komposit disamping faktor biaya terkait dengan penambahan material aditif [19].



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

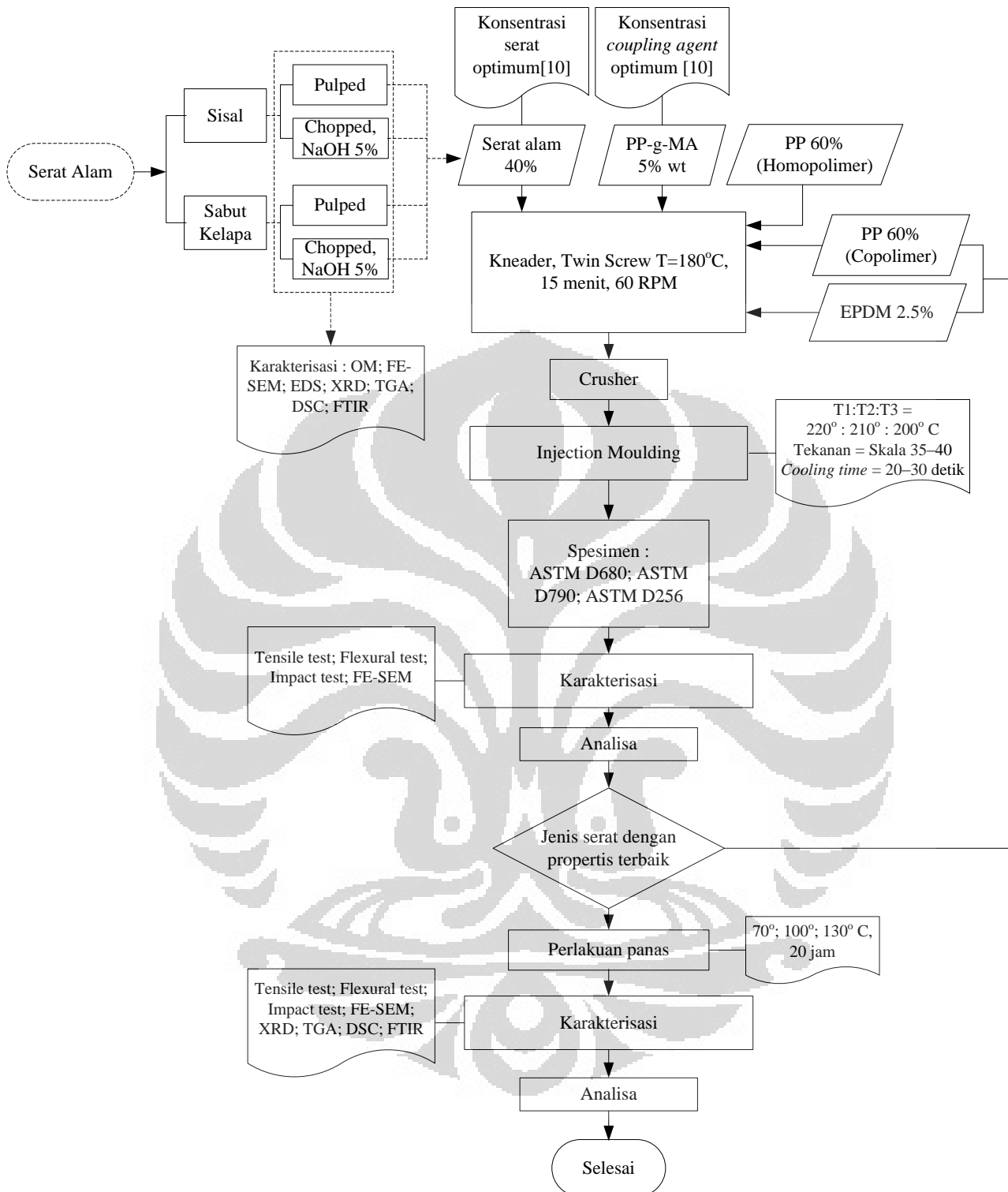
Penelitian ini merupakan bagian dari rangkaian penelitian pemanfaatan serat alam sebagai penguat dalam matrik polimer untuk komponen otomotif. Dimana sampai dengan saat ini dari sifat-sifat mekanis komposit yang diperoleh, aplikasinya masih terbatas pada komponen non-struktural. Dari penelitian pendahuluan yang dilakukan diperoleh beberapa variabel optimal seperti fraksi berat serat yang ditambahkan yaitu 40% berat, fraksi berat *coupling agent* yaitu 5% berat serta kondisi operasi proses manufaktur (proses pencampuran dan proses *injection moulding*). Sehingga pada penelitian ini akan lebih di fokuskan pada variasi lain seperti yang dijelaskan pada hipotesis. Adapun bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1 Bahan:

1. Polipropilena, homopolimer, otomotif grade, MFI = 11.98g/10 min diperoleh dari Grand Siam Composites Co. Ltd, Thailand
2. Polipropilena, kopolimer, otomotif grade, MFI = 29.08g/10 min diperoleh dari Grand Siam Composites Co. Ltd, Thailand
3. Maleated Acid grafted Polypropylene (PP-g-MA) UMEX 1001 SANYO Chemical Industries, Japan
4. Serat sisal, di beli dari Malang. Serat di giling dengan disc mill kemudian disaring menggunakan ayakan lolos 40 mesh tertahan pada 80 mesh, panjang serat yang diperoleh adalah 2-5 mm.
5. Serat kelapa, di beli dari Sukabumi. Serat di giling dengan disc mill kemudian disaring menggunakan ayakan lolos 40 mesh tertahan pada 80 mesh, panjang serat yang diperoleh adalah 2-5 mm.
6. EPDM (*ethylene/propylene/diene terpolymer*) diperoleh dari Grand Siam Composites Co. Ltd, Thailand

3.2 Diagram Alir:

Pada Gambar 3.1 berikut disajikan diagram alir dari penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian pembuatan komposit polipropilena berpenguat serat alat

3.3 Pengkodean Sampel Penelitian

Pada Tabel 3.1 berikut adalah penjelasan penamaan kode pada sampel penelitian ini:

Tabel 3.1 Pengkodean spesimen penelitian

No	Kode	Jenis Serat		Bentuk Serat		Jenis Polimer		Aditif		Perlakuan panas selama 20 jam		
		Sisal 40%	Kelapa 40%	Chopped	Pulped	Homopolymer MFI = 11.98 g/10 min	Copolymer MFI = 29.08 g/10 min	PP-g-MA 5%	EPDM 2.5%	70°C	100°C	130°C
1	PPHo					X						
2	PPCo						X					
3	CCHo		X	X		X		X				
4	CPHo		X		X	X		X				
5	SCHo	X		X		X		X				
6	SPHo	X			X	X		X				
7	SCCo	X		X			X	X				
8	SCHoE	X		X		X		X	X			
9	SPHo 70	X			X	X		X		X		
10	SPHo 100	X			X	X		X			X	
11	SPHo 130	X			X	X		X				X
12	SCHoE 70	X		X		X		X	X	X		
13	SCHoE 100	X		X		X		X	X		X	
14	SCHoE 130	X		X		X		X	X			X

Untuk memudahkan dalam pemberian kode, dibuat singkatan kode yang disesuaikan dengan variabel yang dipergunakan dalam penelitian ini. Antara lain: Ho untuk polimer jenis Homopolimer, Co untuk Kopolimer, serat sisal dengan kode S, serat sabut kelapa dengan kode C. Sedangkan bentuk serat *chopped* disingkat dengan C dan bentuk serat *pulp* disingkat dengan P. Kode tambahan E adalah kode untuk komposit yang ditambahkan EPDM. Pengkodean perlakuan panas pada komposit pada temperatur tertentu yang ditetapkan, ditandai sesuai dengan temperaturnya masing-masing yaitu 70, 100 dan 130.

3.4 Persiapan Serat Alam:

3.4.1 Serat *Pulp*

Serat sisal dan kelapa dipotong-potong sepanjang sekitar 5 cm, kemudian serat dimasak dalam digester dengan larutan NaOH dan Na₂S masing-masing 18% sebagai alkali aktif dan sulfiditas 30% pada ratio (1:4) selama 1,5 jam sampai mencapai suhu 165°C. Kemudian temperatur tetap dipertahankan pada suhu 165°C selama 2,5 jam. Setelah itu, serat yang sudah lunak dipisahkan dari cairan pemasaknya, dan dicuci sampai tidak terasa licin (bersih). Selanjutnya serat difibriliasi sehingga didapatkan *single fiber* dengan *disc refiner*. Serat selanjutnya dikeringkan dalam bentuk lembaran-lembaran kertas tipis, untuk memudahkan dalam proses pencampuran dengan polimer lembaran kertas tersebut kemudian di sobek-sobek.

3.4.2 Serat *Chopped*

Serat alam kering dengan ukuran 2-5 mm diproses lebih lanjut dengan perlakuan alkali. Serat alam direndam kedalam larutan NaOH 5% berat pada suhu 80°C serta diaduk selama 1 jam. Serat alam yang ditambahkan sebanyak 70 gram per 1 liter larutan alkali. Kemudian serat alam disaring dan dicuci dengan air bersih sampai hilang alkalinitas-nya dan dikeringkan pada 100 °C sampai berat konstan. Serat alam disimpan dalam wadah kedap udara untuk menjaga kadar air. Proses alkali ini ditujukan untuk proses delignifikasi.

3.5 Coupling Agent

PP-g-MA 5% dipilih berdasarkan penelitian awal [10] yang merupakan konsentrasi optimum, PP-g-MA ditambahkan pada saat pencampuran dalam mesin mixer.

3.6 Impact Modifier

Sebanyak 2.5% berat polimer berbasis elastomer (EPDM) ditambahkan pada saat pencampuran dalam mesin mixer.

3.7 Pembuatan Komposit

Proses pencampuran serat alam dan polimer dilakukan dalam *kneader*, *twin screw* dengan kondisi operasi suhu 180°C, kecepatan 60 rpm, selama 15 menit. Hasil pencampuran dihancurkan dalam mesin *crusher* untuk selanjutnya dibuat spesimen dengan menggunakan mesin *injection moulding*. Spesimen dibuat untuk uji mekanis menggunakan standar ASTM D638 untuk uji tarik, standar ASTM D680 untuk uji bending dan standar ASTM D256 untuk uji impak. Parameter mesin injeksi ditetapkan untuk memperoleh spesimen uji dengan karakteristik penyusutan (*shrinkage*) terkecil, tidak terbentuk rongga didalam sampel, tidak terjadi perubahan warna (*degradasi*) pada sampel uji. Adapun spesifikasi operasi adalah sebagai berikut:

Type	: Injection moulding AIC Auckland Industrial Co. Ltd
Model	: A50-150
Temperatur <i>screw</i>	: 220°; 210°; 200° C
Inject	: Flow = 50; Press = 50
Holding	: Flow = 20; Press = 30
Cooling time	: 20-30 detik

3.8 Perlakuan Panas

Komposit dengan sifat mekanis terbaik akan dilakukan perlakuan panas yaitu pemanasan pada suhu 70°, 100° dan 130°C selama 20 jam. Spesimen dibiarkan dalam oven sampai diperoleh suhu ruangan.

3.9 Proses Karakterisasi:

Proses karakterisasi dilakukan pada bahan baku serat alam dan komposit yang dihasilkan. Persiapan spesimen karakterisasi disesuaikan dengan kebutuhan alat karakterisasi. Seperti bahan uji dalam bentuk serbuk, pelet sebelum proses injeksi dan sampel hasil proses injeksi. Adapun prosedur karakterisasi adalah sebagai berikut:

3.9.1 Densitas Komposit

Densitas komposit ditentukan dengan mempergunakan penimbangan berat sampel uji dalam picnometer volume 25 ml. Volume sampel uji diketahui dengan perubahan volume dari larutan etanol 96% dalam picnometer. Adapun perhitungan penentuan densitas dilakukan sebagai berikut:

1. Mencatat berat picnometer kosong
2. Mencatat berat larutan etanol 96% dalam 25 ml
3. Menyiapkan dan mencatat berat sampel ± 5 gr yang dimasukkan ke dalam picnometer 25 ml
4. Menambahkan larutan etanol 96% kedalam picnometer 25 ml berisi sampel uji (poin 3) hingga penuh dan menutupnya. Kemudian ditimbang dan dicatat berat sampel dan berat larutan etanol pada picnometer 25 ml
5. Densitas sampel diketahui dengan membagi berat sampel dengan volume sampel, dalam hal ini volume sampel adalah sama dengan volume etanol yang dipindahkan pada penimbangan poin 4.

3.9.2 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Serat/komposit dihaluskan hingga menjadi serbuk, kemudian dikeringkan selama 24 jam. Analisa mempergunakan FTIR merk PerkinElmer UATR two tanpa sistem pembentukan pellet dengan KBr. Pemadatan sampel dilakukan diatas bidang *diamond* yang ditekan pada skala 50. Persen transmisi IR spektrum kemudian dicatat untuk masing-masing sampel pada kisaran panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} pada resolusi 4 cm^{-1} dengan akumulasi 32 scan.

3.9.3 XRD (*X-ray Diffraction*)

Analisa XRD ditujukan untuk mengetahui struktur kristal dan derajat kristalisasi dari polimer dengan berbagai macam perlakuan penambahan *filler*. Analisa menggunakan XRD SHIMADZU MaximaX (Cu-K α , $\lambda=0.154$ nm) pada 40kV dan 300 mA dengan kecepatan scan 0.02°C min⁻¹ dan sudut angle scan 10-40°.

Dari analisa XRD dapat ditentukan derajat fase kristalin (kristal selulosa) dengan fase amorf (non selulosa) yang disebut sebagai derajat kristalinitas (%Xc). Nilai %Xc ditentukan dengan persamaan:

$$\% Xc = \frac{I_{crystalline}}{I_{amorf} + I_{crystalline}} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana $I_{crystalline}$ adalah intensitas pada fase kristalin yaitu pada bidang (002) pada sudut $2\theta = 22-23^\circ$, sedangkan I_{amorf} adalah intensitas pada fase amorf yaitu pada daerah sudut $2\theta = 18^\circ$. Pada perhitungan %Xc penelitian ini mempergunakan *software* yang ada pada mesin XRD dengan mengukur luasan daerah dengan puncak intensitas terhadap luasan daerah amorf (bagian bawah serapan intensitas). Selain untuk menentukan derajat kristalinitas, analisa XRD dapat pula dipergunakan untuk menentukan ukuran kristal selulosa, dimana ukuran kristal ditentukan dengan persamaan Scherrer:

$$t = \frac{k\lambda}{B\cos\theta} \quad (3.2)$$

dengan t adalah besar dari ukuran kristalit rata-rata, k adalah faktor bentuk dari kristalit (biasanya bernilai 0.9), λ adalah panjang gelombang sinar-X yang di berikan, B adalah pelebaran pada setengah maksimum (*full width at half maximum*, FWHM), dan $\cos\theta$ adalah besar sudut *Bragg*.

3.9.4 *Optical Microscopy*

Morfologi serat sisal dan sabut kelapa sebelum dan sesudah perlakuan dianalisa dengan menggunakan mikroskop optik (*Optical Microscopy* NIKON eclipse 80i), Japan. Gambar dapat diambil kemudian dianalisa dengan menggunakan *software* Motic Images Plus 2.0 untuk mengetahui dimensi serat.

3.9.5 SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan FE-SEM (*Field Emission-SEM*)

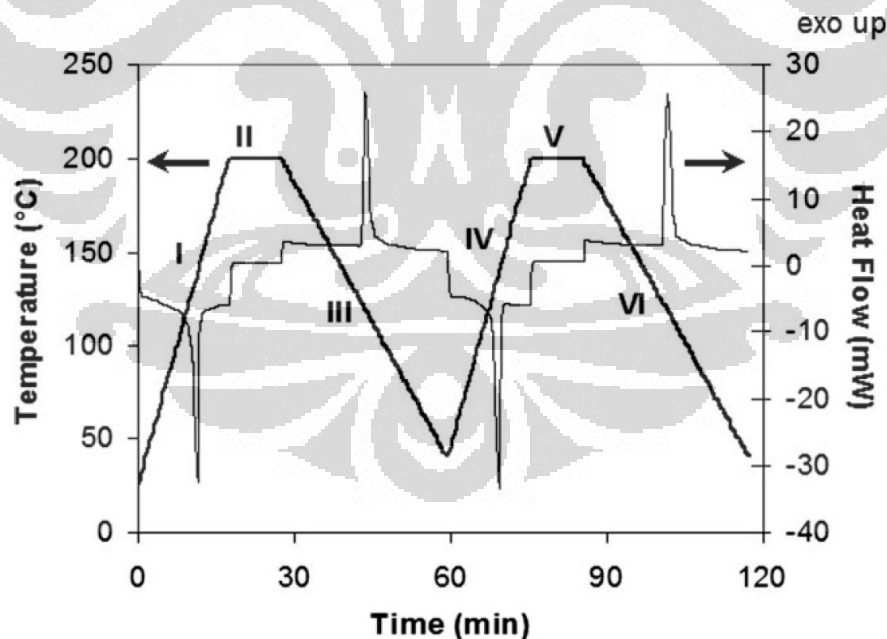
Sampel serat, sampel patahan hasil uji dianalisa kegagalan dan morfologinya lebih mendetail menggunakan SEM JEOL JSM 5310 LV pada 20kV. Sampel di lapisi dengan emas sebelum proses pengambilan gambar. Sedangkan untuk FE-SEM digunakan tipe INSPECT F50 pada 30kV menggunakan *secondary electron*.

3.9.6 Thermogravimetry

Analisa thermogravimetric (TGA/DTG) dilakukan menggunakan STA (*simultaneous thermal analysis*) PerkinElmer STA 6000, kecepatan pemanasan 10°C/menit pada suhu 50-550°C dalam kondisi gas inert (nitrogen). Perubahan berat akibat proses peningkatan suhu serta perubahan *heat flow* dicatat secara otomatis.

3.9.7 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Analisa DSC dilakukan dengan menggunakan alat PerkinElmer type STA 6000. Sampel komposit dengan berat ± 10 mg disiapkan. Proses pengujian DSC mempergunakan alur seperti terlihat pada Gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Diagram alur pengujian DSC

Pengujian DSC dilakukan dalam 6 tahapan. Tahap I, pemanasan dari suhu 25°C sampai 200°C dengan kecepatan 10°C/min, kemudian ditahan pada suhu 200°C selama 5 menit (*isothermal*), tahap II, pada tahap III sampel di dinginkan hingga mencapai suhu

25°C pada kecepatan 20°C/min, perlakuan tahap I-III bertujuan untuk menghilangkan *thermal history* akibat proses injeksi dengan pendinginan yang tidak seragam. Pada tahap IV sampai dengan tahap VI, adalah pengulangan dari tahap I-III. Parameter T_g (suhu transisi gelas), T_m (temperature pelelehan), ΔH_m (entalpi pelelehan) diperoleh pada tahap IV, sedangkan T_c (temperature kristalisasi) ditetapkan dari perubahan *heat flow* pada tahap VI, selanjutnya dari uji DSC dapat pula ditentukan derajat kristalinitas sampel komposit.

3.9.8 *Flexural strength dan Flexural modulus*

Diukur dengan menggunakan Universal Testing Machine SHIMADZU dengan standar ASTM D790. Jumlah sampel sebanyak 3 sampel.

3.9.9 *Tensile strength dan Tensile modulus*

Diukur dengan menggunakan Universal Testing Machine SHIMADZU dengan standar ASTM D680. Jumlah sampel sebanyak 3 sampel.

3.9.10 *Notched Izod impact*

Diukur dengan standar ASTM D256, kecepatan pendulum 2.9 m/s dengan energi 4.7 joule. Jumlah ulangan sebanyak 3 sampel.

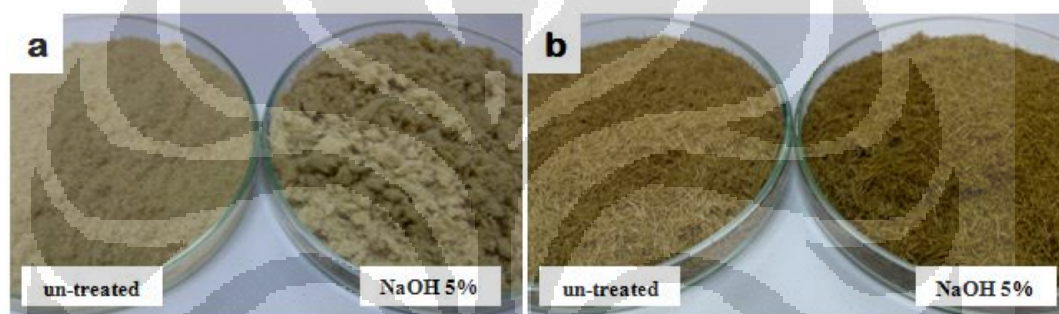
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan hasil-hasil penelitian yang sudah dilakukan diantaranya karakterisasi terhadap bahan baku serat alam sebagai penguat dalam matrik polimer PP. Selanjutnya adalah proses karakterisasi terhadap komposit serat alam yang sudah dibuat untuk mengetahui pengaruh dari beberapa faktor antara lain jenis serat alam, bentuk morfologi serat alam, jenis polimer yang dipergunakan, pengaruh penambahan *impak modifier*, serta pengaruh perlakuan panas pada komposit terhadap nilai kuat tarik dan ketangguhan komposit (impak). Bahan baku serat alam yang dipergunakan dalam penelitian ini mempunyai bentuk, morfologi seperti yang tersaji pada Gambar 4.1. Pada penelitian ini dipergunakan 2 (dua) jenis serat alam yaitu serat sisal dan serat sabut kelapa, dimana masing-masing jenis serat di variasikan bentuk morfologisnya menjadi serat berbentuk bulk (*chopped*) dan berbentuk lembaran hasil dari proses *pulping* (*pulp*) sehingga diperoleh serat alam dalam bentuk *single of fibers*.



Gambar 4.1 Bahan baku serat alam yang dipergunakan (a) Serat kelapa bulk (*coconut chopped-CC*); (b) Serat sisal (*sisal chopped-SC*); (c) Serat kelapa pulp (*coconut pulp-CP*) dan (d) Serat sisal pulp (*sisal pulp-SP*)

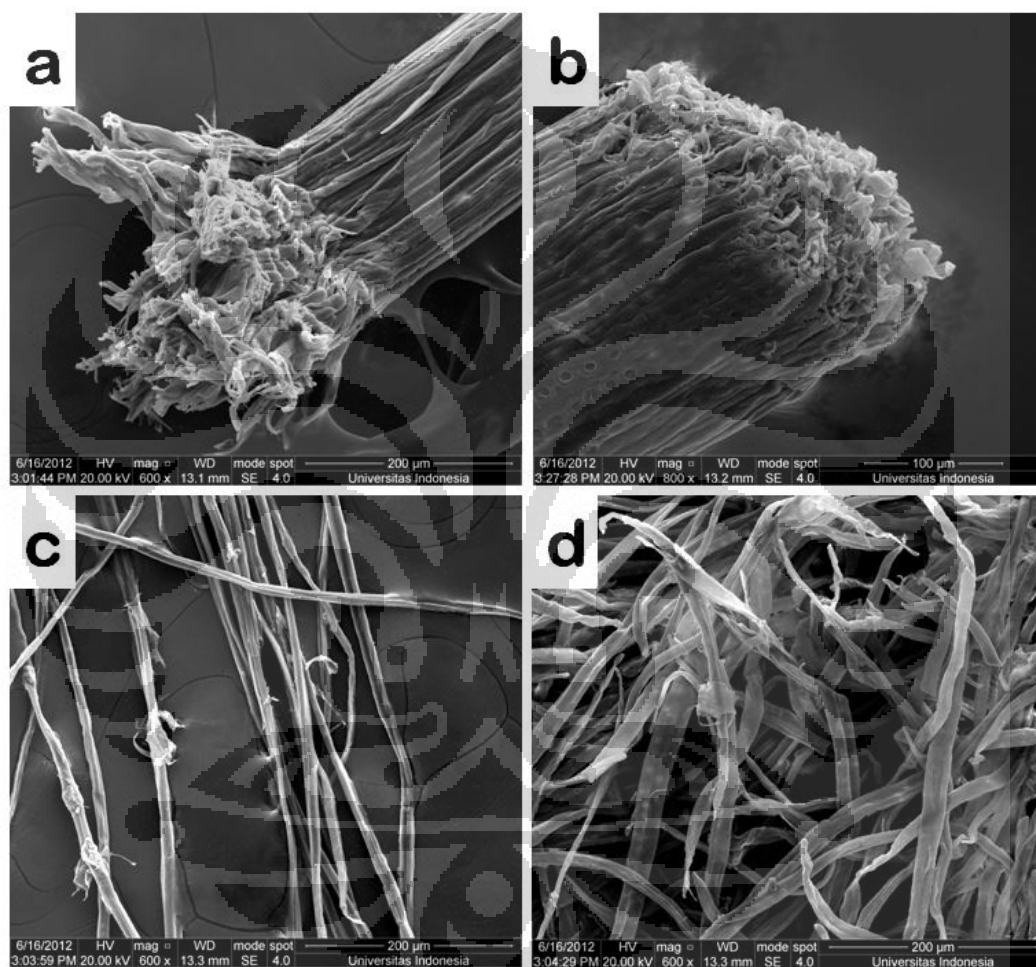
Dalam rangka untuk meningkatkan pembentukan antarmuka (*interface*) yang baik antara serat alam dan matrik maka serat berbentuk *chopped* dilakukan proses perendaman dalam larutan alkali (NaOH 5%, 80°C, 1 jam). Proses perlakuan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan pada permukaan serat (*surface roughness*), perubahan komposisi kimia permukaan serta perubahan struktur kristal dari serat alam. Pada Gambar 4.2 disajikan foto penampakan perubahan warna serat alam bentuk *chopped* setelah perlakuan alkali. Serat alam setelah perlakuan alkali berubah warna menjadi tampak lebih gelap. Komponen-komponen kimia penyusun serat alam yang larut dalam alkali terutama lignin membentuk larutan berwarna hitam kecokelatan selama proses perlakuan.



Gambar 4.2 Penampakan serat alam *chopped* setelah perlakuan perendaman dalam larutan NaOH 5%, 80°C, 1 jam

Disamping dalam bentuk *chopped*, bentuk serat alam dirubah menjadi dalam bentuk *single of fibers* melalui tahapan proses *pulping* dengan mempergunakan larutan aktif alkali sampai dengan konsentrasi 18% serta proses fibrilisasi (mencerai-beraikan) serat bulk secara mekanis. Penggunaan bahan kimia alkali tersebut juga dapat menyebabkan perubahan komposisi kimia, morfologi permukaan serat serta perubahan stabilitas panas dari serat alam tersebut. Menurut Li *et al.* [12] perlakuan alkali akan melarutkan senyawa-senyawa kimia yang rentan dalam kondisi basa seperti *wax*, tanin, unsur-unsur protein dan hemiselulosa serta lignin. Hal ini menyebabkan permukaan menjadi lebih kasar. Perubahan ini akan meningkatkan mekanisme perekatan *mechanical interlocking* jika serat dipergunakan sebagai penguat dalam sistem komposit polimer. Selain itu, perlakuan alkali juga menyebabkan semakin ter-ekspos-nya gugus fungsi selulosa (gugus -OH), sehingga gugus aktif ini dapat di

fungsionalisasi sedemikian rupa untuk meningkatkan daya perekatan dengan matrik polimer. Pada penelitian ini fungsionalisasi dilakukan dengan mempergunakan *coupling agents* (PP-g-MA). Pada lain sisi, dengan eksposnya gugus hidroksil akan menyebabkan sifat hidrofilik (polaritas) serat alam semakin meningkat, sehingga perlakuan kimia lanjut seperti substitusi gugus-OH merupakan hal wajib untuk membentuk antarmuka yang baik dengan matrik polimer yang bersifat hidrofobik (*non polar*) [10].

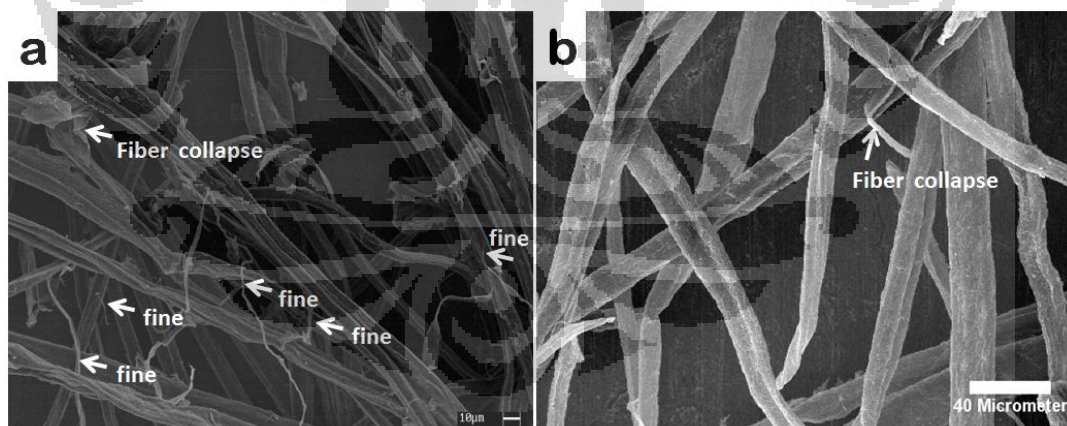


Gambar 4.3 Analisis FE-SEM bahan baku serat alam yang dipergunakan, (a) Sisal *chopped*; (b) Kelapa *chopped*; (c) Sisal pulp dan (d) Kelapa pulp

Dengan mempergunakan FE-SEM, dapat dilihat dari Gambar 4.3, bahwa serat *chopped* sisal, akibat proses pemotongan menyebabkan pada bagian ujung serat membentuk untaian-untaian serat, berbeda halnya dengan serat kelapa, dimana pada bagian ujung cenderung rata. Hal ini kemungkinan akan mempengaruhi mekanisme penguatan dalam matrik polimer. Lokasi ujung dari

serat (*fibers end*) merupakan titik kritis dimana pembentukan inisiasi *crack* terjadi pada saat material memperoleh pembebanan [55]. Lebih lanjut dengan Gambar 4.3, untuk serat hasil proses *pulping* nampak bahwa serat sisal pulp memiliki diameter yang lebih kecil dengan panjang serat yang lebih panjang jika dibandingkan dengan serat kelapa pulp. Hal ini menunjukkan bahwa *aspect ratio* (L/d) serat sisal lebih tinggi jika di bandingkan dengan serat kelapa pulp. Demikian halnya dengan serat dalam bentuk *chopped*. Dari proses pengukuran diameter serat bulk (*chopped*) menggunakan mikroskop optik diperoleh rata-rata diameter serat kelapa *chopped* adalah $696.83 \pm 127.64 \mu\text{m}$ sedangkan serat sisal bulk berkisar pada $346.48 \pm 59.12 \mu\text{m}$.

Dari Gambar 4.4 berikut, tampak bahwa serat sisal pulp dengan proses fibrilasi mekanis mengakibatkan terbentuknya serabut-serabut halus (*fines*) yang terbentuk dari kerusakan lapisan-lapisan (*fiber collapse*) dalam struktur hirarkis sel serat (Gambar 2.4). Sedangkan hal tersebut tidak terjadi pada serat kelapa pulp. Kajian mendalam mengenai pengaruh fibrilasi terhadap pembentukan transkristalisasi (TCL) pada solidifikasi matrik PP dilakukan oleh Lenes *et al.* [56]. Pembentukan *fines* dapat menjadi *nucleating sites* pada proses kristalisasi polimer. Sehingga akan meningkatkan derajat kristalinitas dari komposit yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Morfologi serat hasil proses pulping, (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa

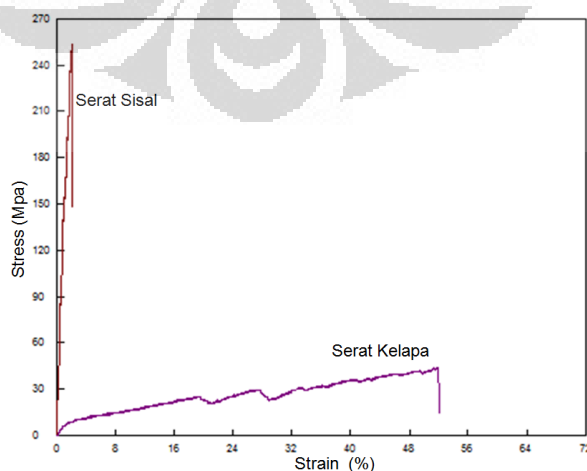
4.1 Karakterisasi Serat Alam

Serat sebagai penguat dalam komposit polimer harus memiliki kuat tarik dan modulus yang lebih baik jika dibandingkan dengan matrik-nya. Sehingga pemilihan jenis serat alam merupakan persyaratan yang wajib di penuhi. Serat

alam merupakan biokomposit alam yang tersusun atas selulosa kristal sebagai penguat dan lignin serta hemiselulosa sebagai matrik. Menurut Salmen *et al.* [57] nilai modulus (E) masing-masing untuk lignin dan hemiselulosa adalah 4-7 GPa dan 2-8 GPa serta mampu mencapai 130 GPa untuk selulosa kristal. Namun, pada kenyataannya kekuatan biokomposit (serat alam) ini dapat mengalami penurunan karena faktor morfologis seperti terbentuknya pori, variasi kondisi lahan, cuaca dan umur tanaman. Namun demikian, secara umum serat alam dapat dipergunakan sebagai penguat dalam matrik polimer.

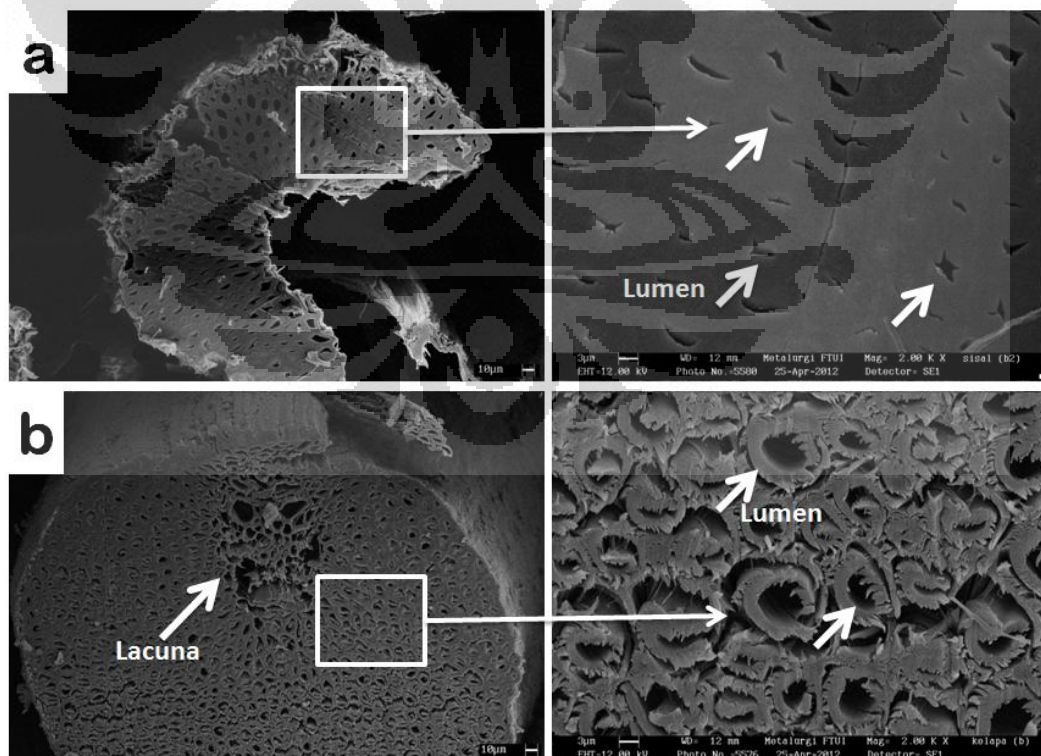
4.1.1 Kuat Tarik Serat Alam

Untuk mengetahui kekuatan serat sisal dan serat kelapa, dilakukan pengujian kuat tarik terhadap serat tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 adalah contoh bentuk kurva tegangan-regangan dari uji tarik serat sisal dan serat sabut kelapa. Dari penampakan kurva ini dapat diketahui bahwa serat sisal merupakan material yang memiliki modulus dan kekuatan yang tinggi namun memiliki daya mulur yang rendah ($< 3\%$). Sebaliknya dengan serat sabut kelapa, serat sabut kelapa memiliki modulus dan kekuatan yang rendah namun memiliki daya mulur yang besar sampai dengan 50%. Nourbakhsh *et al.* [54] dan Bakri *et al.* [58] menyarankan untuk meningkatkan ketangguhan komposit serat alam dapat mempergunakan serat alam dengan daya mulur yang tinggi (MFA-*Microfibril Angle*- yang besar, Gambar 2.4). Oleh karena itu pada penelitian ini akan mencoba menganalisa penggunaan serat sabut kelapa sebagai penguat dan pengaruhnya pada ketangguhan komposit polimer PP.



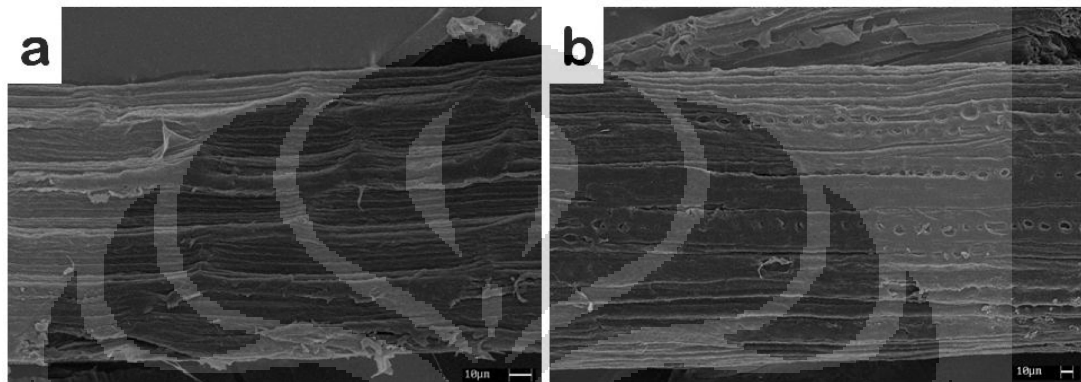
Gambar 4.5 Kurva tegangan-regangan serat alam sisal dan serat sabut kelapa

Secara alamiah, serat alam merupakan *bundle of fibers* (kumpulan dari sejumlah sel serat –*fiber cell wall*–). Penampakan melintang serat alam sisal dan serat sabut kelapa dapat dilihat pada Gambar 4.6. Serat sisal memiliki kepadatan (*packing density*) yang tinggi, terlihat bahwa bentuk lumen (pori) yang kecil dan tersusun atas dinding sel yang tebal. Sedangkan, serat kelapa memiliki bagian berpori yang disebut lacuna, struktur sel seratnya memiliki lumen yang berukuran lebih besar dengan dinding sel yang lebih tipis. Selain bentuk penampang patahan, bentuk penampang melintang dari serat sisal dan sabut kelapa dapat dilihat pada Gambar 4.7. Nampak bahwa permukaan serat sisal memiliki kekasaran yang lebih besar jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Serat sisal secara melintang menunjukkan struktur hirarkis dengan adanya alur-alur yang saling tegak lurus. Desain struktur ini dapat membagi gaya/beban yang mengenai struktur material ini, sehingga dengan *packing density* dan pembagian beban ini menyebabkan secara struktur morfologis kekuatan serat sisal jauh lebih baik jika dibandingkan dengan serat kelapa. Disamping hal itu, dari literatur diketahui bahwa kandungan selulosa serat sisal lebih tinggi jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa (Tabel 2.6).

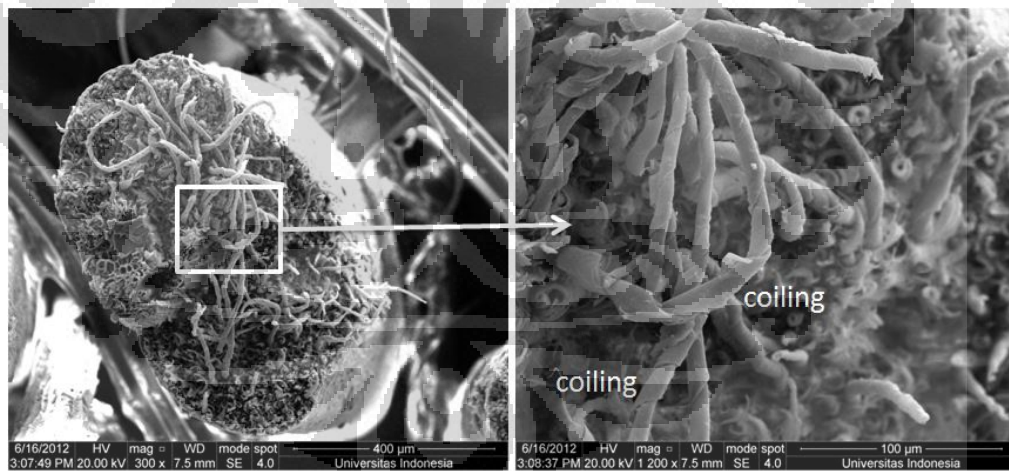


Gambar 4.6 Hasil analisis SEM penampang patah dari serat alam, (a) Sisal dan (b) Kelapa

Lebih lanjut, fenomena daya mulur (elongasi) dari serat kelapa yang mampu mencapai >50% dapat dianalisa dari bentuk patahan yang dimiliki oleh serat sabut kelapa melalui analisa FE-SEM berikut (Gambar 4.8). Patahan serat kelapa menunjukkan terdapat efek *coiling* (spiral) yang terjadi karena susunan lapisan sel serat yang membentuk sudut tertentu terhadap aksis pertumbuhan sel serat (MFA). Semakin besar sudut tersebut maka semakin besar daya mulur dari material tersebut [26].



Gambar 4.7 Hasil analisis SEM penampang melintang dari serat alam perlakuan NaOH 5%, (a) Sisal dan (b) Kelapa



Gambar 4.8 Hasil analisis FE-SEM patahan uji tarik serat sabut kelapa

Dari efek *coiling* akibat morfologi serat sabut kelapa ini, diharapkan dengan meningkatkan fase antarmuka dengan matrik polimer, maka mekanisme perambatan beban yang menyebabkan terjadinya perpatahan serat akibat beban kejut berlebih akan dapat diserap oleh serat untuk terjadinya efek *coiling* sebelum serat tersebut mengalami perpatahan yang mutlak. Hal ini akan dapat meningkatkan nilai ketangguhan komposit tanpa menurunkan kuat tarik maupun

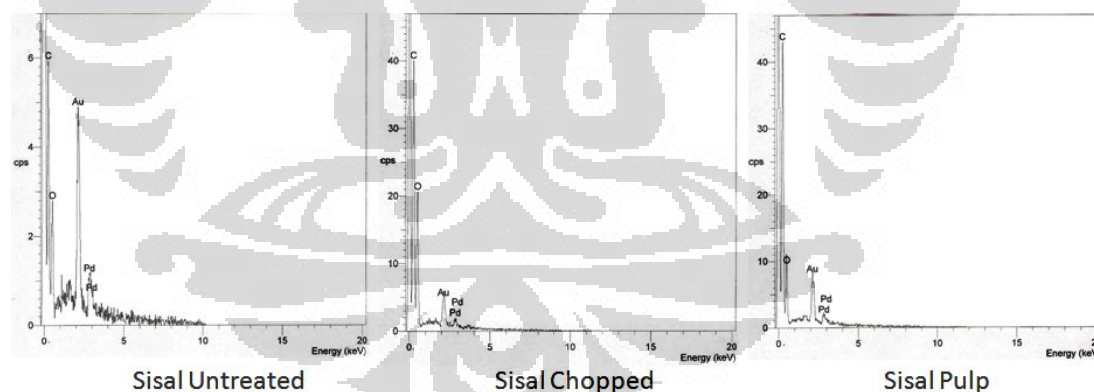
modulus dari komposit [33-34]. Nilai kuat tarik dari serat sisal dan serat kelapa dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Kuat tarik, modulus dan elongasi serat alam sisal dan kelapa

Sisal			Kelapa		
Strength	Modulus	Elongasi	Strength	Modulus	Elongasi
MPa	GPa	%	MPa	GPa	%
181.6±54.4	12.6±4.7	2.38±0.9	40.69±6.09	1.3±0.5	52.25±25

4.1.2 EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*)

Sebagai data tambahan karakterisasi dilakukan deteksi unsur pada serat alam yang dipergunakan dalam penelitian ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa elemen yang ada dalam material serat alam (serat sisal dan serat sabut kelapa) paling utama adalah unsur C dan O (Gambar 4.9, hasil EDS serat sabut kelapa tidak ditampilkan). Hasil ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Hashim *et al.* [59] namun unsur-unsur mikro penyusun tanaman seperti K, Si, Cl dan Ca tidak terdeteksi pada sampel penelitian ini.



Gambar 4.9 Hasil analisis EDS serat sisal dalam berbagai perlakuan

Tabel 4.2 Komposisi hasil analisis uji EDS serat alam

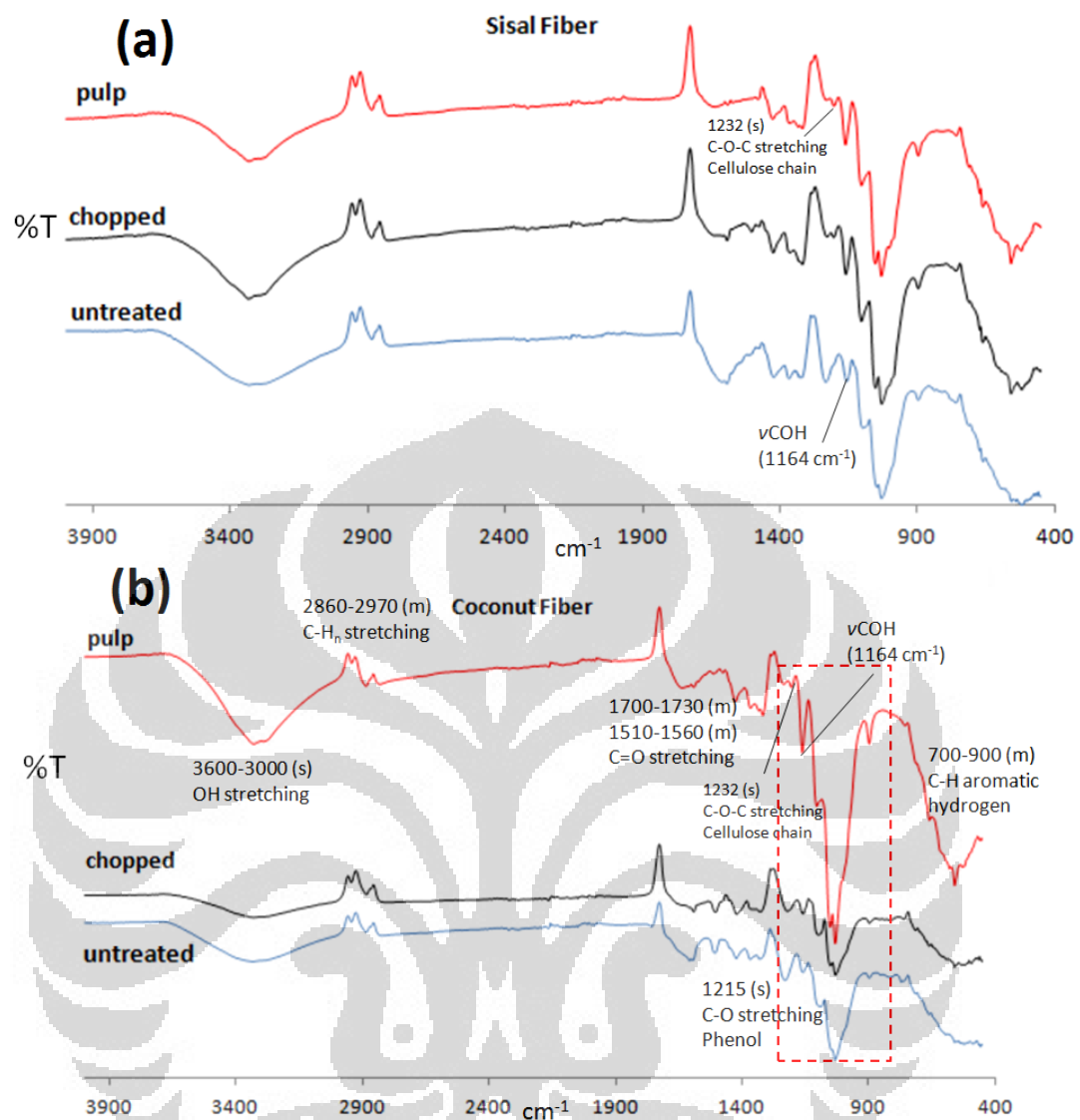
Element (%)	Sisal			Kelapa		
	Untreated	Chopped	Pulp	Untreated	Chopped	Pulp
C	1.96	7.04	9.47	1.06	8.38	nm
O	36.35	68.39	47.30	21.82	69.72	nm

nm : not measured

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat pengaruh perlakuan alkali dan proses *pulping* pada komposisi unsur serat alam. Persentase unsur C mengalami peningkatan dengan proses perlakuan kimiawi, hal ini menunjukkan bahwa persentase impuritas berkurang, dikarenakan larut dengan perlakuan alkali. Unsur O hadir dalam bentuk oksida dengan komponen kimia yang terdapat pada serat alam. Dengan perlakuan *pulping*, akibat temperatur dan tekanan menyebabkan terjadinya pelarutan senyawa oksida sehingga jumlahnya mengalami penurunan setelah proses *pulping*.

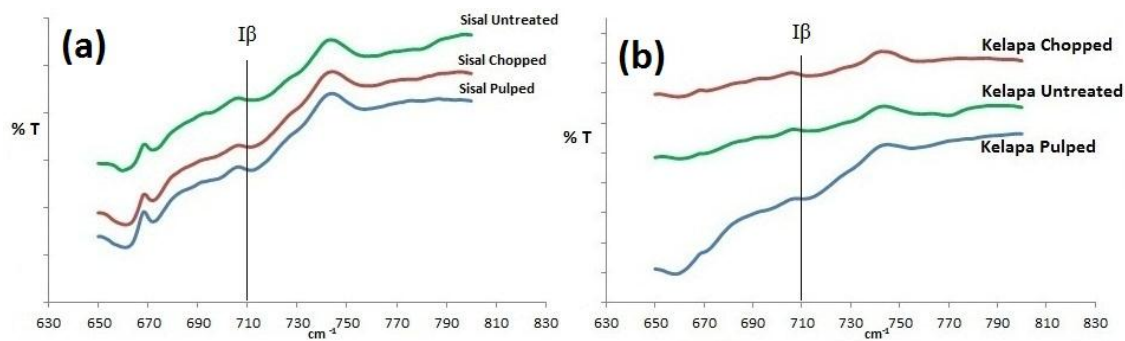
4.1.3 FTIR (*Fourier Transform Infra-red Spectroscopy*)

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan kimia alkali dan proses *pulping* pada komposisi kimia serat alam dilakukan analisa dengan mempergunakan FTIR. Serapan IR dari material serat alam teridentifikasi sebagai gabungan antara tiga komponen utama serat alam (saling menumpuk). Sehingga spesifikasi gugus fungsi dari serat alam akibat perlakuan kimia hanya ditekankan pada keberadaan gugus spesifik masing-masing konstituen. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.10, perlakuan kimia dengan alkali 5% dan proses *pulping* menunjukkan ter-eksposnya gugus -OH dari selulosa pada permukaan serat akibat peluruhan senyawa lignin dan hemiselulosa. Hal ini sangat nampak pada kurva FTIR serat sabut kelapa pulp, dimana serapan pada kisaran $1440-1400\text{ cm}^{-1}$ (OH-bending), 1108 cm^{-1} (C-OH) mengalami peningkatan intensitas, sangat jelas sekali muncul puncak pada 1164 cm^{-1} (νCOH) (Gambar 4.10b). Sedangkan serapan pada 1215 cm^{-1} (C-O stretching phenol) mengalami penurunan dengan perlakuan alkali dan pada perlakuan pulp. Hal ini menunjukkan jumlah lignin mengalami penurunan, demikian halnya yang terjadi pada serat sisal (Gambar 4.10a). Namun, serat sisal diketahui merupakan serat dengan kandungan selulosa yang tinggi, dapat dilihat bahwa penampakan IR setelah perlakuan kimia baik alkali dan proses *pulping* tidak memberikan perubahan secara signifikan pada serapan IR.



Gambar 4.10 Spektrum FTIR pada berbagai kondisi perlakuan, (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa

Dari serapan IR dapat ditentukan pula struktur alomorf dari kristal selulosa, diketahui bahwa terdapat puncak serapan pada panjang gelombang 710 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa struktur kristal selulosa pada serat sisal dan serat kelapa tidak mengalami perubahan akibat perlakuan kimia, yaitu I β (monoklinik) (Gambar 4.11a-b). Dimana struktur monoklinik merupakan struktur yang secara termodinamika lebih stabil jika dibandingkan struktur alomorf I α (triklinik). Kestabilan struktur kristal ini memberikan dampak positif karena perlakuan panas selama proses produksi tidak akan berpengaruh pada perubahan struktur kristal selulosa pada serat alam [60].

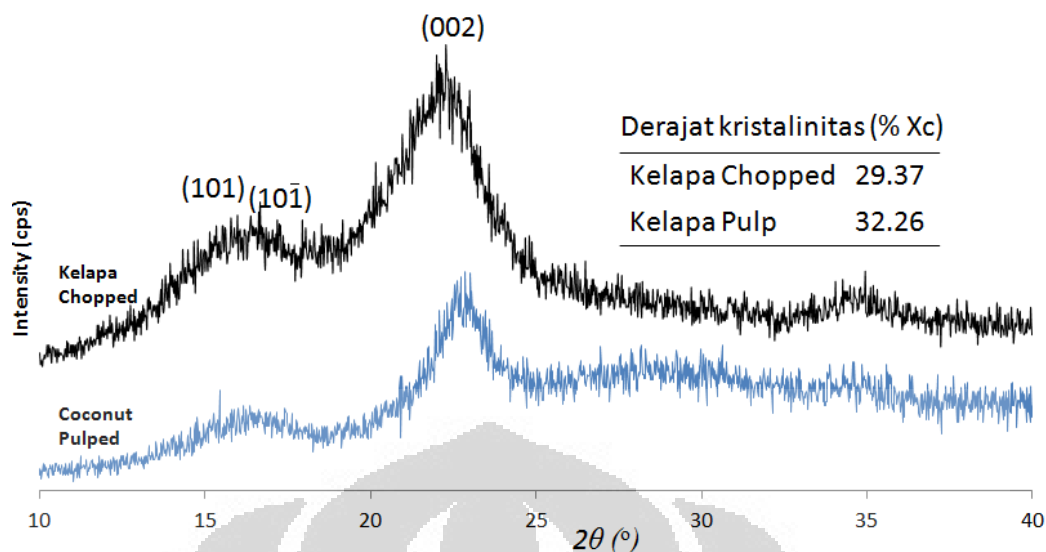


Gambar 4.11 Spektra IR alomorf selulosa akibat perlakuan kimia, (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa

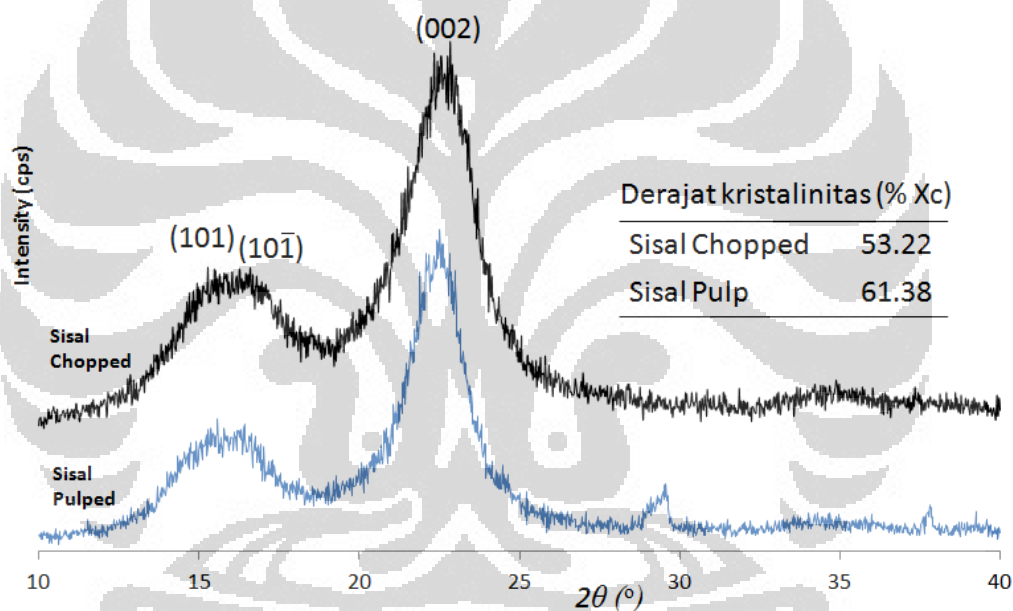
Penentuan alomorf selulosa juga dapat dilakukan dengan pendekatan *z-Discriminate* menggunakan persamaan yang dirumuskan oleh Wada *et al.* [61]. Dimana persamaan tersebut diturunkan dari jarak *d-spacing* pada bidang (101) dan (10-1). Lebih lanjut akan dibahas pada karakterisasi XRD.

4.1.4 XRD (X-ray Diffraction)

Analisis struktur kristal selulosa dipergunakan untuk mengetahui struktur mikro selulosa sebagai penguat dalam biokomposit serat alam. Menurut Jacob *et al.* [26] kekuatan serat alam ditentukan oleh jumlah kandungan selulosa, derajat polimerisasi selulosa dan derajat MFA. Sehingga selulosa sebagai faktor utama dalam menentukan kekuatan material berbasis lignoselulosa. Dari analisis ini akan diperoleh derajat kristalinitas selulosa dari serat alam serta ukuran kristal selulosa. Semakin tinggi derajat kristalinitas maka semakin tinggi nilai modulus serat alam tersebut, sehingga untuk meningkatkan kekuatan komposit, lebih diharapkan serat dengan derajat kristalinitas yang lebih tinggi. Dari analisis XRD dan terlihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, menunjukkan bahwa proses perlakuan *pulping* dapat meningkatkan derajat kristalinitas selulosa. Hal ini membuktikan bahwa proses pulping menyebabkan peluruhan komponen selain kristal selulosa yang cenderung bersifat amorf, sesuai dengan hasil analisis EDS (poin 4.1.2). Derajat kristalinitas serat sisal lebih tinggi jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi fasa kristalin maka kekuatan serat semakin meningkat (poin 4.1.1).



Gambar 4.12 Kurva analisis XRD serat kelapa *chopped* dan kelapa pulp



Gambar 4.13 Kurva analisis XRD serat sisal *chopped* dan sisal pulp

Dari analisis data XRD dapat pula di tentukan ukuran kristal dari selulosa, bidang (002) merupakan struktur kristal yang paling dominan dalam menentukan sifat-sifat selulosa, hal ini disebabkan intensitasnya paling tinggi. Pengaruh proses *pulping* pada ukuran kristal terlihat pada Tabel 4.3. Senyawa alkali mampu menyebabkan proses *swelling* pada struktur kristal selulosa, proses ini dapat terjadi pada saat serat mengalami proses *pulping* dimana konsentrasi alkali mencapai 18%. Setelah mengalami *swelling* molekul-molekul selulosa kembali menata diri membentuk ukuran kristal yang lebih besar [62]. Gumuskaya *et al.*

[63] melaporkan dalam studinya bahwa proses *pulping* dengan mempergunakan metode *organosolv* (penambahan ethanol) dapat meningkatkan derajat kristalinitas selulosa dan ukuran kristal-nya. Studi dari Poletto *et al.* [64] menunjukkan bahwa peningkatan ukuran kristal akibat proses *pulping* dapat meningkatkan stabilitas panas dari serat pulp.

Table 4.3 Ukuran kristal selulosa

Kode	t (101) (nm)	t (10-1) (nm)	t (002) (nm)
SC	3.23	2.71	3.44
SP	3.31	3.93	4.25
CC	-	8.01	3.26
CP	-	5.14	4.84

Dengan mempergunakan persamaan yang dirumuskan oleh Wada *et al.* [61] dapat ditentukan alomorf dari selulosa serat alam yang dipergunakan pada penelitian ini dengan analisis XRD. Wada *et al.* [61] mempergunakan pendekatan *z-Discriminate* dengan menggunakan *d-spacing* pada bidang (101) dan (10-1) melalui persamaan berikut:

$$z = 1693 d(101) - 902 d(10-1) - 549 \quad (5.1)$$

dimana $z < 0$ mengindikasikan alomorf I β dan $z > 0$ mengindikasikan alomorf selulosa I α . Pada Tabel 4.4 disajikan hasil perhitungan terhadap persamaan 5.1, sehingga hasil ini menguatkan hasil uji FTIR (poin 4.1.3) yang menunjukkan bahwa alomorf selulosa dari ke-empat jenis bahan baku komposit adalah I β (monoklinik)

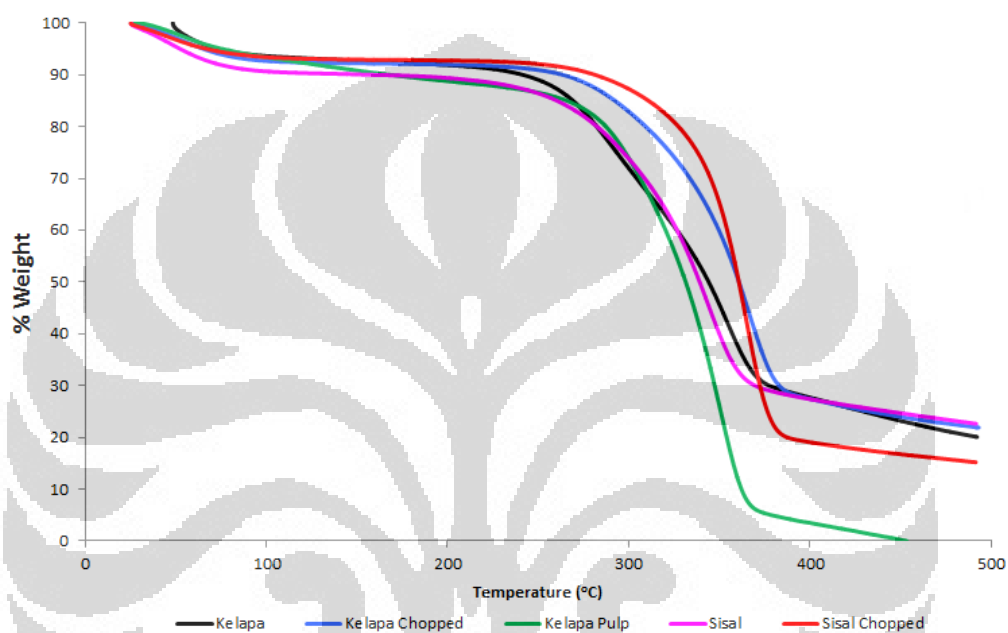
Table 4.4 Alomorf serat alam

Kode	d (101) (nm)	d (10-1) (nm)	z	Alomorf
SC	0.57038	0.54530	-75.2102	I β
SP	0.57763	0.54530	-62.7142	I β
CC	0.57627	0.53422	-55.2405	I β
CP	0.56319	0.53550	-78.5507	I β

4.1.5 Stabilitas Panas (*Thermal Stability*)

Tantangan dalam pemanfaatan serat alam dalam polimer komposit adalah stabilitas panasnya yang rendah, dimana proses manufaktur polimer umumnya

sangat terkait dengan perlakuan panas seperti ekstruksi, *thermoforming*, dan *injection moulding*. Sehingga stabilitas panas serat alam menjadi prasyarat mutlak untuk aplikasi dari serat alam dalam polimer komposit. Hal ini pula yang menjadi pembatasan jenis-jenis polimer yang dapat dipergunakan sebagai matrik dalam polimer berbasis serat alam. Polimer dengan titik leleh dibawah 200°C merupakan polimer yang dapat diaplikasikan sebagai matrik dalam biokomposit ini.



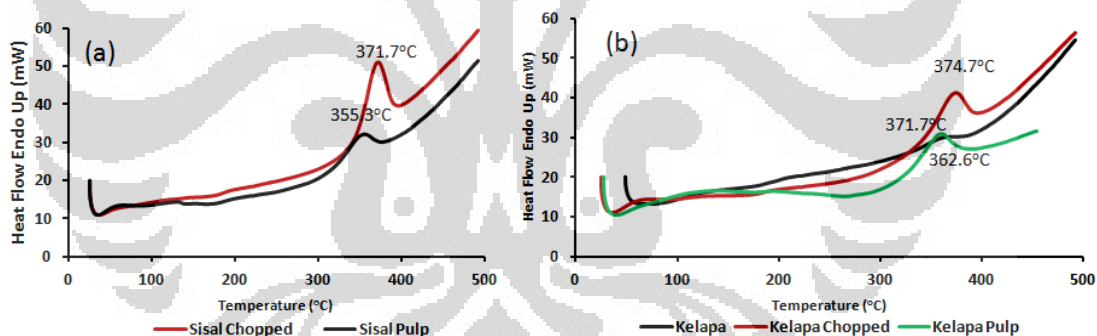
Gambar 4.14 Kurva analisis TGA serat alam

Pada Gambar 4.14 dapat terlihat bahwa proses perlakuan alkali 5% dapat meningkatkan stabilitas panas dari serat alam. Hal ini disebabkan berkurangnya komponen senyawa impuritas yang mudah terdegradasi karena pengaruh temperatur, seperti hemiselulosa dan lignin [10]. Shebani *et al.* [65] mengkonfirmasi bahwa hemiselulosa dapat mulai terdegradasi pada suhu 180-350°C, sedangkan lignin pada suhu 250-500°C. Selulosa merupakan komponen yang paling stabil dengan suhu degradasi pada 275-350°C.

Lebih lanjut dari Gambar 4.14 diketahui bahwa serat sisal memiliki stabilitas panas yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa, hal ini disebabkan oleh kandungan selulosa yang tinggi dari serat sisal dan kandungan lignin yang tinggi pada serat sabut kelapa. Disamping itu, perlakuan alkali pada setiap jenis serat alam memberikan peningkatan stabilitas terhadap panas. Suhu

degradasi dari setiap perlakuan dapat dilihat pada kurva pada Gambar 4.15(a-b). Pada serat sisal, dengan perlakuan alkali puncak temperatur dekomposisi dapat ditingkatkan dari 355.3°C menjadi 371.7°C. Sedangkan, pada serat sabut kelapa puncak dekomposisi serat dapat ditingkatkan dari 371.67° C menjadi 374.77°C. Puncak dekomposisi yang lebih tinggi dari serat sabut kelapa jika dibandingkan dengan serat sisal, disebabkan kandungan lignin pada sabut kelapa. Menurut Shebani *et al.* [65] lignin mempunyai laju degradasi yang rendah pada suhu tinggi, namun memiliki *onset temperature* degradasi yang lebih rendah daripada selulosa.

Proses *pulping* pada serat kelapa yang mampu meningkatkan ukuran kristal selulosa, bidang (002), namun puncak dekomposisi degradasinya mengalami penurunan (362.58°C). Hal ini disebabkan oleh proses perlakuan *pulping*, kandungan lignin yang tinggi dalam serat kelapa terekspos (migrasi) ke permukaan serat sehingga menjadi inisiasi penurunan stabilitas panas. Pengaruh ini sangat nampak pada specimen komposit yang terbuat dari serat kelapa pulp (CPHo), dimana warna komposit menjadi berwarna coklat kehitaman.



Gambar 4.15 Kurva *heat flow* analisis TGA berbagai serat alam dengan beberapa perlakuan, (a) Serat sisal dan (b) Serat sabut kelapa

Dari karakterisasi yang dilakukan terhadap dua jenis serat alam dengan dua perlakuan serat diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa serat sisal memiliki sifat propertis (kuat tarik, morfologi, struktur kristal dan stabilitas panas) yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Untuk selanjutnya, akan dilakukan karakterisasi terhadap komposit yang sudah dibuat dari dua jenis bahan baku serat alam dengan matrik PP sehingga diperoleh pengaruh jenis serat alam, morfologi terhadap sifat mekanis komposit.

4.2 Karakterisasi Biokomposit

Pada topik sub bahasan ini, dari komposit yang dihasilkan, akan dipelajari pengaruh jenis serat alam, morfologi bentuk serat, jenis polimer, penambahan EPDM serta perlakuan panas terhadap komposit terhadap kekuatan, nilai impak, stabilitas panas dan sifat termalnya.



Gambar 4.16 Penampakan specimen uji, hasil proses dengan mesin *injection moulding* (SCHO)

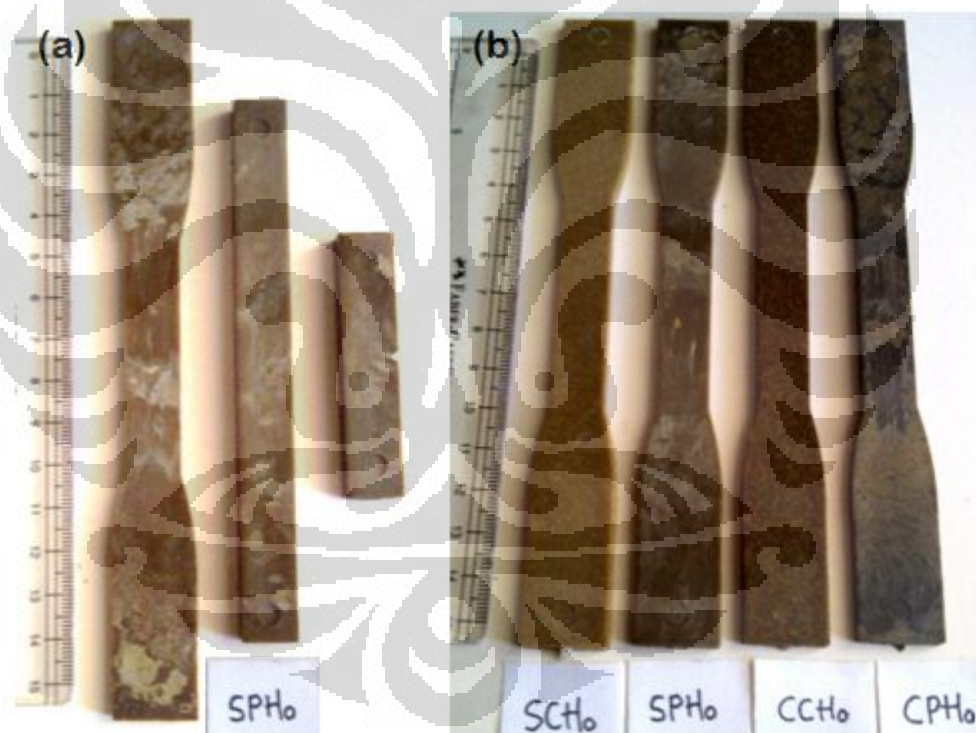
Dengan mempergunakan mesin *injection moulding* dihasilkan spesimen uji tarik, uji tekuk dan uji impak, seperti yang terlihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17(a). Perbandingan morfologi dan penampakan warna spesimen berdasarkan jenis serat alam dapat dilihat pada Gambar 4.17(b). Spesimen yang terbuat dari bahan baku pulp memiliki warna yang lebih gelap serta terdapat *flowmark* yang berwarna putih jika dibandingkan dengan komposit yang dibuat dari bahan baku serat *chopped*. Hal ini terutama terjadi pada serat kelapa pulp (CPHo). Permasalahan ini akan dibahas pada analisis pada sub bab FE-SEM.

4.2.1 Densitas Komposit

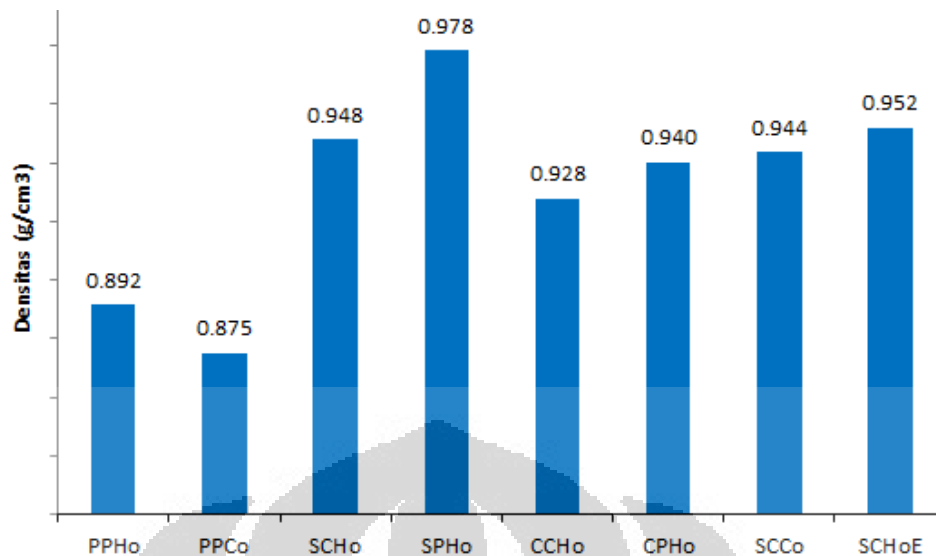
Densitas dari komposit yang dihasilkan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4.18. Secara garis besar penambahan serat alam pada matrik polimer dapat meningkatkan densitas. Hal ini terjadi karena densitas serat alam lebih besar dari densitas PP murni, densitas serat alam berada pada kisaran $\pm 1.5 \text{ g/cm}^3$. Komposit yang dihasilkan dengan serat alam akan memiliki densitas yang lebih

rendah jika dibandingkan dengan komposit PP dengan serat gelas, dimana densitas serat gelas berkisar pada $\pm 2.5 \text{ g/cm}^3$. Sehingga hal ini akan berpengaruh pada spesifik propertis komposit yang sangat diperlukan dalam suatu desain komponen material.

Perubahan morfologi serat menjadi bentuk pulp meningkatkan densitas komposit (Gambar 4.18), hal ini disebabkan oleh dispersi serat alam yang homogen serta tidak terbentuknya pori seperti halnya keberadaan lumen pada komposit PP-serat dalam bentuk *chopped*. Dari penelitian ini, diperoleh sebuah desain material dimana diperoleh komposit dengan densitas yang rendah dengan memanfaatkan morfologi *filler*/penguat yang berbentuk berpori dengan berupaya meningkatkan propertis-nya (pembahasan subbab 4.2.2 dan 4.2.3).



Gambar 4.17 (a) Spesimen uji SPH₀ (uji tarik, uji tekuk dan uji impak); (b) Perbandingan penampakan hasil proses *injection moulding* komposit dari beberapa jenis serat



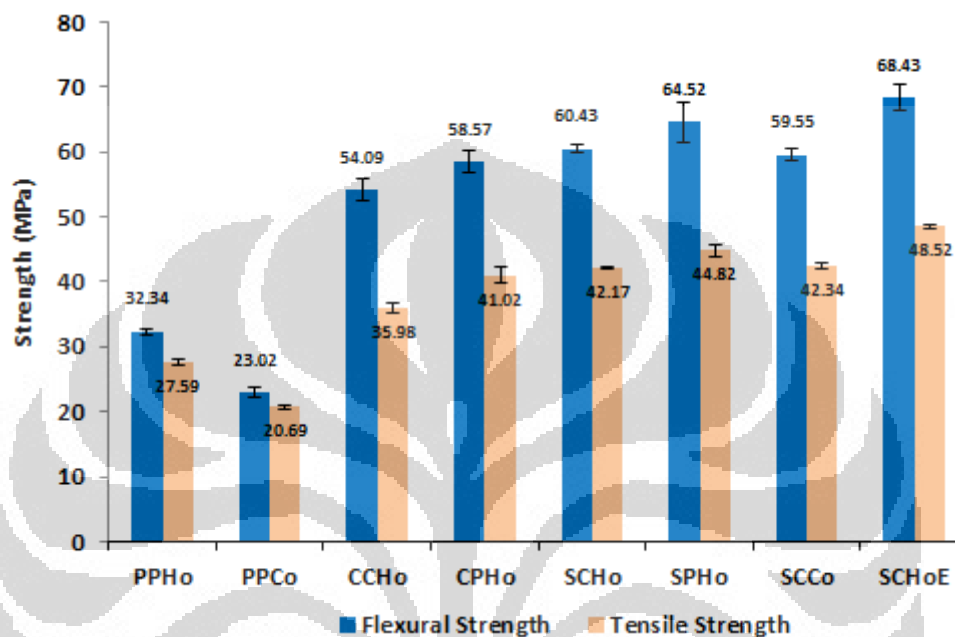
Gambar 4.18 Densitas komposit serat alam

4.2.2 Kuat Tekuk dan Tarik (*Flexural dan Tensile Strength*) Komposit

Hasil uji kuat tarik dan tekuk komposit disajikan pada Gambar 4.19. Polimer homopolimer dengan nilai MFI = 11.98 g/10 min memiliki nilai kuat tarik dan tekuk yang lebih baik daripada PP kopolimer dengan MFI = 29.08 g/10 min. Dengan menambahkan serat alam sebanyak 40% berat ke dalam matrik polimer dapat dibuktikan mampu meningkatkan nilai kuat tarik dan tekuk komposit. Hasil ini menunjukkan bahwa serat alam berfungsi sebagai penguat bukan hanya sebagai pengisi (*filler*). PP-g-MA merupakan *coupling agents* yang baik untuk membentuk fasa antarmuka antara PP dengan serat alam. Sehingga dapat memperbaiki *stress transfer* pada saat material memperoleh beban mekanis.

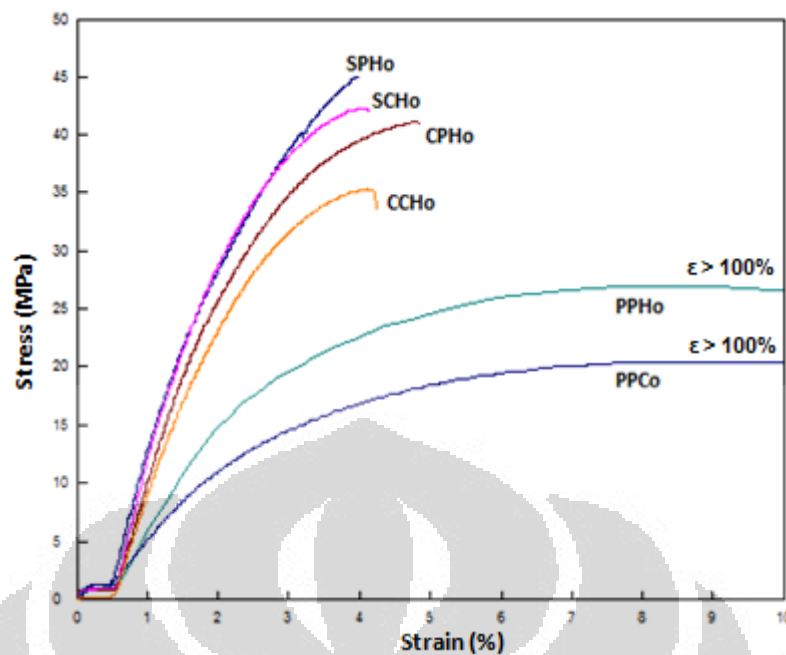
Dari hasil uji ini dapat ditunjukkan bahwa pengaruh jenis serat alam sisal terhadap sifat mekanis komposit lebih baik jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Sedangkan, pengaruh jenis morfologi serat menunjukkan bahwa serat berbentuk pulp memberikan nilai kuat tarik dan tekuk yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat berbentuk *chopped*. Pembentukan antarmuka yang baik dan dispersi serat yang homogen serta *aspect ratio* yang bagus menghasilkan peningkatan sifat mekanis polimer komposit dari serat berbentuk pulp. Disamping itu, dengan jenis matrik PP kopolimer (MFI 29.08 g/10min), penambahan serat alam tidak dapat meningkatkan nilai kuat komposit setara dengan jenis polimer homopolimer (MFI 11.98 g/10 min) pada kasus komposit dari serat sisal *chopped*.

Hasil yang sama diperoleh dari penelitian Yuan *et al.* [66] pada komposit serbuk kayu dengan matrik PE dan PP dengan memvariasikan viskositas polimer. Polimer dengan viskositas yang rendah (MFI rendah) memberikan nilai kuat tekuk dan impak yang lebih bagus daripada dengan viskositas yang tinggi (MFI tinggi).



Gambar 4.19 Nilai kuat tarik dan kuat tekuk komposit PP serat alam, komposisi 40% serat, 5% PP-g-MA dan 2.5% EPDM (SCHOE)

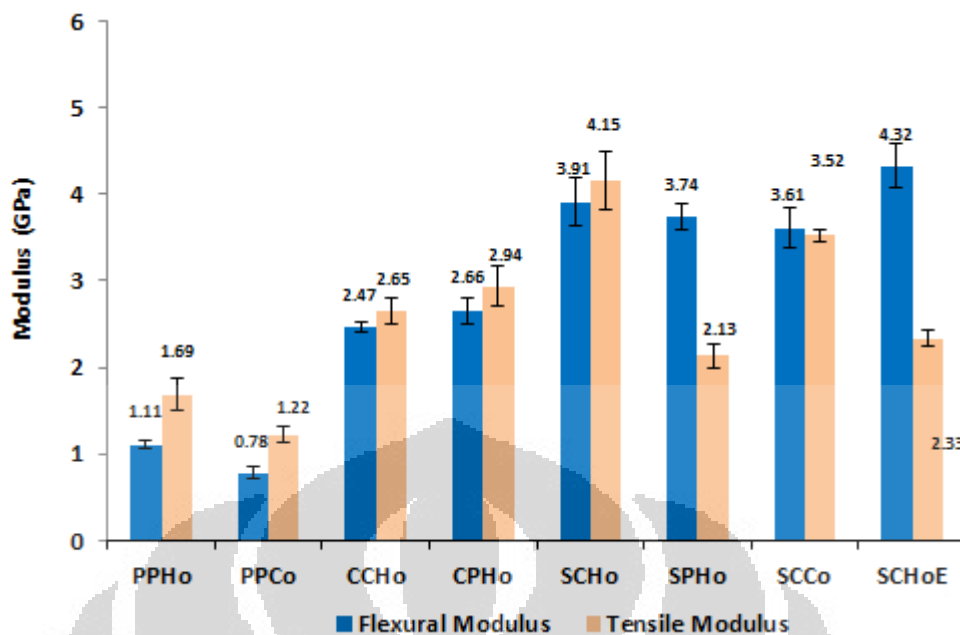
Lebih lanjut dari Gambar 4.19, diperoleh hasil bahwa penambahan EPDM sebanyak 2.5% berat dapat meningkatkan sifat kuat tarik dan tekuk jika dibandingkan dengan komposit SPHo. Hal ini menunjukkan penambahan EPDM mampu meningkatkan dispersi serat *chopped* dalam matrik polimer menjadi lebih baik. Proses manufacturing (*mixing* dan *injection moulding*) komposit berbahan baku pulp cukup mengalami kendala. Kondisi serat yang *bulky* (densitas rendah) menyebabkan pemrosesan menjadi lebih lama. Hal ini sangat berisiko jika terjadi mekanisme degradasi material akibat panas. Oleh karena itu untuk studi lanjut pada penelitian ini dipergunakan komposit berbasis sisal *chopped* (SCHO). Contoh kurva tegangan-regangan dari komposit dengan berbagai jenis serat disajikan pada Gambar 4.20. Komposit dengan serat alam berbentuk pulp menunjukkan sifat material dengan kekuatan yang semakin meningkat jika dibandingkan bentuk *chopped*.



Gambar 4.20 Kurva tegangan-regangan komposit dengan berbagai jenis serat pada komposisi 40% serat dan 5% PP-g-MA

4.2.3 *Tensile Modulus dan Flexural Modulus Komposit*

Nilai modulus atau kekakuan dari komposit yang dihasilkan disajikan pada Gambar 4.21. Nilai kekakuan suatu komposit sangat dipengaruhi oleh nilai modulus dari penguat, dispersi penguat dalam matrik polimer serta derajat kristalinitas polimernya. Penambahan serat alam dapat meningkatkan nilai modulus jika dibandingkan dengan polimer murni. Nampak pula bahwa serat sisal memberikan modulus yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Namun, serat sisal dalam bentuk pulp pada pengujian penelitian ini memberikan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bentuk pulp pada serat sabut kelapa. Penyebab secara pasti dari rendahnya nilai modulus ini belum diketahui secara pasti, namun jika di lihat dari data modulus pengaruh perlakuan panas pada komposit SPHo (Gambar 4.23), diketahui bahwa nilai modulus tarik setelah pemanasan lebih besar dari 3 GPa, hal ini menunjukkan kisaran modulus komposit SPHo yang seharusnya.



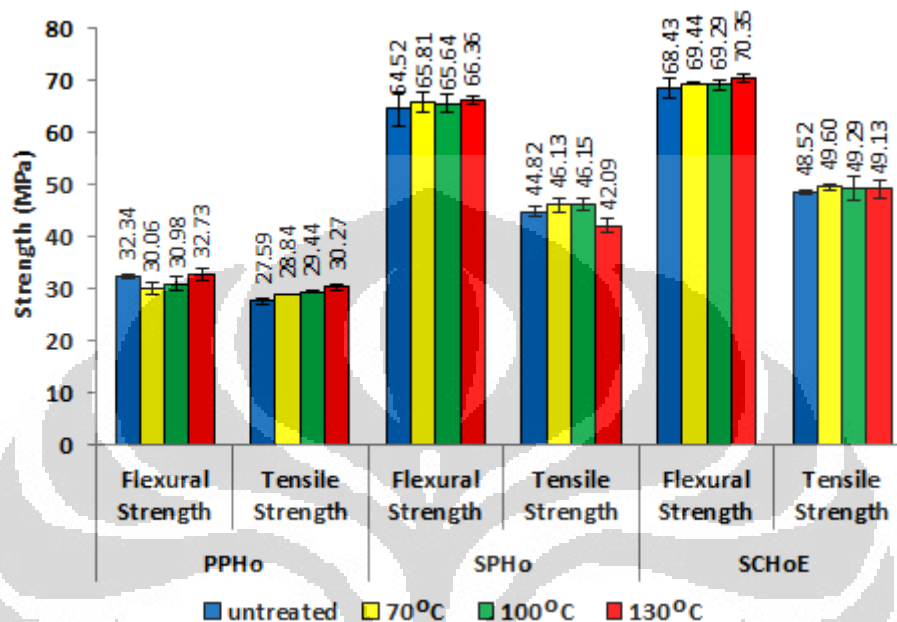
Gambar 4.21 Nilai flexural modulus dan tensile modulus komposit PP serat alam, komposisi 40% serat, 5% PP-g-MA dan 2.5% EPDM (SCHOE)

Sedangkan pada komposit SCHOE, penurunan nilai *tensile modulus* lebih disebabkan oleh penambahan impact modifier (EPDM). Sesuai dengan pertimbangan awal, bahwa penambahan EPDM haruslah memperhatikan penurunan nilai modulus. Nilai *flexural modulus* komposit SCHOE tidak dipengaruhi oleh penambahan EPDM. Hal ini menunjukkan bahwa dispersi serat sisal lebih merata dengan penambahan EPDM dan PP-g-MA [44].

4.2.4 Pengaruh Perlakuan Panas pada Komposit

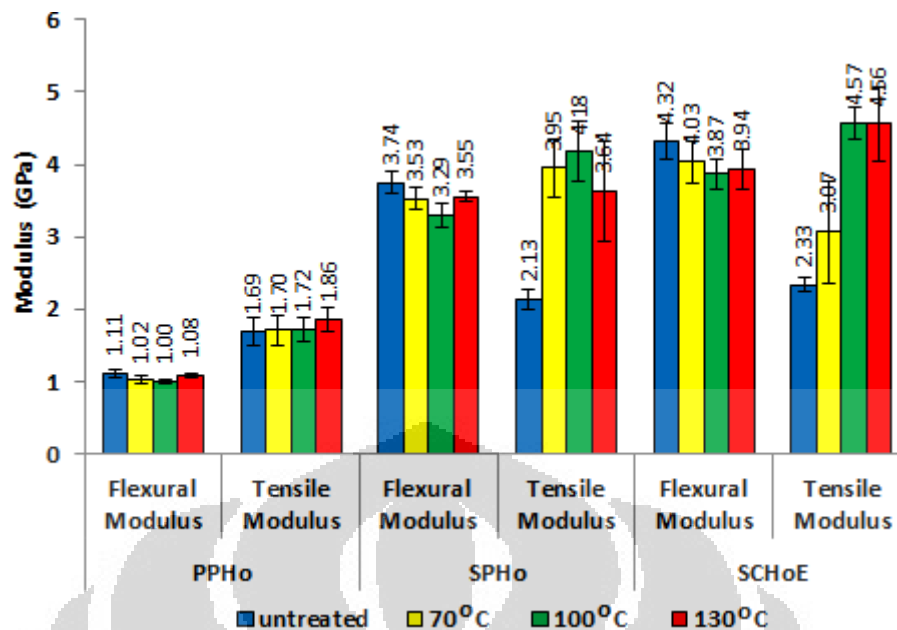
Pengaruh perlakuan panas pada komposit disajikan pada Gambar 4.22, Perlakuan panas pada polimer murni dapat meningkatkan nilai kuat tarik dan kuat tekuknya. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan panas dapat menurunkan tegangan sisa yang terdapat dalam material sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanisnya. Meskipun tidak signifikan, pengaruh perlakuan panas pada kuat tarik dan kuat tekuk juga nampak pada komposit SPHo dan SCHOE. Pengaruh perlakuan panas pada komposit berpenguat serat diketahui dapat meningkatkan nilai *interfacial shear stress* (IFSS) melalui mekanisme difusi akibat *mobilitas*/pergerakan polimer pada daerah transkristalisasi dengan *spherulite* maupun antar *spherulite* dalam matrik polimer [67]. Proses difusi

molekul polimer ini merupakan upaya menurunkan tegangan sisa yang terbentuk dari fase transkristalisasi yang memiliki nilai *strength* dan *modulus* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan fase kristal matrik (*spherulite*) [68].



Gambar 4.22 Pengaruh perlakuan panas pada kuat tarik dan tekuk komposit serat alam

Sedangkan pengaruh perlakuan panas pada nilai modulus komposit SPHo dan SChOE disajikan pada Gambar 4.23. Pengaruh perlakuan panas signifikan terjadi pada nilai *tensile modulus* jika dibandingkan pada nilai *flexural modulus*. Meningkatnya temperatur perlakuan pada uji tarik dapat meningkatkan nilai modulus dari komposit. Sedangkan pada uji *flexural* memberikan pengaruh yang berlawanan. Hal ini kemungkinan disebabkan laju pembebanan sejajar serat pada uji tarik lebih dominan jika dibandingkan laju pembebanan tegak lurus pada pengujian tekuk, jika diasumsikan serat mengalami orientasi selama proses *injection moulding* (Gambar 4.26). Peningkatan temperatur diharapkan mampu memberikan energi yang cukup untuk terjadinya pergerakan difusi polimer pada permukaan serat dan sekitarnya ataupun pada *spherulite* dalam matrik polimer. Diketahui bahwa sifat mekanis polimer semikristalin sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: berat molekul, morfologi kristal yang terbentuk, tebal *lamella* kristal, kerapatan molekul, derajat kristalinitas serta ukuran kristal [67].



Gambar 4.23 Pengaruh perlakuan panas pada flexural modulus dan tensile modulus komposit serat alam

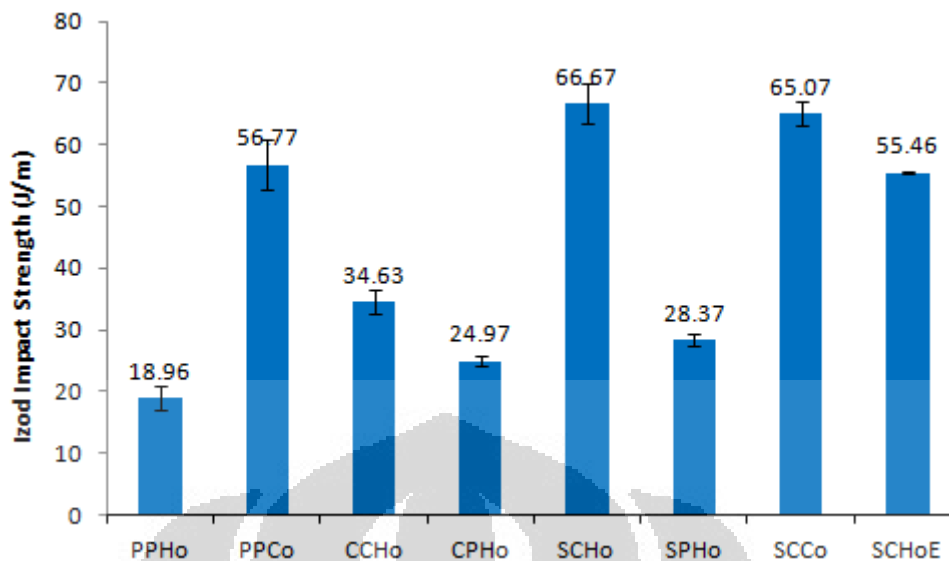
Kompleksitas pengaruh perlakuan panas pada komposit berpenguat serat dapat terjadi karena terbentuknya fase transkristalin pada permukaan serat (tergantung pula pada derajat kemampuan menginduksi terbentuknya kristal) dengan fase kristal pada matrik polimer. Dari penelitian Moon *et al.* [69] diketahui bahwa fase transkristalin hanya dapat meningkatkan sifat mekanis komposit jika tidak terbentuk fase kristal *spherulite* pada fase matrik polimer. Jika diasumsikan masih terbentuk fase kristal *spherulite*, ukuran dari fase ini juga sangat menentukan sifat mekanis komposit. Diketahui bahwa semakin kecil ukuran *spherulite* akan semakin meningkatkan sifat mekanis polimer [70]. Dengan semakin kecil ukuran *spherulite* dapat memberikan kesempatan pada rantai polimer PP tunggal untuk saling terkoneksi antar *spherulite*, sehingga terbentuk *crosslink* dan dapat meningkatkan sifat kuat tarik dan kekakuannya [70]. Pemberian panas dapat memberikan energi pada polimer untuk bergerak bebas menata diri sehingga diperoleh fase stabil. Dari penelitian ini, tidak dapat dibuktikan terbentuknya fase transkristalin, keberadaan fase kristal dan ukuran dari *spherulite*, akibat keterbatasan alat karakterisasi. Sehingga mekanisme pengaruh perlakuan panas hanya diketahui dengan perubahan sifat mekanis komposit. Lebih lanjut, dengan analisis DSC (subbab analisis DSC) dapat

diketahui perubahan sifat termal akibat perlakuan panas terhadap komposit SCHoE.

4.2.5 Nilai Impak Komposit

Dari dua jenis polimer yang dipergunakan, jenis kopolimer murni memberikan nilai impak yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis polimer homopolimer. Pada Gambar 4.24 diketahui bahwa penambahan serat alam dapat meningkatkan nilai ketangguhan. Peningkatan nilai impak tertinggi mencapai 251.61% diperoleh dari komposit PP homopolimer dengan serat alam sisal berbentuk *chopped* (SCHo). Pada nilai impak ini, disimpulkan bahwa bentuk serat *chopped* mampu menyerap energi beban kejut yang lebih tinggi jika dibandingkan serat pulp. Hasil ini juga ditunjukkan oleh peningkatan kuat impak komposit CCHo yang lebih baik daripada CPHo, bahkan lebih baik daripada komposit SPHo.

Dari hasil uji tarik, uji tekuk dan impak, serat sisal lebih dominan dalam sistem penguatan material jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Mekanisme penyerapan energi impak melalui proses *coiling* tidak terjadi pada komposit serat sabut kelapa. Hal ini membuktikan bahwa penyerapan energi dari matrik kepada penguat melalui antarmuka yang baik tidak dipergunakan untuk terjadinya perpatahan serat yang berakibat pada proses *coiling*, namun lebih kearah pencabutan serat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekasaran permukaan serat sisal dan morfologi ujung serat sisal *chopped* mampu meningkatkan mekanisme absorpsi energi pada saat uji impak. Hipotesa yang dikemukakan oleh Nourbakhsh *et al.* [54], Bakri dan Eichhorn [58] yang menyatakan energi impak komposit dapat ditingkatkan dengan pemanfaatan serat dengan elongasi tinggi tidak terjawab dari hasil penelitian ini. Modulus dan kuat tarik yang tinggi dari serat penguat lebih dominan mampu meningkatkan daya serap energi beban impak. Seperti yang disajikan pada Tabel 2.7, diketahui bahwa serat gelas mempunyai elongasi yang rendah ($< 3\%$) namun memiliki modulus dan kuat tarik yang tinggi masing-masing 80 GPa dan 4.5 GPa. Sampai dengan saat ini nilai impak serat alam belum mampu menyaingi nilai impak dari komposit PP dengan penguat serat gelas [71].

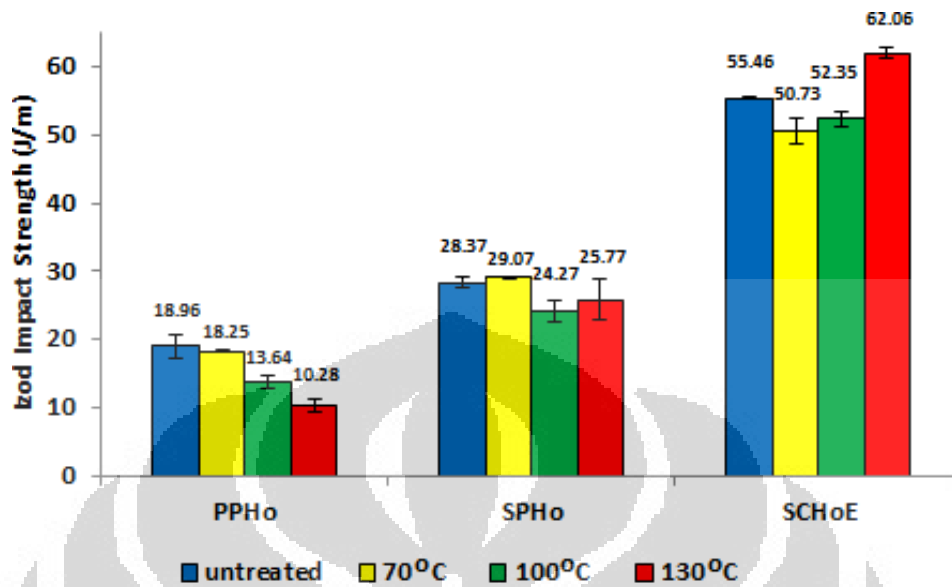


Gambar 4.24 Nilai impak komposit serat alam

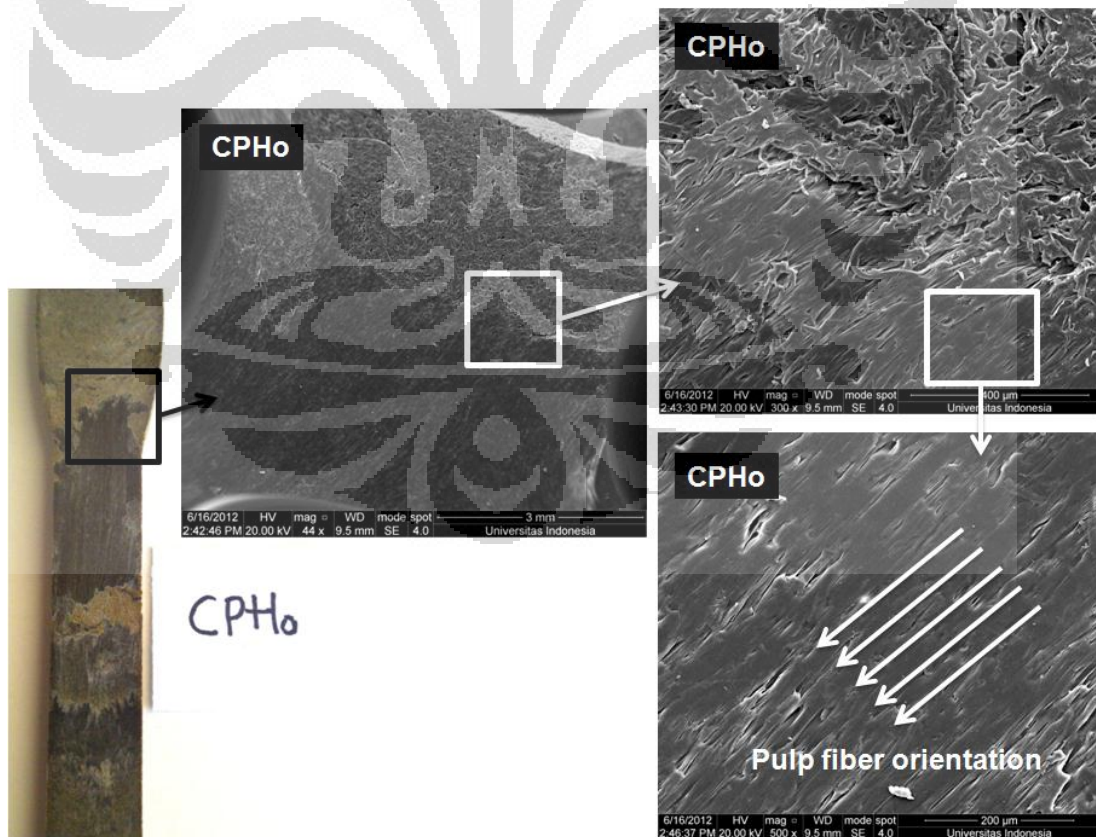
Komposit serat alam dengan matrik dengan nilai impak yang tinggi (kopolimer) memberikan peningkatan impak jika dibandingkan dengan polimer murni, sebanyak 14.63%, namun masih dibawah komposit SCHO. Demikian halnya dengan pengaruh penambahan EPDM, sifat duktilitas matrik tidak lebih baik dalam perbaikan nilai impak jika dibandingkan dengan komposit SCHO. Hal ini membuktikan bahwa untuk memperoleh ketangguhan yang baik diperlukan komposisi yang tepat untuk dapat terjadinya penyerapan energi yang optimal. Dari penelitian ini, matrik yang ulet dengan impak dan penambahan bahan elastomer tidak lebih baik memberikan nilai impak komposit daripada komposit dengan MFI 11.98 g/10 min dengan 5% PP-g-MA pada variasi serat *chopped* (*bundle of fibers*).

Pengaruh perlakuan panas pada polimer homopolimer menyebabkan penurunan terhadap nilai impaknya (Gambar 4.25), dengan perlakuan panas polimer berubah menjadi bersifat getas, hal ini sesuai dengan data peningkatan nilai kuat tarik. Demikian halnya pada komposit SPHo. Peningkatan nilai kuat impak terjadi pada komposit SCHOE setelah dilakukan pemanasan pada 130°C selama 20 jam. Tidak terbentuknya trend yang jelas pada perlakuan panas pada nilai impak sangat terkait dengan kompleksitas kristalisasi polimer dengan hadirnya serat sebagai penguat dalam polimer (poin 4.2.4). Untuk mengetahui lebih lanjut tentang mekanisme penguatan nilai impak pada komposit serat alam akan dilakukan pembahasan dengan karakterisasi analisis patahan dan uji XRD.

Pengaruh perlakuan panas juga dianalisis dengan menggunakan FTIR. Sedangkan sifat termal komposit akibat perlakuan panas dianalisis dengan DSC.



Gambar 4.25 Pengaruh perlakuan panas pada nilai impak komposit serat alam

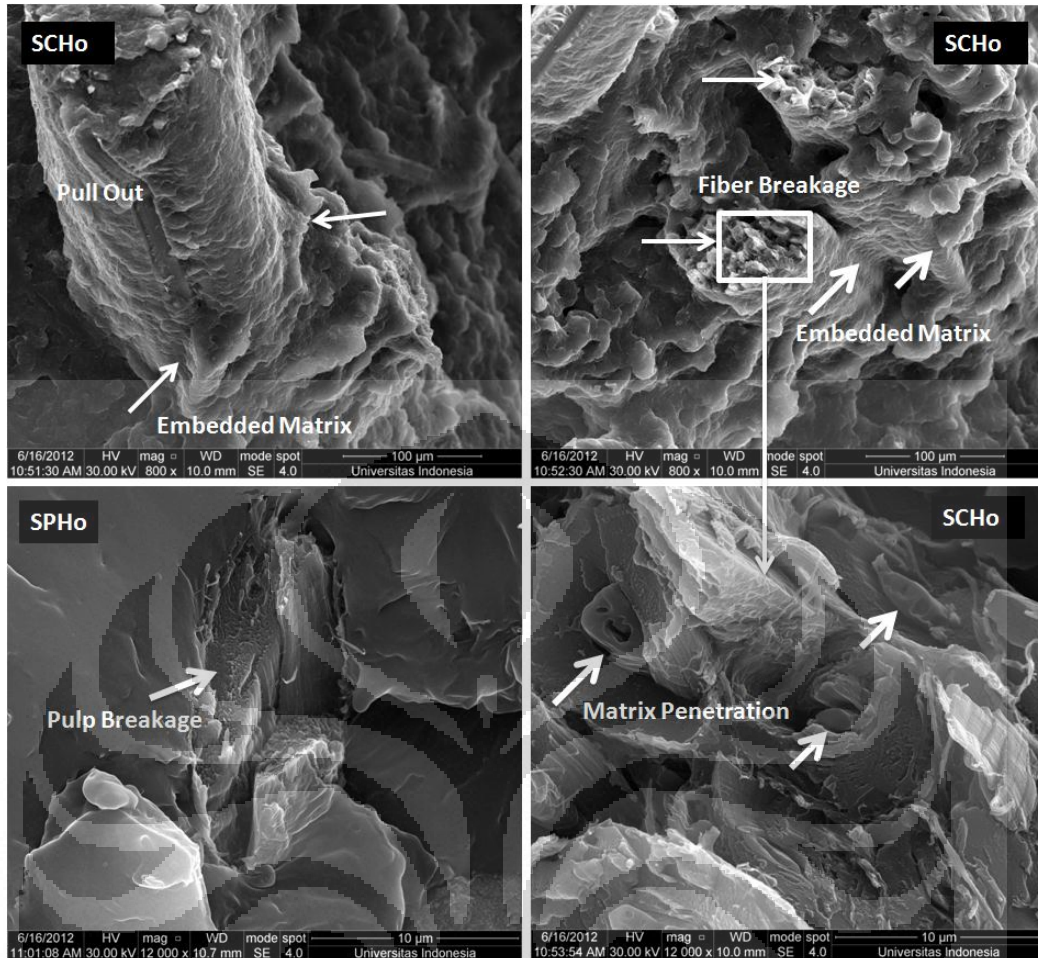


Gambar 4.26 Analisis FE-SEM permukaan komposit serat (CPHo)

4.2.6 Analisis FE-SEM

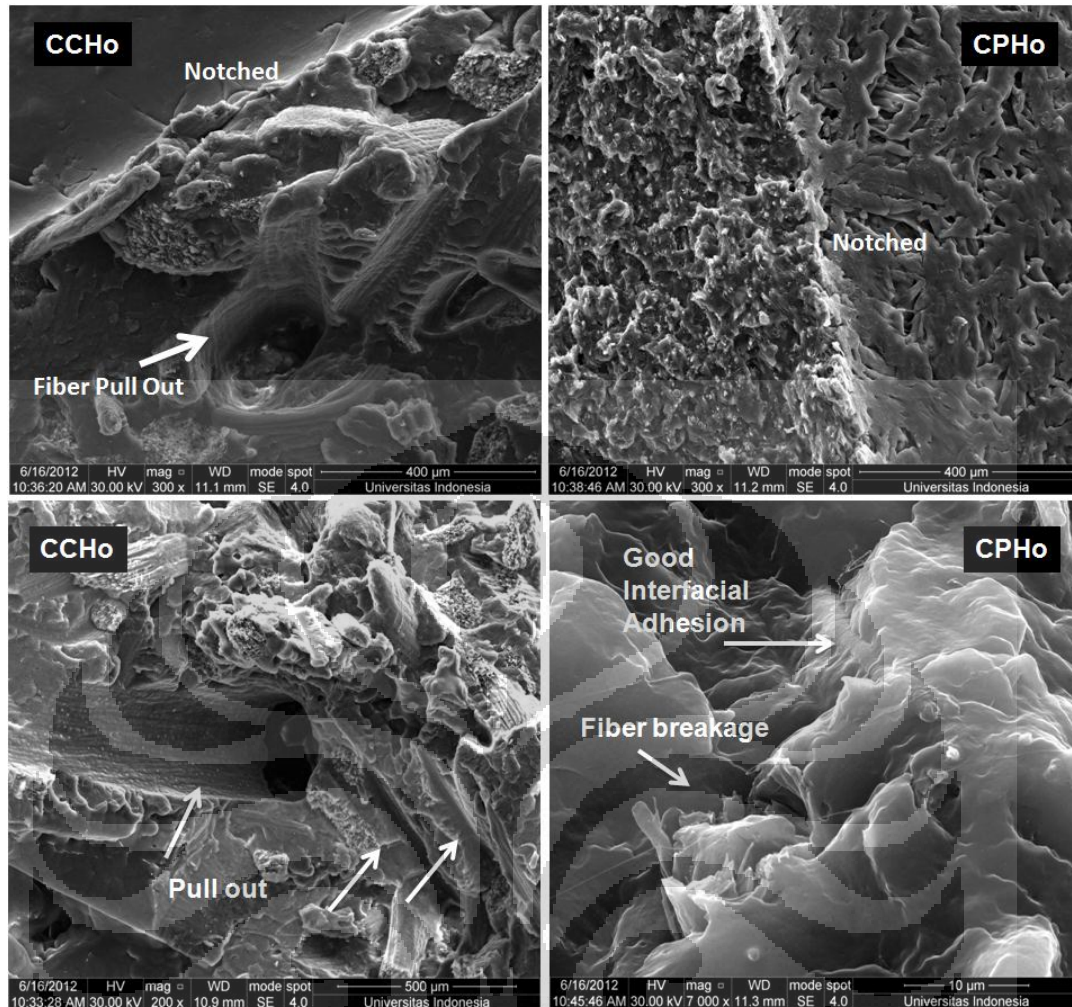
Perubahan morfologi serat alam menjadi bentuk *single of fibers* pada komposisi 40% serat yang ditambahkan, sangat mempengaruhi sifat daya alir (*rheology*) dari campuran polimer serat alam. Pada komposit serat alam SPHo dan CPHo seperti yang terlihat pada Gambar 4.17, terdapat penampakan yang tidak bagus, terdapat bercak-bercak (*flowmark*). Dengan mempergunakan FE-SEM dapat dilihat pada Gambar 4.26, bahwa *flowmark* terbentuk karena proses *shear* yang sangat tinggi dan aliran material yang rendah serta proses pendinginan pada *mould*. Sehingga aliran material ini membentuk pola turbulensi (membentuk bercak pada permukaan). Pada bagian dimana tidak terdapat bercak, nampak bahwa terbentuk orientasi serat-serat pulp sesuai dengan aliran material dari cavity. Orientasi serat pulp ini dapat mempengaruhi kekuatan mekanis dari komponen yang dibuat dengan mesin *injection moulding*. Menurut penelitian Somnuk *et al.* [72] menyatakan bahwa terbentuk proses kristalisasi pada permukaan hasil injeksi akibat proses gaya gesekan yang tinggi (*shear induced crystallization*), dimana kondisi proses, kecepatan injeksi, suhu cetakan (*mould*) akan mempengaruhi ketebalan lapisan kristalisasi, derajat kristalinitas serta sifat mekanisnya.

Untuk memperbaiki sifat daya alir ini perlu dipergunakan penambahan *lubricant*, *wax* atau dengan mengurangi kadar air pada bahan baku pulp dengan proses pengeringan oven. Kemungkinan pengaruh kadar air yang berubah menjadi uap air (*steam*) pada daya alir material diketahui pada saat proses injeksi. Sehingga hal ini dapat dijadikan acuan pada proses manufaktur selanjutnya.



Gambar 4.27 Analisis patahan spesimen impact dengan FE-SEM komposit PP-serat sisal

Perpatahan akibat uji impact dari komposit serat sisal disajikan pada Gambar 4.27. Pada serat berbentuk *chopped* terdapat kombinasi perpatahan serat *bulk* serta terjadinya fenomena pencabutan serat, dapat dilihat bahwa permukaan serat dapat terbasahi sempurna oleh matrik polimer, dari perpatahan serat sisal *chopped* terdapat penetrasi matrik ke dalam lumen, hal ini menunjukkan penyebab peningkatan kuat tarik serta nilai impact komposit [66].

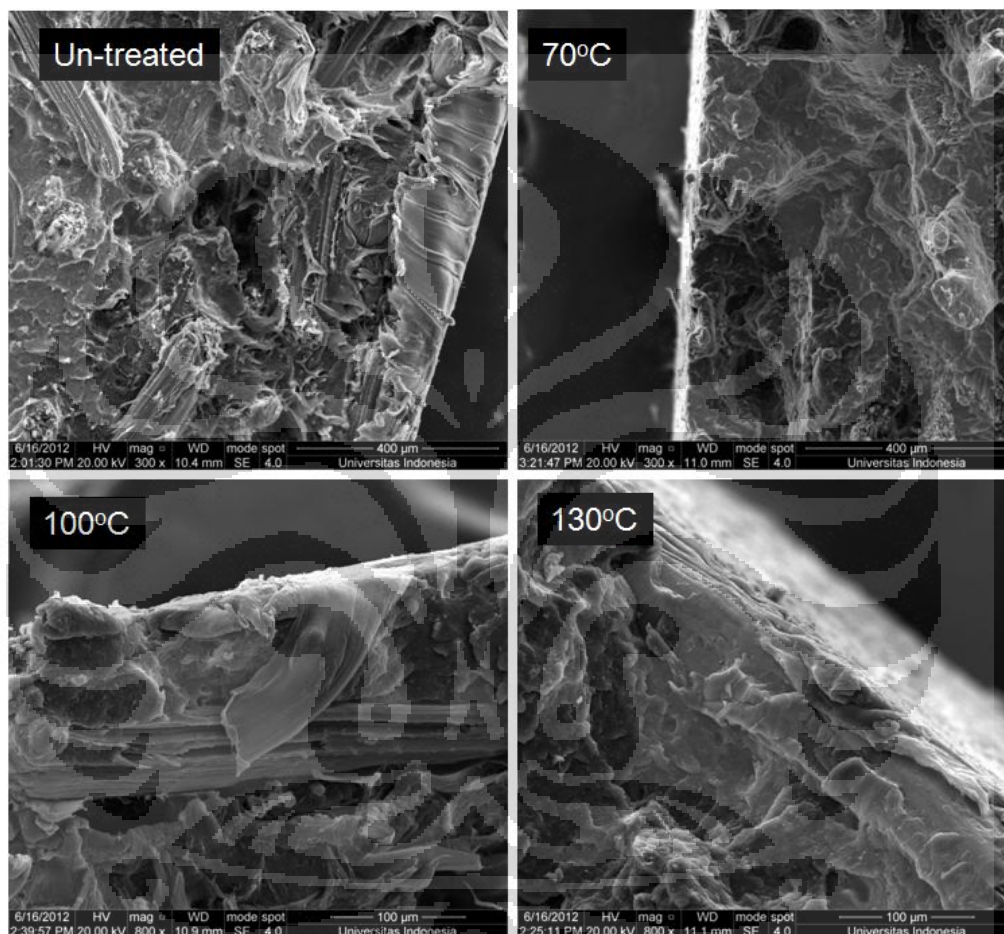


Gambar 4.28 Analisis patahan spesimen impak dengan FE-SEM komposit PP-serat kelapa

Pada Gambar 4.28 adalah analisis hasil patahan uji impak komposit serat berbentuk *chopped* dan berbentuk pulp dari serat sabut kelapa. Pada serat berbentuk pulp, serat dapat terdispersi secara homogen dalam matrik, keterbasahan serat oleh matrik sangat bagus dengan dipergunakannya PP-g-MA, mekanisme perpatahan dalam bentuk pulp lebih terjadi akibat perpatahan serat, jika dibandingkan dengan mekanisme pada serat berbentuk *chopped* yaitu proses pencabutan serat. Dimana absorpsi energi pada saat uji impak lebih besar adalah dalam bentuk pencabutan serat [33].

Pengaruh perlakuan panas terhadap komposit serat alam SCHOE akibat proses perlakuan panas disajikan pada Gambar 4.29 berikut, dari analisis perpatahan dapat dilihat bahwa serat tanpa pemanasan masih memiliki duktilitas, duktilitas mengalami penurunan dengan peningkatan fungsi temperatur. Namun

pada, temperatur pemanasan 130 °C mekanisme pencabutan serat sangat dominan terlihat sehingga mengakibatkan peningkatan nilai kuat impak. Fenomena ini merupakan hasil penelitian dari *Li et al.* [67], dimana perlakuan panas dapat memperbaiki difusi rantai polimer pada *transcrystallization layer* (TCL) dengan fasa kristal *spherulite* (bulk polimer) sehingga mekanisme *debonding* yang terjadi adalah karena proses pencabutan serat.

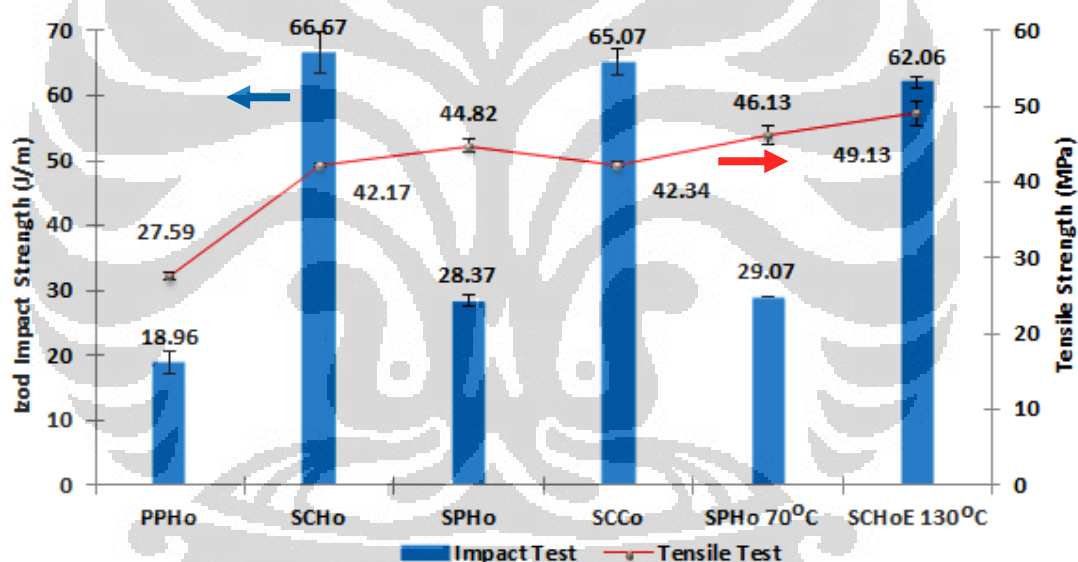


Gambar 4.29 Analisis FE-SEM pengaruh perlakuan panas pada patahan komposit SCHoE

4.2.7 Komposit Optimum

Komposit optimum merupakan komposit dengan nilai kuat tarik yang tinggi tanpa mengorbankan nilai kuat impak-nya. Dari karakterisasi diatas, dapat disusun diagram batang komposit terbaik yang dihasilkan dalam penelitian ini yang disajikan pada Gambar 4.30, serat sisal dengan bentuk *chopped* memberikan nilai mekanis yang paling baik. Penambahan EPDM dan perlakuan panas pada 130°C mampu meningkatkan nilai impak sekaligus mempertahankan kuat tarik

dan modulusnya. Sedangkan, serat sisal dengan morfologi berbentuk pulp tidak mampu mempertahankan nilai impak. Secara keseluruhan, serat sisal memberikan propertis yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat sabut kelapa. Mekanisme kuat impak dengan penyerapan energi melalui penguatan dan efek pencabutan serat dengan efek *coiling* tidak terjadi pada penambahan serat sabut kelapa dengan daya ulur yang mencapai >50%. Sehingga dapat disimpulkan dari penelitian ini, bahwa mekanisme penyerapan energi pada saat uji impak lebih dominan pada penguatan material dengan sifat modulus *filler* yang lebih baik. Efek penyerapan energi dengan mekanisme *fiber pull out* dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kekasaran permukaan serta mempertahankan bentuk serat dalam bentuk *bulk* (*bundle of fibers*).

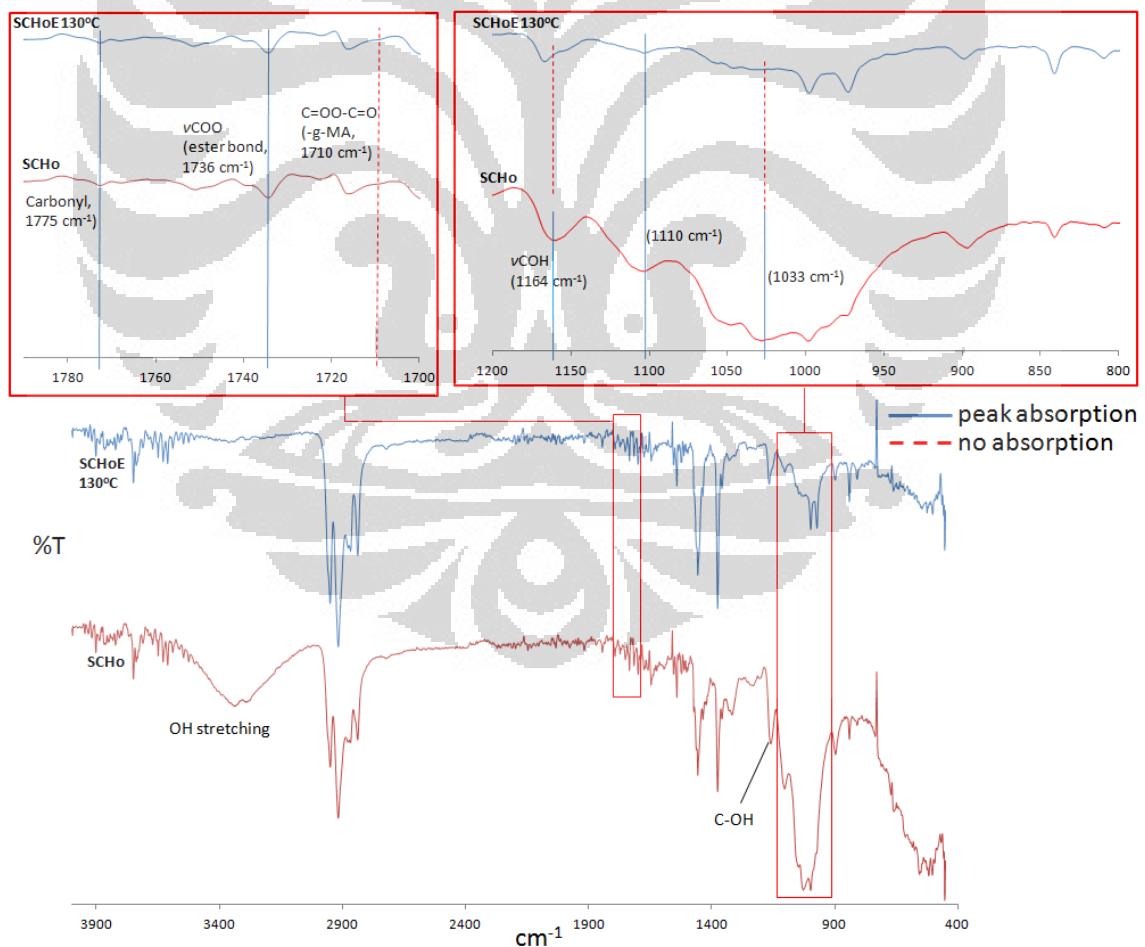


Gambar 4.30 Komposit serat alam optimum

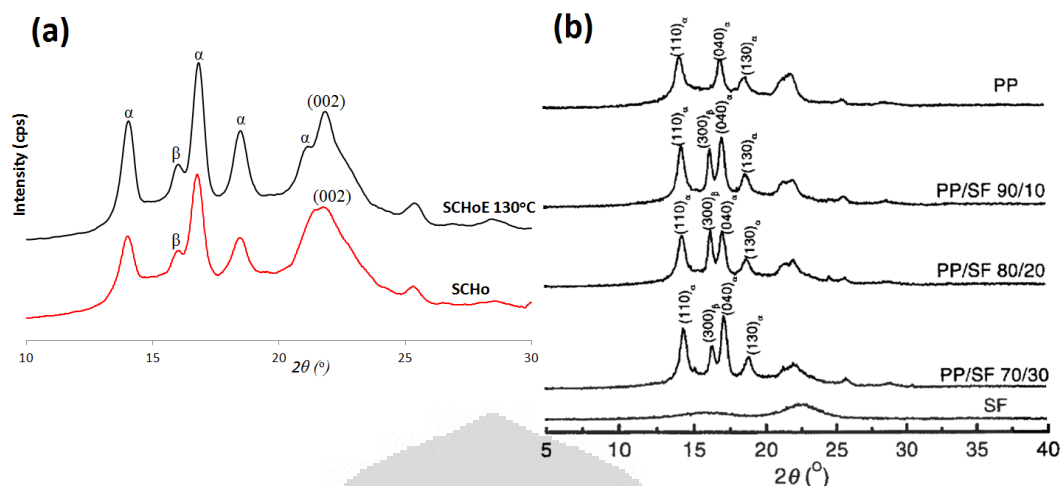
Dari uji FTIR pada Gambar 4.31 terlihat bahwa perlakuan pemanasan mampu menghilangkan serapan gugus OH (pada 3400 cm^{-1} dan 1100 cm^{-1}), uap air terikat, hal ini akan berpengaruh pada stabilitas dimensi dari komposit yang dihasilkan. Dimana komposit SCHOE 130 memberikan propertis kuat tarik, modulus dan nilai impak yang lebih baik. Namun, hal ini tidak menisbikan pengaruh dari penambahan EPDM, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh perlakuan panas ini. Terutama jika proses kristalisasi dengan penambahan serat alam tersebut membentuk *transcrystallization layer* (TCL) [67].

Lebih lanjut dengan analisis FTIR pada Gambar 4.31, munculnya serapan pada 1775 cm^{-1} (C=O, Carbonyl), 1736 cm^{-1} (ester) dan hilangnya serapan pada 1710 cm^{-1} (gugus ester pada PP-g-MA) menunjukkan bahwa terbentuk ikatan antar molekul gugus-OH selulosa (1164 cm^{-1} ; 1110 cm^{-1} ; 1033 cm^{-1}) dengan gugus dari maleic anhydride (PP-g-MA) [73].

Komposit optimum yang dihasilkan dikarakterisasi lebih lanjut dengan menggunakan XRD untuk mengetahui pengaruh penambahan serat sisal terhadap pembentukan β -phase pada kristalisasi polimer PP. Proses pembentukan kristal pada polimer selulosa memiliki tiga jenis struktur kristal yaitu α , β dan γ . Struktur α (monoklinik) merupakan struktur dominan akibat proses solidifikasi lelehan polimer, struktur β (heksagonal) merupakan struktur kristal yang terbentuk akibat perlakuan *shear* dimana struktur heksagonal ini meningkatkan duktilitas dari matrik polimer [74].



Gambar 4.31 Analisis FTIR komposit serat alam optimum



Gambar 4.32 Analisis XRD komposit, (a) SCHo dan SCHoE 130°C; (b) analisis XRD referensi komposit PP/SF (PP dengan serat sisal) [70].

Menurut Tjong *et al.* (1996) [75] nilai impact komposit polimer PP akan meningkat dengan terbentuknya β -phase. Banyak perlakuan dilakukan untuk meningkatkan pembentukan β -phase pada kristalisasi polimer PP ini, antara lain penambahan β -nucleator [74, 76], perlakuan *shearing forces* [77]. Dari Gambar 4.32(a) tampak jelas bahwa serat sisal dalam bentuk *chopped* mampu membentuk kristalisasi PP dengan struktur β -phase. Sehingga mekanisme peningkatan nilai impact komposit serat alam khususnya SCHo dan SCHoE, tidak hanya disebabkan oleh penyerapan energi pada saat terjadinya pencabutan serat, namun disebabkan pula oleh proses kristalisasi dari polimer PP, dalam hal ini meningkatkan ketangguhan dari matrik polimer karena pembentukan struktur kristal β -phase.

4.2.8 Analisis DSC Pengaruh Perlakuan Panas pada Komposit SCHoE

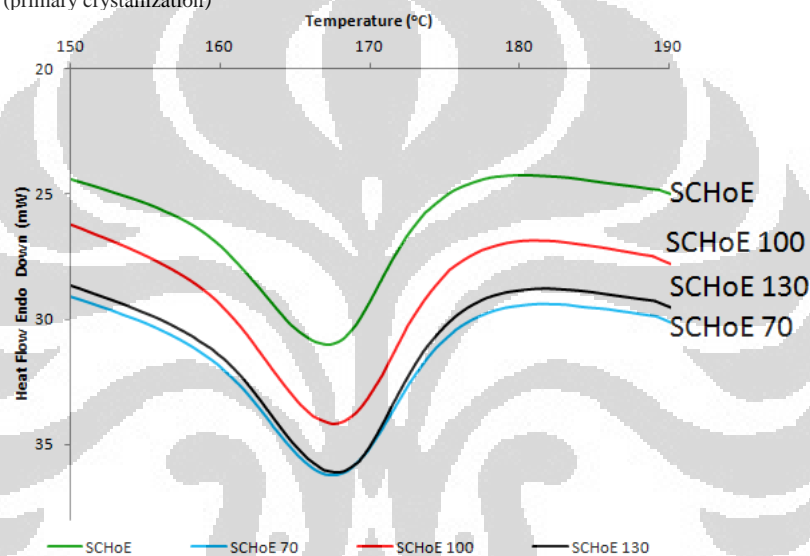
Pengaruh perlakuan panas pada sifat termal dari komposit SCHoE dipelajari dengan mempergunakan DSC. Dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.33 dan 4.34 diketahui bahwa tidak terjadi perubahan T_m dan T_c pada komposit, hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas tidak berpengaruh pada karakteristik termal komposit PP serat alam. Namun jika dilihat dari nilai $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ dan Δt_c (min) pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa proses kristalisasi polimer lebih cepat terjadi pada komposit tanpa perlakuan panas yang ditunjukkan pada nilai ΔT dan Δt yg paling kecil [78]. Penurunan entalpi pelelehan (ΔH_m) akibat perlakuan pemanasan

menunjukkan penurunan derajat kristalinitas yang diakibatkan oleh perlakuan pemanasan [79]. Mekanisme perlakuan panas ini akan menjadi topik bahasan pada penelitian selanjutnya.

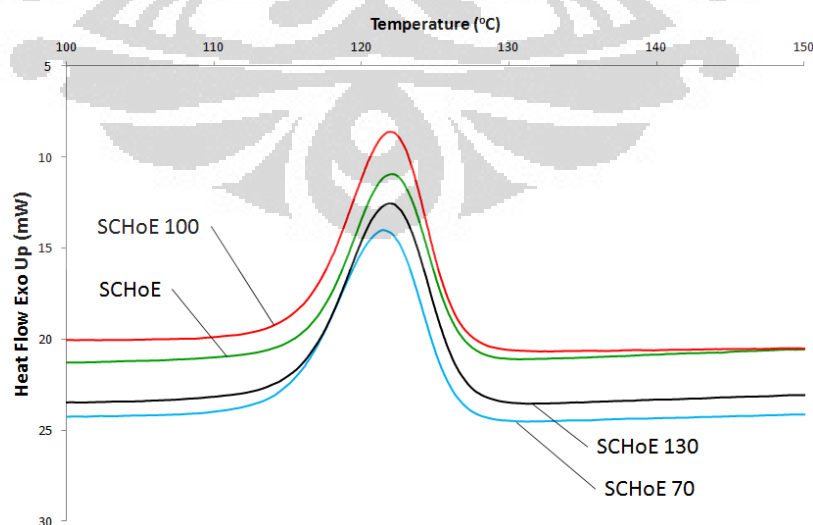
Table 4.5 Pengaruh perlakuan panas pada temperatur pelelehan, kristalisasi komposit SCHoE

Kode	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔT (°C)	ΔH _m (J/g)	ΔH _c (J/g)	Δt _c (min)
SCHoE	167.24	122.14	45.1	18.86	-45.14	2.09
SCHoE 70	167.76	121.41	46.35	15.41	-46.85	2.32
SCHoE 100	167.53	121.96	45.57	13.75	-45.37	2.11
SCHoE 130	168.18	121.92	46.26	12.99	-43.43	2.22

ΔH_m : Enthalpy pelelehan, endotermis, ΔH_c : Enthalpy kristalisasi, eksotermis, Δt_c : selang waktu kristalisasi (primary crystallization)



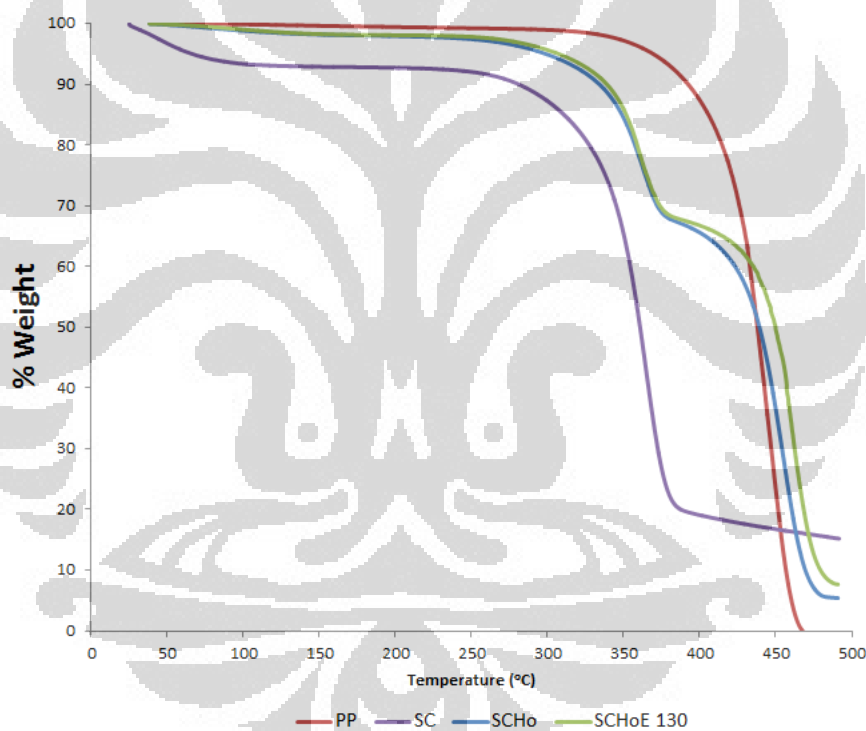
Gambar 4.33 Kurva DSC pada kondisi pemanasan (*heating*), penetapan T_m (*melting temperature*)



Gambar 4.34 Kurva DSC pada kondisi pendinginan (*cooling*), penetapan T_c (*crystallization temperature*)

4.2.9 Analisis TGA pada Komposit SCHO dan SCHOE 130

Komposit SCHO dan SCHOE 130 merupakan komposit optimum pada penelitian ini, untuk mengetahui stabilitas termalnya dilakukan analisa TGA. Dapat dilihat bahwa stabilitas panas komposit lebih bagus jika dibandingkan dengan serat sisal murni, hal ini menunjukkan bahwa serat sisal dapat terselubungi dengan baik oleh matrik PP [78]. Kurva perubahan berat terbagi dalam dua step, step pertama merupakan degradasi komponen filler (serat alam) dan step kedua adalah komponen matrik polimer. Komposit SCHOE 130 dari analisis FTIR menunjukkan bahwa gugus $-OH$ yang hilang karena pemanasan dapat meningkatkan stabilitas dimensi komposit dan sifat mekanis, serta menunjukkan stabilitas panas yang lebih dari pada komposit SCHO.



Gambar 4.35 Kurva analisis TGA komposit SCHO dan SCHOE 130

4.2.10 The Rule of Mixture (Hukum Campuran)

Pada umumnya komposit berpenguat serat adalah bersifat anisotropik, sehingga sifat mekanisnya akan berbeda-beda dan tergantung pada orientasi serat. Dua arah yang dominan pada penetapan modulus komposit adalah modulus sejajar serat (E_L) dan tegak lurus serat (E_T). Pada kondisi sejajar serat, besaran gaya (F) akan dipergunakan untuk meregangkan serat dan matrik pada arah yang sama,

sehingga dapat diasumsikan bahwa, serat, matrik dan komposit mengalami regangan yang sama (*isostrain*); sehingga E_L dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$E_L = E_m.V_m + E_f.V_f \quad (4.1)$$

dimana, E_m dan E_f adalah modulus matrik dan modulus serat, sedangkan V_m dan V_f adalah fraksi berat dari matrik dan serat.

Sedangkan, pada kondisi tegak lurus serat (E_T) dapat diasumsikan bahwa serat, matrik dan komposit mengalami tegangan yang sama (*isostress*); sehingga E_T dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\frac{1}{E_T} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (4.2)$$

dimana, jika diketahui bahwa komposit memiliki orientasi serat yang acak dalam matrik, maka dapat ditentukan *rule of mixture* (RoM) untuk menentukan nilai modulus komposit tersebut adalah [80]:

$$E_{(random)} = \frac{3}{8}E_L + \frac{5}{8}E_T \quad (4.3)$$

Sehingga, dari persamaan (4.1), (4.2) dan (4.3) akan diperoleh perkiraan modulus komposit serat alam sebagai berikut (Tabel 4.6 dan Tabel 4.7). Perkiraan modulus komposit hanya dapat ditentukan untuk serat alam dalam bentuk *chopped*. Modulus serat alam dalam bentuk pulp tidak dapat ditentukan dengan uji tarik skala makro (*large scale*).

Table 4.6 Modulus sejajar serat (E_L), modulus tegak lurus serat (E_T), modulus random (E_R)

Kode	E_L (GPa)	E_T (GPa)	E_{Random}
SCHo	6.05	2.59	3.89
CCHo	1.53	1.51	1.52

Dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 diketahui bahwa nilai modulus eksperimental lebih besar dari perkiraan. Hal ini menunjukkan pembentukan *interface* yang bagus antara matrik dan serat. Deviasi nilai modulus yang besar ini disebabkan oleh variasi dari panjang dan diameter serat alam berbentuk *chopped*. Keseragaman nilai modulus serat alam yang rendah juga sangat berpengaruh, sebagai contoh

adalah modulus rata-rata serat sabut kelapa (Tabel 4.1) yang lebih rendah dari modulus polimer PPHo (Gambar 4.21).

Table 4.7 Komparasi modulus eksperimental dan perkiraan (RoM)

Kode	Variabel	E_c (GPa)
SCHo	Eksperimental	4.15
	Perkiraan	3.89
CCHo	Eksperimental	2.65
	Perkiraan	1.52

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan data uji mekanis serat alam dengan jumlah yang cukup untuk memperoleh kisaran nilai mekanis (*modulus* dan *strength*) yang seragam. Pada penelitian ini hanya dipergunakan 10 sampel per-serat alam. Penelitian Munawar *et al.* [32] mempergunakan jumlah ulangan mencapai 100-150 per-sampel serat alam. Sehingga jika mempergunakan data *modulus* yang diperoleh pada penelitian Munawar *et al.* tersebut akan diperoleh perkiraan modulus seperti tersaji pada Tabel 4.8 berikut:

Table 4.8 Komparasi modulus eksperimental dan perkiraan (RoM) dari data referensi [32]

Kode	Variabel	E_c (GPa)
SCHo	Eksperimental	4.15
	Perkiraan	3.31
CCHo	Eksperimental	2.65
	Perkiraan	2.28

Dari Tabel 4.8 diperoleh koreksi nilai perkiraan modulus CCHo dari data sebelumnya, dengan hasil perkiraan modulus yang mendekati dengan modulus data eksperimental. Hal ini membuktikan variasi yang beragam dari sifat propertis serat alam sangat mempengaruhi sifat mekanis yang dihasilkan. Perhitungan dengan *the rule of mixture* (RoM) membutuhkan data percobaan yang meminimalisasi keberagaman dari sifat-sifat konstituen dari komposit yang akan dibuat.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sifat mekanis (kuat tarik, kuat tekuk, nilai modulus dan izod impak) polimer dapat ditingkatkan dengan penambahan serat sisal dan serat sabut kelapa. Sifat mekanis serat sisal lebih baik dari pada serat sabut kelapa, hal ini dibuktikan dengan karakterisasi kuat tarik serat, struktur mikro, derajat kristalinitas serta stabilitas terhadap panas. Struktur kristal selulosa pada serat sisal dan sabut kelapa adalah I β (monoklinik).

Perubahan morfologi serat dalam bentuk pulp mampu meningkatkan dispersi penguat dalam matrik, namun hal ini hanya meningkatkan nilai kuat tarik komposit. Sedangkan morfologi serat sisal berbentuk *chopped* mampu meningkatkan kuat tarik tanpa mengesampingkan nilai impak-nya. Peningkatan nilai impak komposit sisal *chopped* mencapai 251.61% dari polimer murni. Elongasi yang panjang (>50%) dari serat sabut kelapa tidak signifikan memberikan peningkatan terhadap nilai kuat impak. Sehingga modulus dan kekuatan serat lebih dominan dalam mekanisme penyerapan energi beban kejut daripada penggunaan serat alam dengan elongasi yang panjang. Mekanisme penguatan nilai impak komposit disebabkan oleh pencabutan serat (*fiber pull out*) pada serat berbentuk *chopped* serta pembentukan β -phase kristal PP.

Polimer homopolimer mampu memberikan performa sebagai matrik yang baik jika dibandingkan dengan polimer kopolimer. Proses perlakuan panas pada komposit meningkatkan nilai kekuatan dan modulus, akan tetapi sedikit menurunkan nilai impak, namun komposit optimum yang dihasilkan diperoleh pada komposit dengan perlakuan panas 130°C dengan penambahan *impact modifier* (EPDM). Perlakuan panas tidak menyebabkan perubahan nilai temperatur pelelehan dan temperatur kristalisasi komposit serat alam, namun menurunkan entalpi pelelehannya. Stabilitas panas komposit meningkat dengan perlakuan panas pada 130°C.

Komposit serat alam berbentuk *bundle of fiber* (bulk) memberikan densitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan serat berbentuk pulp serta memiliki kemampuan menyerap energi impak yang lebih baik, sehingga dapat

dipergunakan sebagai bahan material komponen otomotif berbasis polimer bersaing dengan komposit PP-serat gelas.

5.2 Saran

1. Sifat mekanis komposit serat alam dapat ditingkatkan dengan tetap mempertahankan morfologi serat alam dalam bentuk *bundle of fibers*.
2. Terbentuknya *flowmark* pada komposit serat alam yang dihasilkan dari serat berbentuk pulp, menunjukkan perlu ditambahkan aditif untuk memperbaiki sifat reologis-nya.
3. Peningkatan dispersi serat alam dalam matrik karena bentukan pulp serta mekanisme *fiber pull out* karena bentukan serat bulk dapat dikombinasikan sedemikian rupa dalam bentuk komposit *hybrid* untuk memperoleh kondisi optimum komposit berbasis polimer serat alam.

DAFTAR REFERENSI

1. Anonim. (2009). <http://www.naturalfibres2009.org/en/index.html>, [20 November 2009]
2. Nishino T. (2004). Natural fibre sources, In: Baillie C, editors, Green composites Polymer composites and the environment, England, Woodhead Publishing Limited, pp: 49
3. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on End-of-Life Vehicles, Official Journal of the European Communities (21 October 2000).
4. Malkapuram R, Kumar V, Negi YS. (2009). Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 8(10), 1169-1189
5. Page DH, El-Hosseiny F, Winkler K. (1971). Behaviour of single wood fibers under axial tensile strain, *Nature* 229, 252-253.
6. Sakurada I, Nukushina Y, Ito T. (1962). Experimental Determination of the Elastic Modulus of Crystalline Regions in Oriented Polymer, *Journal of Polymer Science*, 57, 651-660
7. Sturcova A, Davies GR, Eichhorn SJ. (2005). Elastic Modulus and Stress-Transfer Properties of Tunicate Cellulose Whiskers, *Biomacromolecules*, 6, 1055-1061
8. Kompella MK, Lambros J. (2002). Micromechanical characterization of cellulose fibers, *Polymer Testing* 21, 523–530
9. Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. (2001). Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview, *Composite Interfaces*, 8(5), 313-343
10. Masruchin N, Kusumaningrum WB, Ismadi, Subyakto. (2010). Characteristics of Sugarcane Bagasse Fiber (*Saccharum officinale*) reinforced Polypropylene Composites, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 8(1), 55-67
11. Kalia S, Kaith BS, Kaur I. (2009). Pretreatments of Natural Fibers and their Application as Reinforcing Material in Polymer Composites, *Polymer Engineering and Science*, 49(7), 1253-1272

12. Li X, Tabil LG, Panigrahi S. (2007). Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review, *Journal Polymer and The Environment*, 15:25–33
13. Bisanda ETN. (2001). The effect of Alkali Treatment on the Adhesion Characteristics of Sisal Fibres, *Applied Composite Materials* 7, 331–339
14. Keener TJ, Stuart RK, Brown TK. (2004). Maleated coupling agents for natural fibre composites, *Composites: Part A*,35,357–362
15. Hill CAS, Khalil HPSA, Hale MD. (1998). A study of the potential of acetylation to improve the properties of plant fibres, *Industrial Crops and Products*, 8, 53-63
16. Wambua P, Ivens J, Verpoest I. (2003). Natural fibres: can they replace glass fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63, 1259-1264
17. Canche-Escamilla G, *et al.* (2002). Flexural, impact and compressive properties of a rigid-thermoplastic matrix/cellulose fibre reinforced composites, *Composites Part A*,33(4),539-549
18. Oksman K, Mathew AP, Langstrom R, Nystrom B, Joseph K. (2009). The influence of fibre microstructure on fibre breakage and mechanical properties of natural fibre reinforced polypropylene, *Composites Science and Technology*, 69, 1847–1853
19. Oksman K, Clemons C. (1997). Mechanical Properties Polypropylene-Wood and Morphology of Impact Modified Flour Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 67, 1503-1513
20. Reinforcedplastics. (2004). Car makers increase their use of composites, Vol. 48 No.2 Hal 26-32, February 2004, Elsevier Publishing ltd
21. Reinforcedplastics. (2003). Thermoplastics gain ground in auto market, Vol. 47, No. 9 Hal 8, October 2003, Elsevier Publishing ltd
22. Goodship V. (2002). What to do with Composites at the End of Vehicle Life, In: Tucker N, Lindsey KA editors, *An intriduction in automotive composites*, United Kigndom, Rapra Technology Limited, hal: 141-142

23. Lindsey KA, Tucker N. (2002). How can we use composites in car manufacture? In: Tucker N, Lindsey KA editors, An introduction in automotive composites, United Kingdom, Rapra Technology Limited, pp: 79
24. Bledzki AK, Faruk O, Sperber VE. (2006). Cars from biofibers, *Macromolecular Material Engineering*, 291, 449–457
25. Holbery J dan Houston D. (2006). Natural-Fiber-Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications, *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 58(11), 80-86
26. Jacob M, Joseph S, Pothan LA, Thomas S. (2005). A study of advances in characterization of interfaces and fiber surfaces in lignocellulosic fiber-reinforced composites, *Composite Interfaces*, 12(1-2), 95–124
27. Fratzl P dan Weinkamer R. (2007). Nature's hierarchical materials, *Progress in Materials Science* 52, 1263–1334
28. Brahmakumar M, Pavithran C, Pillai RM. (2005). Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites, *Composites Science and Technology* 65, 563–569
29. Saputra H, Simonsen J, Li K. (2004). Effect of extractives on the flexural properties of wood/plastic composites, *Composite Interfaces*, 11(7), 515–524
30. Liu FP dan Rials TG. (1998). Relationship of Wood Surface Energy to Surface Composition, *Langmuir*, 14, 536-541
31. Bogoeva-Gaceva G, Avella M, Malinconico M,; Buzarovska M, *et al.* (2007). Natural fiber eco-composites, *Polymer Composites*, 28, 98-107
32. Munawar SS, Umemura K, Kawai S. (2007). Characterization of the morphological, physical, and mechanical properties of seven nonwood plant fiber bundles, *J Wood of Science* 53,108–113
33. Rong MZ, Zhang MQ, Liu Y, Yang GC, Zeng HM. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites, *Composites Science and Technology* 61,1437–1447
34. Rong MZ; Zhang MQ; Liu Y; Yan HM. (2002). Interfacial interaction in sisal/epoxy composites and its influence on impact performance, *Polymer Composites*, 23(2), 182-192

35. Wagner HD dan Lustiger A. (2009). Optimized toughness of short fiber-based composites: The effect of fiber diameter, *Composites Science and Technology*, 69, 1323–1325
36. Hristov VN, Lach R, Grellmann W. (2004). Impact fracture behavior of modified Polypropylene/wood fiber composites, *Polymer Testing* 23,581–589
37. Li X, Tabil LG, Oguocha IN, Panigrahi S. (2008). Thermal diffusivity, thermal conductivity, and specific heat of flax fiber–HDPE biocomposites at processing temperatures, *Composites Science and Technology* 68:1753–1758
38. Liu W, Mohanty AK, Drzal LT, Askel P, Misra M. (2004). Effects of alkali treatment on the structure, morphology and thermal properties of native grass fibers as reinforcements for polymer matrix composites, *Journal of Materials Science*, 39, 1051-1054
39. Mohanty S, Nayak SK, Verma SK, Tripathy SS. (2004). Effect of MAPP as Coupling Agent on the Performance of Sisal–PP Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 23; 2047
40. Tajvidi M dan Takemura A. (2009). Effect of fiber content and type, compatibilizer and heating rate on thermogravimetric properties of natural fiber high density polyethylene composite, *Polymer Composites*, 30(9), 1226-1233
41. Hull D. (1981). An introduction to composite materials, In: *Fibre-matrix interface*, Cambridge, Cambridge University Press, hal: 36-42
42. Heng JYY, Pearse DF, Thielmann F, Lampke T, Bismarck A. (2007). Methods to determine surface energies of natural fibres: a review, *Composite Interfaces*, 14(7–9), 581–604
43. Tokoro R, Vu DM, Okubo K, Tanaka T, Fujii T, Fujiura T. (2008). How to improve mechanical properties of polylactic acid with bamboo fibers, *Journal of Material Science* 43,775–787
44. Oksman K, Clemons C. (1998). Mechanical Properties Polypropylene-Wood and Morphology of Impact Modified Flour Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 67, 1503-1513

45. Panthapulakkal S, Law S, Sain M, Perrinaud R, Shermet R. (2006). Enhancement of impact strength of natural fiber and hybrid composites for automotives, *Composites in Manufacturing*, 22(4), 1-13
46. Taib RM, Ramarad S, Ishak ZAM, Todo M. (2010). Properties of Kenaf Fiber PLA Biocomposites Plasticized with Polyethylene glycol, *Polymer Composites*, 31(7), 1213-1222
47. Aykol M, Isitman NA, Firlar E, Kaynak C. (2008). Strength of Short Fiber Reinforced Polymers: Effect of Fiber Length Distribution, *Polymer Composites*, 29(6), 644-648
48. Zuiderduin WCJ, Westzaan C, Hue'tink J, Gaymans RJ. (2003). Toughening of polypropylene with calcium carbonate particles, *Polymer* 44, 261–275
49. Zafeiropoulos NE, Williams DR, Baillie CA, Matthews FL. (2002). Engineering and characterisation of the interface in flax fibre/polypropylene composite materials. Part I. Development and investigation of surface treatments, *Composites: Part A* 33, 1083–1093
50. Zafeiropoulos NE, Baillie CA, Hodgkinson JM. (2002). Engineering and characterisation of the interface in flax fibre/polypropylene composite materials. Part II. The effect of surface treatments on the interface, *Composites: Part A* 33, 1185–1190
51. Xie XL, Li RKY, Tjong SC, Mai YW. (2002). Structural Properties and Mechanical Behavior of Injection Molded Composites of Polypropylene and Sisal Fiber, *Polymer Composites*, 23(3), 319-328
52. Zafeiropoulos NE, Baillie CA, Matthews FL. (2001). A study of transcrystallinity and its effect on the interface in flax fibre reinforced composite materials, *Composites: Part A* 32, 525–543
53. Thostenson ET, Li C, Chou TW. (2005). Nanocomposites in context, *Composites Science and Technology* 65, 491–516
54. Nourbakhsh A, Karegarfard A, Ashori A, Nourbakhsh A. (2010). Effects of Particle Size and Coupling Agent Concentration on Mechanical Properties of Particulate-filled Polymer Composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2010 23: 169-174

55. Liu YH, Xu JQ, Ding HJ. (1999). Mechanical behavior of a fiber end in short fiber reinforced composites, *International Journal of Engineering Science* 37, 753-770
56. Lenes M and Gregersen OW. (2006). Effect of surface chemistry and topography of sulphite fibres on the transcristallinity of polypropylene, *Cellulose* 13:345–355
57. Salmen L. (2004). Micromechanical understanding of the cell-wall structure, *C. R. Biologies* 327, 873-880
58. Bakri B dan Eichhron SJ. (2010). Elastic coils: deformation micromechanics of coir and celery fibers, *Cellulose*, 17:1-11
59. Hashim R, Saari N, Sulaiman O, Sugimoto T, Hiziroglu S, Sato M, Tanaka R. (2010). Effect of particle geometry on the properties of binderless particleboard manufactured from oil palm trunk, *Materials and Design* 31,4251–4257
60. Wada M, Kondo T, Okano T. (2003). Thermally induced crystal transformation from cellulose I α to I β , *Polymer Journal*, 35(2), 155-159
61. Wada M, Okano T, Sugiyama J. (2001). Allomorphs of native crystalline cellulose I evaluated by two equatorial d-spacings, *Journal of Wood Science* 47:124-128
62. Gumukaya E, Usta M, Kirci K. (2003). The effects of various pulping conditions on crystalline structure of cellulose in cotton linters, *Polymer Degradation and Stability* 81, 559-564
63. Gumuskaya E dan Usta M. (2006). Dependence of chemical and crystalline structure of alkali sulfite pulp on cooking temperature and time, *Carbohydrate Polymers* 65, 461–468
64. Poletto M, Pistor M, Zeni M, Zattera AJ. (2011). Crystalline properties and decomposition kinetics of cellulose fibers in wood pulp obtained by two pulping processes, *Polymer Degradation and Stability* 96, 679-685
65. Shebani AN, van Reenen AJ, Meincken M. (2008). The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species, *Thermochimica Acta* 471, 43–50

66. Yuan Q, Wu D, Gotama J, Bateman S. (2008). Wood Fiber Reinforced Polyethylene and Polypropylene Composites with High Modulus and Impact Strength, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 21; 195
67. Li Y, Lin Q, Zhou X. (2011). Thermal Treatment Effect on Transcrystalline Interphase and Interfacial Shear Strengths of Glass Fibre/Polypropylene Composites, *Iranian Polymer Journal* 20(6), 503-511
68. Folkes MJ dan Hardwick ST. (1987). Direct study of the structure and properties of transcrystalline layers, *Journal of Materials Science Letters*, 6, 656-658
69. Moon CK. (1994). The effect of interfacial microstructure on the interfacial strength of glass fiber/polypropylene resin composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 54, 73-82
70. Iroh JO dan Berry JP. (1996). Mechanical properties of nucleated polypropylene and short glass fiber-polypropylene composites, *European Polymer Journal*, 32(12), 1425-1429
71. Sobczak L, Lang RW, Haider A. (2012). Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profile, *Composites Science and Technology* 72, 550–557
72. Somnuk U, Suppakarn N, Sutapun W, Ruksakulpiwat Y. (2009). Shear-Induced Crystallization of Injection Molded Vetiver Grass-Polypropylene Composite, *Journal of Applied Polymer Science*, 113, 4003–4014
73. Mutje P, Lopez A, Vallejos ME, Lopez JP, Vilaseca F. (2007). Full exploitation of Cannabis sativa as reinforcement/filler of thermoplastic composite materials, *Composites: Part A* 38, 369–377
74. Grein C. (2005). Toughness of Neat, Rubber Modified and Filled β - Nucleated Polypropylene: From Fundamentals to Applications, *Advance Polymer Science* 188, 43–104
75. Tjong SC, Shen JS, Li RKY. (1996). Mechanical Behavior of Injection Molded β -Crystalline Phase Polypropylene, *Polymer Engineering Science* 36(1), 100-105
76. Xiao W, Wu P, Feng J, Yao R. (2009). Influence of a novel β -nucleating agent on the structure, morphology and nonisothermal crystallization

- behavior of isotactic polypropylene, *Journal of Applied Polymer Science*, 111, 1076-1085
77. Borysiak S. (2010). Supermolecular structure of wood/polypropylene composites: I. The influence of processing parameters and chemical treatment of the filler, *Polymer. Bulletin* 64, 275–290
 78. Xie XL, Li RKY, Tjong SC, Mai YW. (2002). Structural Properties and Mechanical Behavior of Injection Molded Composites of Polypropylene and Sisal Fiber, *Polymer Composites*, 23(3), 319-328
 79. Kunal Das K, Ray D, Banerjee C, Bandyopadhyay NR, Sahoo S, Mohanty AK, Misra M. (2010). Physicomechanical and Thermal Properties of Jute-Nanofiber-Reinforced Biocopolyester Composites, *Ind. Eng. Chem. Res.* 49, 2775–2782
 80. Mirbagheri J, Tajvidi M, Ghasemi I, Hermanson JC. (2007). Prediction of the elastic modulus of wood flour/kenaf fibre/polypropylene hybrid composites, *Iranian Polymer Journal*, 16(4), 271-278

Lampiran 1

EDS Sisal Untreated

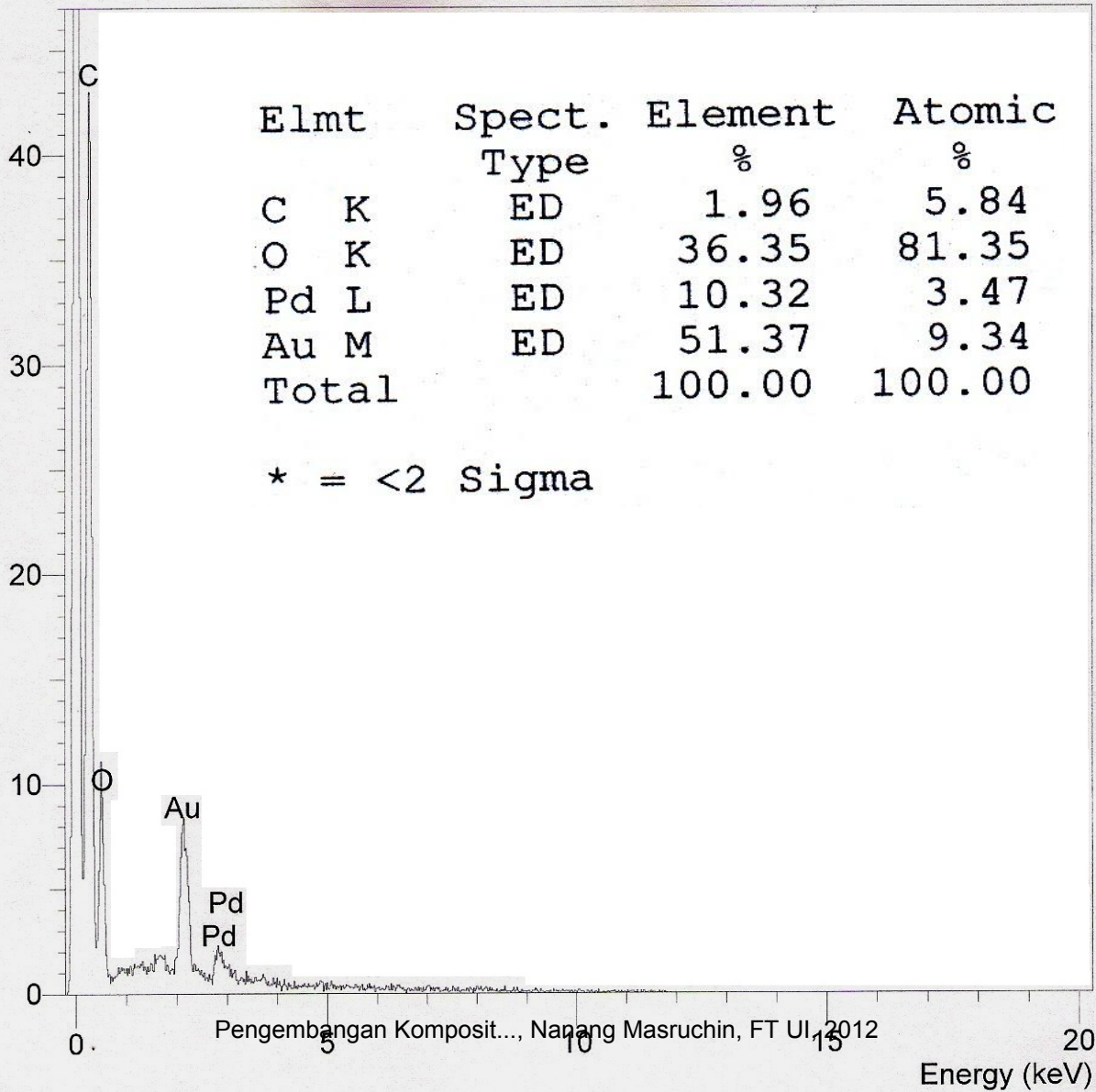
Operator : Ferdian

Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material

Job : Energy Dispersive X-ray Analysis

sisal (p) (25/04/12 10:56)

cps



Lampiran 2

EDS Sisal NaOH 5%

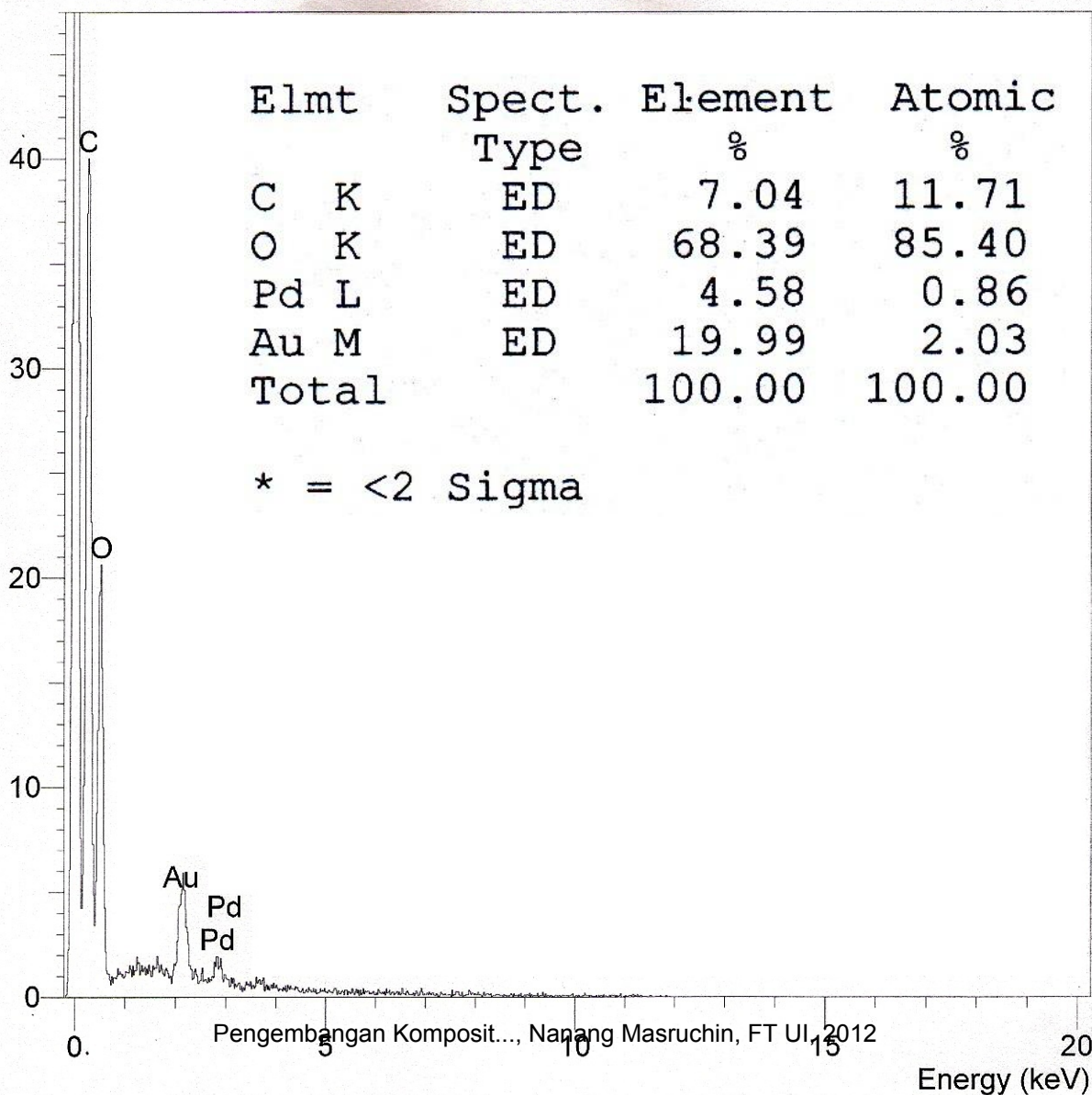
Operator : Ferdian

Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material

Job : Energy Dispersive X-ray Analysis

sisal (b) (25/04/12 11:00)

cps



Lampiran 3

EDS Sisal Pulp

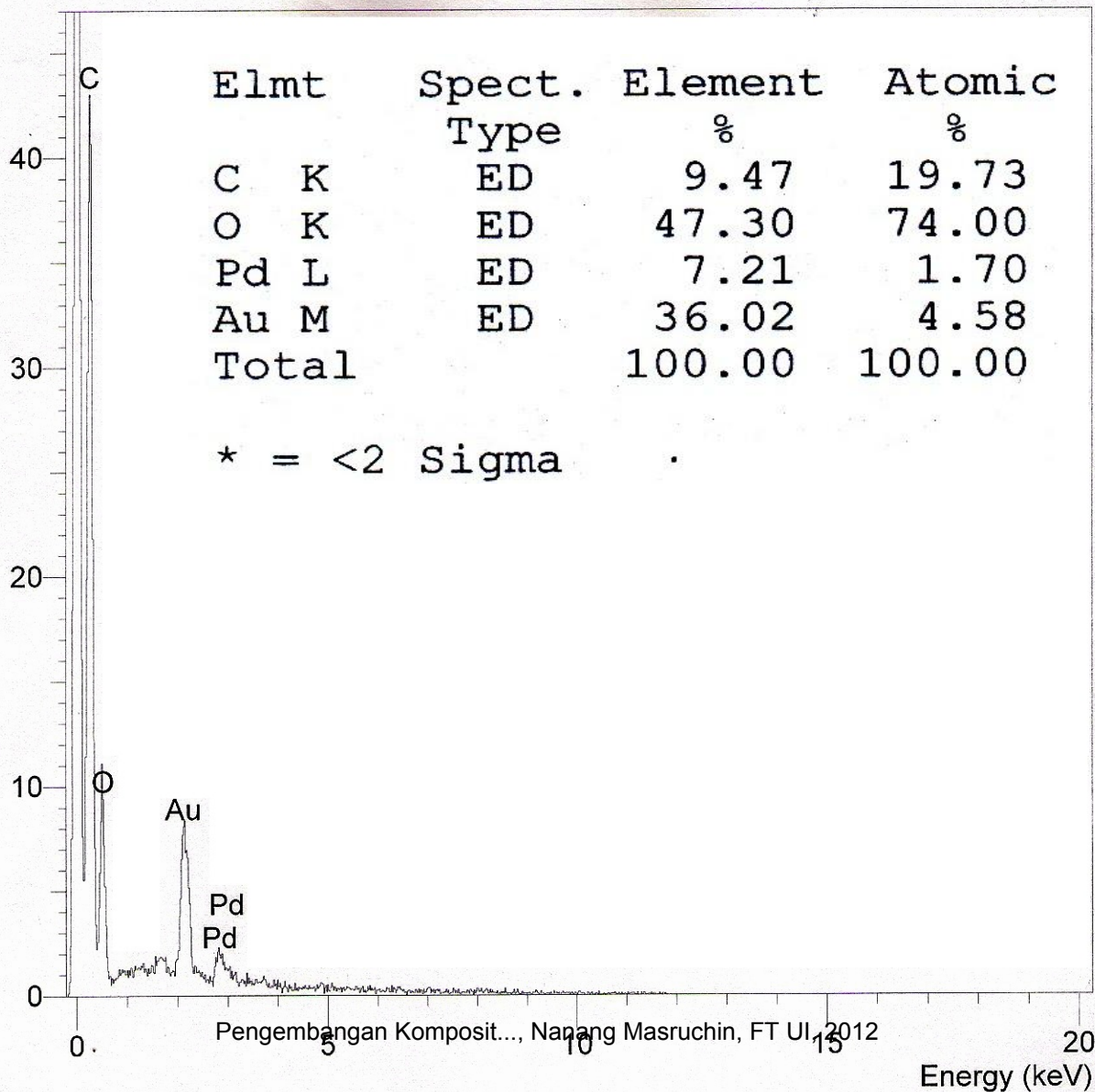
Operator : Ferdian

Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material

Job : Energy Dispersive X-ray Analysis

sisal (p) (25/04/12 10:56)

cps



Lampiran 4

EDS Kelapa Untreated

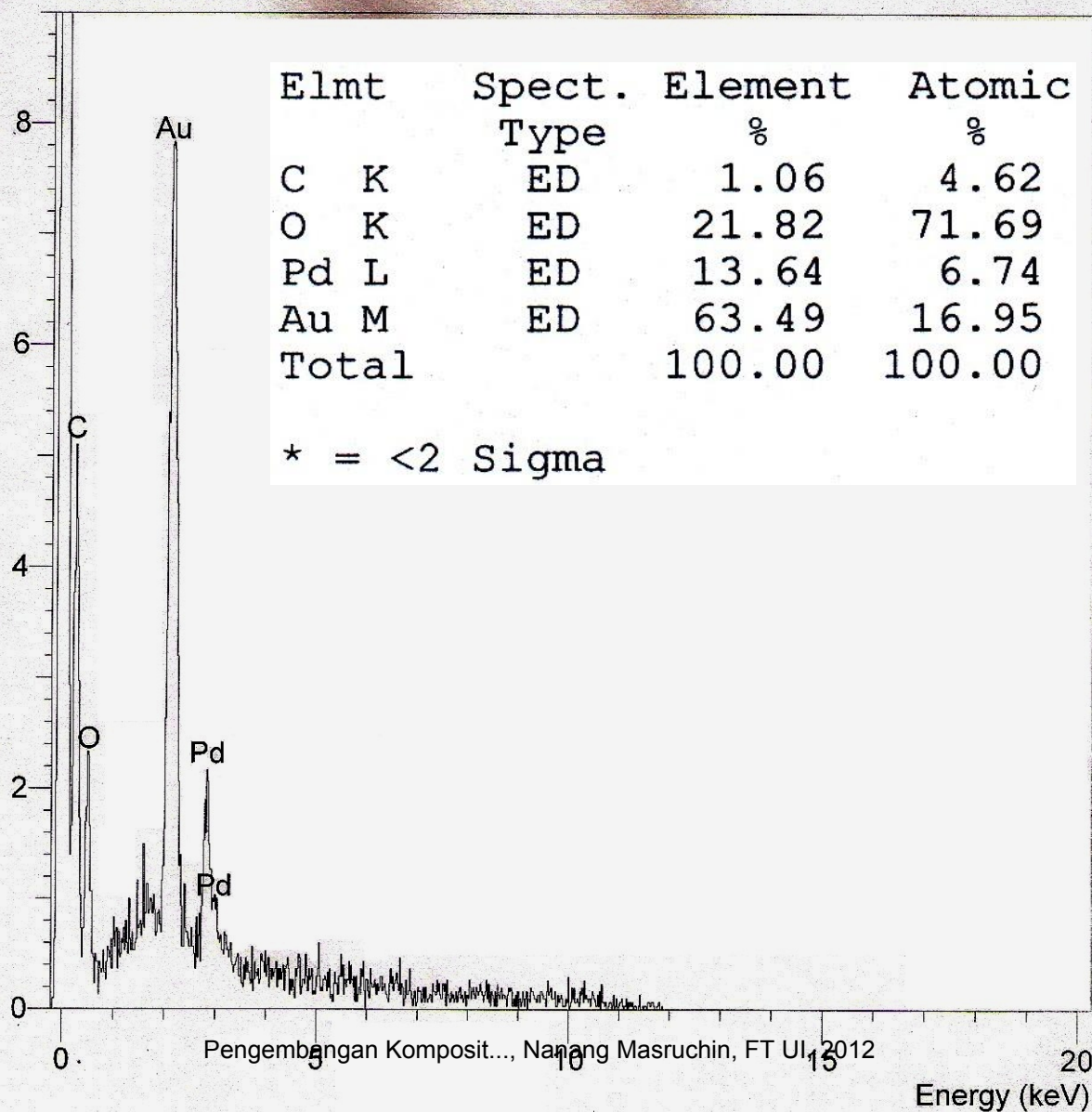
Operator : Ferdian

Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material

Job : Energy Dispersive X-ray Analysis

kelapa b-2 (25/04/12 11:17)

cps



Energy (keV)

Lampiran 5

EDS Kelapa NaOH 5%

Operator : Ferdian

Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material

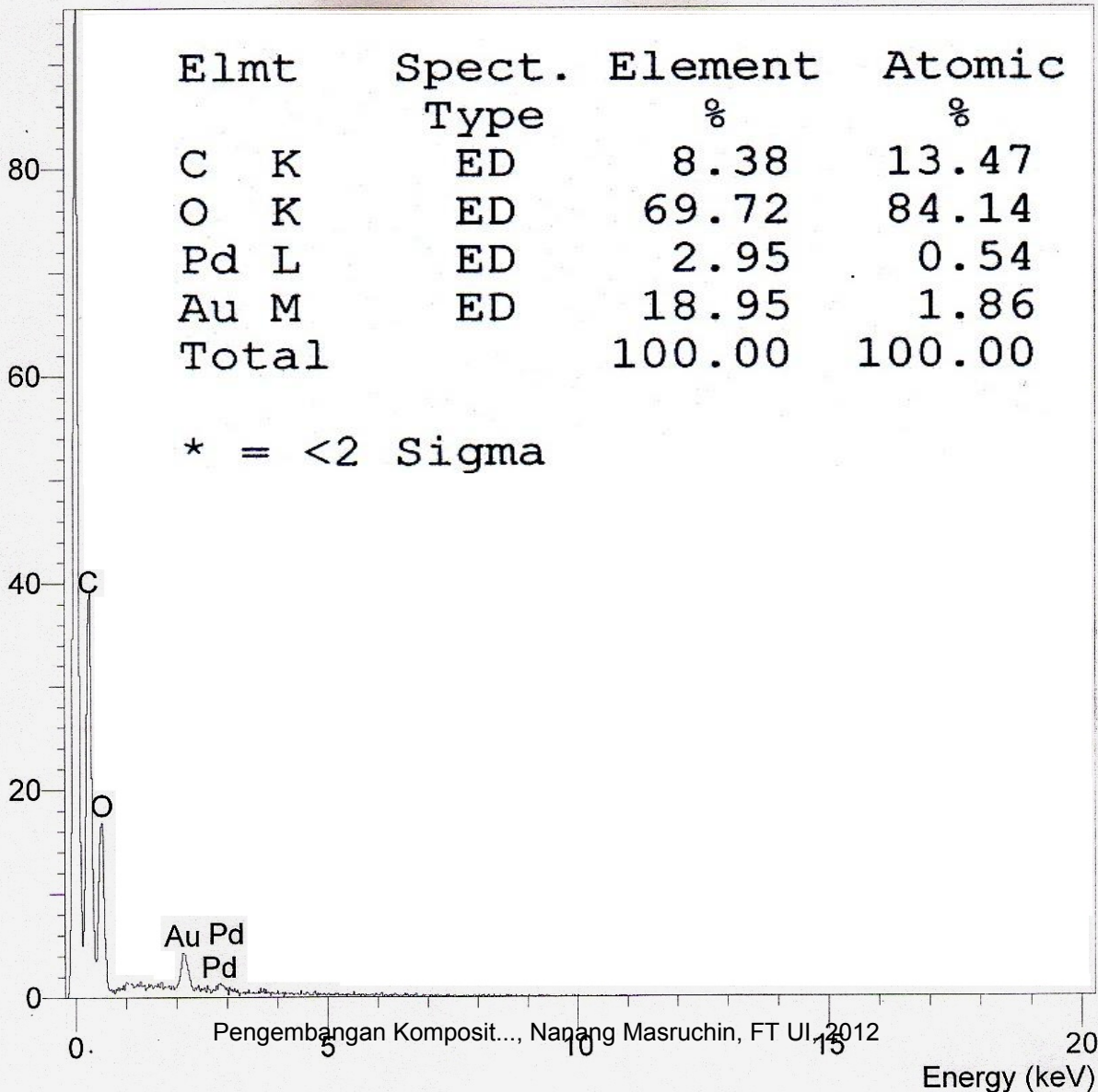
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis

kelapa (b) (25/04/12 11:03)

cps

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	8.38	13.47
O K	ED	69.72	84.14
Pd L	ED	2.95	0.54
Au M	ED	18.95	1.86
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Energy (keV)

Basic Process : XRD_SISAL CHOPPED_Masruchin

Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	8	22.5769	3.93515	100	2.35330	290	32920
2	3	15.5230	5.70382	33	2.48000	95	5813
3	4	16.2415	5.45307	32	2.96000	94	9109

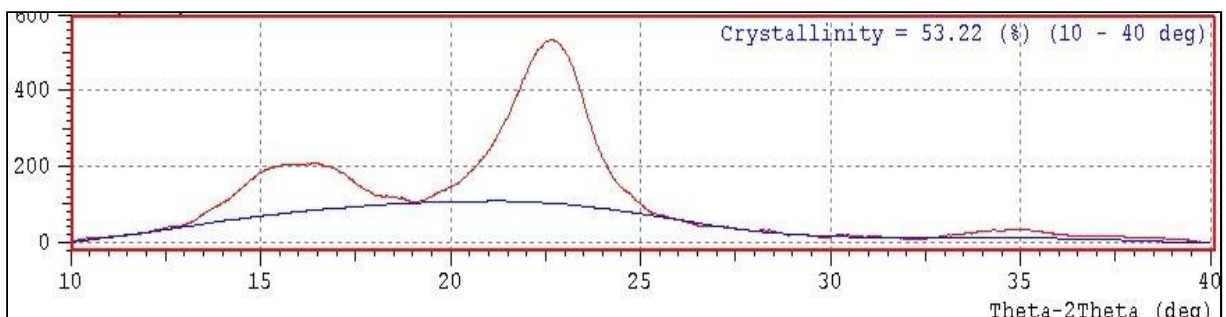
Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	12.6814	6.97481	3	0.26000	9	221
2	13.9870	6.32655	13	1.12000	37	2112
3	15.5230	5.70382	33	2.48000	95	5813
4	16.2415	5.45307	32	2.96000	94	9109
5	18.5578	4.77734	10	0.00000	30	0
6	19.8962	4.45889	14	1.58000	40	3902
7	20.6347	4.30095	26	0.00000	74	0
8	22.5769	3.93515	100	2.35330	290	32920
9	24.5866	3.61786	18	0.96000	51	3709
10	34.3147	2.61121	4	1.00000	13	715
11	34.8143	2.57488	5	1.92000	14	1117

#Result

Calculation Range : 10.0 - 40.1 (deg)
 crystallinity : 53.2169 (%)
 K parameter : 1.0000
 crystal I_{cr} : 2.6656 (kcps*deg)
 amorphous I_a : 2.3433 (kcps*deg)

$$\text{Crystallinity Index (\%Xc), } I_{cr} = \frac{I_{\text{crystalline}}}{I_{\text{crystalline}} + I_{\text{amorphous}}} \times 100\%$$



*** Basic Data Process ***

Data Infomation

Group : DiAS_Std_04_2012
Data : SisalBulk_Masrukin
Sample Nmae : SisalBulk_Masrukin
Comment : SisalBulk
Date & Time : 04-20-12 09:01:50

Measurement Condition

X-ray tube
target : Cu
voltage : 40.0 (kV)
current : 30.0 (mA)

Slits
Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)

Scanning
drive axis : Theta-2Theta
scan range : 10.0000 - 40.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

Data Process Condition

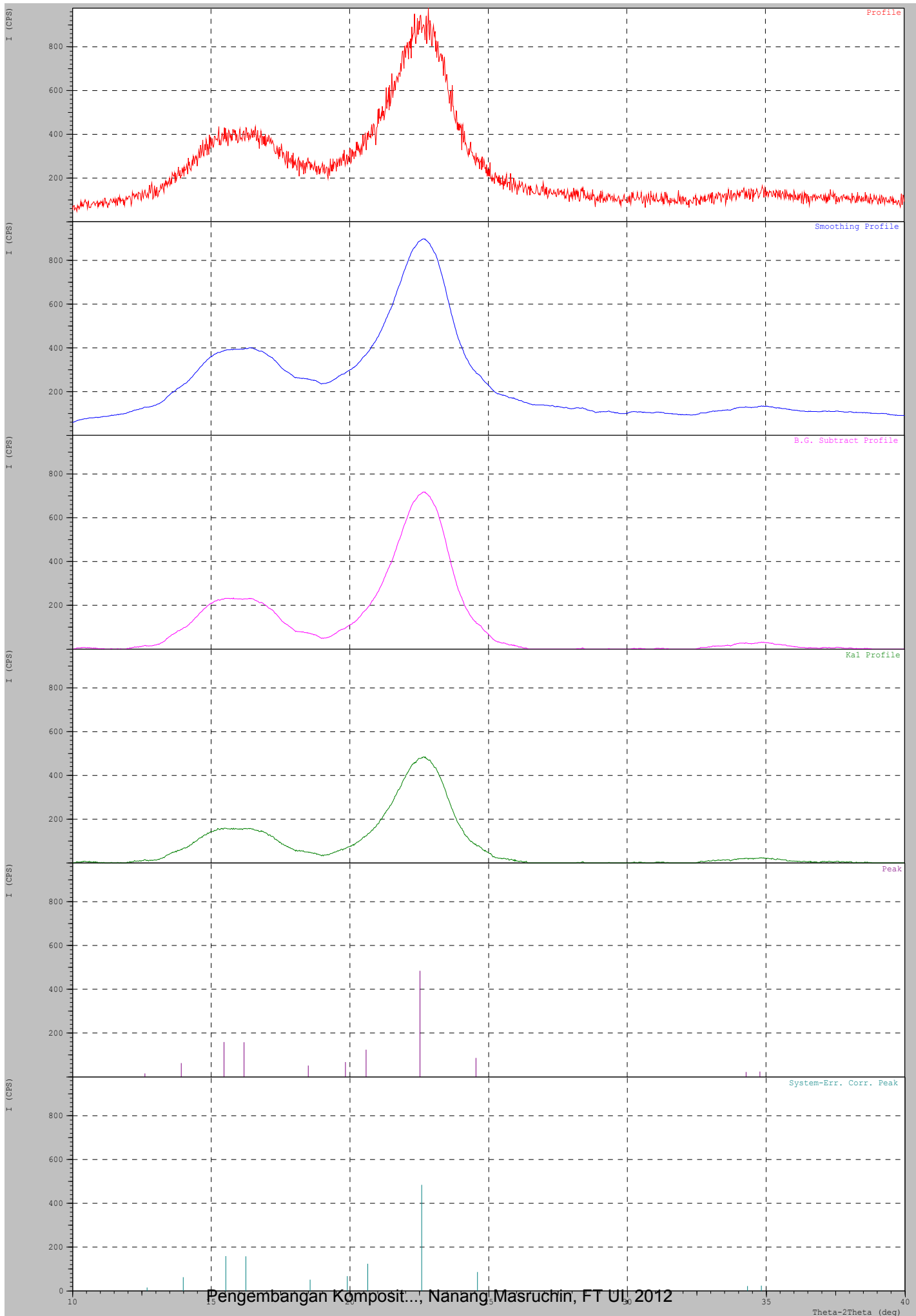
Smoothing [AUTO]
smoothing points : 51

B.G.Subtruction [AUTO]
sampling points : 51
repeat times : 30

Ka1-a2 Separate [MANUAL]
Ka1 a2 ratio : 50 (%)

Peak Search [AUTO]
differential points : 51
FWHM threhold : 0.050 (deg)
intensity threhold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2

System error Correction [YES]
Precise peak Correction [NO]



Basic Process : XRD_SISAL PULP_Masruchin

Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	8	22.4489	3.95730	100	1.90330	248	22965
2	4	16.2415	5.45307	30	2.04000	75	5825
3	3	15.3235	5.77763	30	2.42000	74	6097

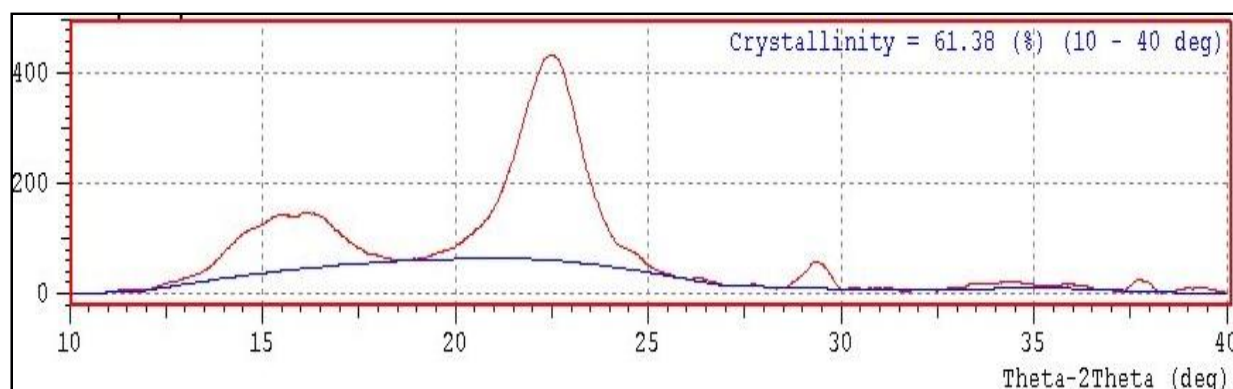
Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	12.6117	7.01320	3	0.56000	8	253
2	13.0301	6.78893	4	0.64000	11	386
3	15.3235	5.77763	30	2.42000	74	6097
4	16.2415	5.45307	30	2.04000	75	5825
5	18.1783	4.87621	7	0.00000	17	0
6	19.5965	4.52640	9	0.00000	22	0
7	20.4552	4.33828	17	1.56000	41	4142
8	22.4489	3.95730	100	1.90330	248	22965
9	24.8661	3.57782	8	0.50000	21	1187
10	29.3797	3.03762	13	0.66000	31	1189
11	34.1349	2.62456	3	1.64000	8	863
12	37.7820	2.37917	4	0.46000	11	278

#Result

Calculation Range : 10.0 - 40.1 (deg)
 crystallinity : 61.3825 (%)
 K parameter : 1.0000
 crystal I_{cr} : 2.0187 (kcps*deg)
 amorphous I_a : 1.2700 (kcps*deg)

$$\text{Crystallinity Index (\%Xc), } I_{cr} = \frac{I_{\text{crystalline}}}{I_{\text{crystalline}} + I_{\text{amorphous}}} \times 100\%$$



*** Basic Data Process ***

Data Information

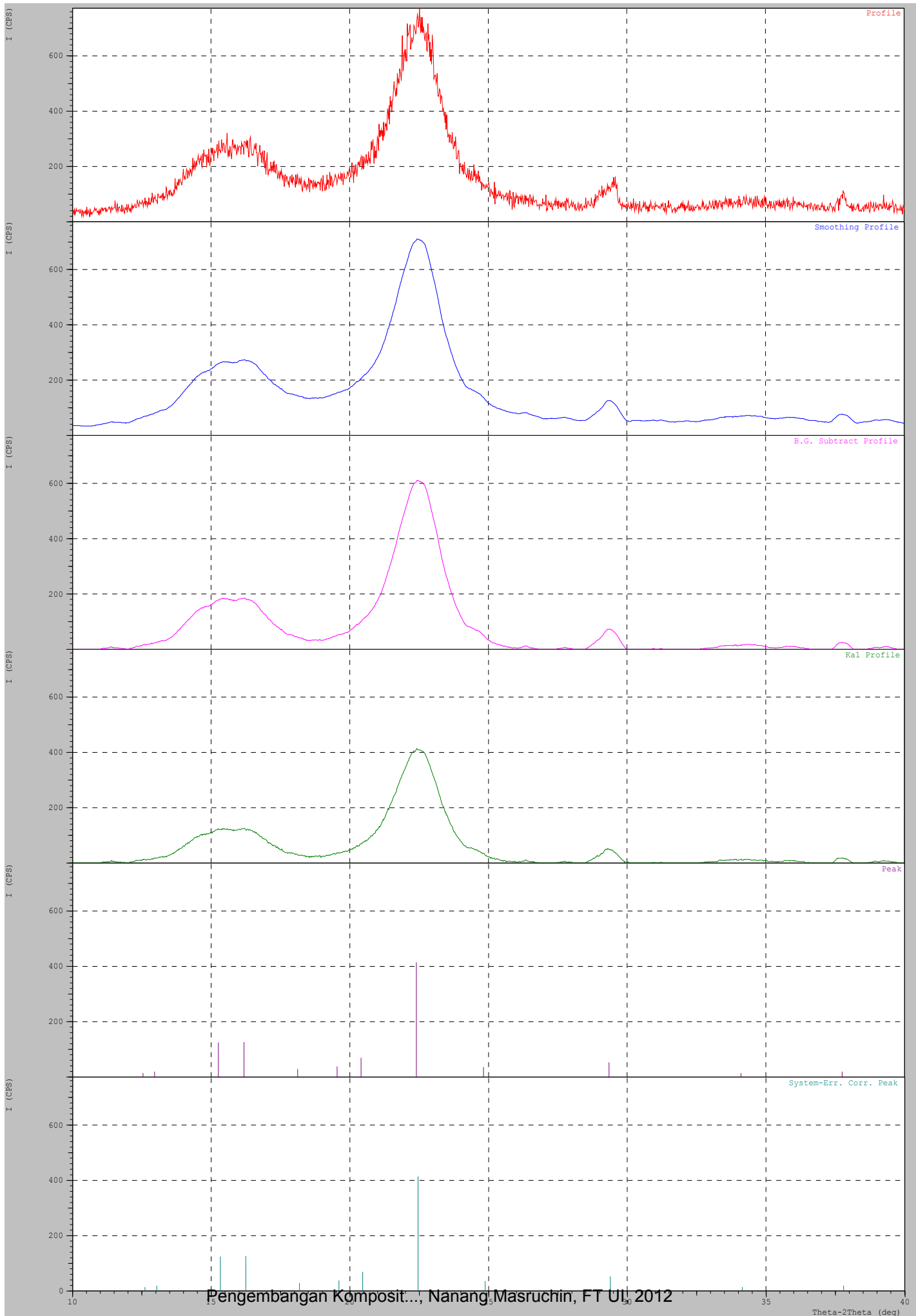
Group : DiAS_Std_04_2012
Data : SisalPulp_Masrukin
Sample Name : SisalPulp_Masrukin
Comment : Lembaran_SisalPulp
Date & Time : 04-20-12 08:43:09

Measurement Condition

X-ray tube
target : Cu
voltage : 40.0 (kV)
current : 30.0 (mA)
Slits
Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)
Scanning
drive axis : Theta-2Theta
scan range : 10.0000 - 40.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

Data Process Condition

Smoothing [AUTO]
smoothing points : 51
B.G.Subtraction [AUTO]
sampling points : 51
repeat times : 30
Kal-a2 Separate [MANUAL]
Kal a2 ratio : 50 (%)
Peak Search [AUTO]
differential points : 51
FWHM threshold : 0.050 (deg)
intensity threshold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2
System error Correction [YES]
Precise peak Correction [NO]



Basic Process : XRD_COCONUT CHOPPED_Masruchin

Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11	22.1712	4.00623	100	2.48000	132	14719
2	10	20.7544	4.27641	53	0.00000	70	0
3	9	20.2557	4.38056	40	1.60000	53	4178

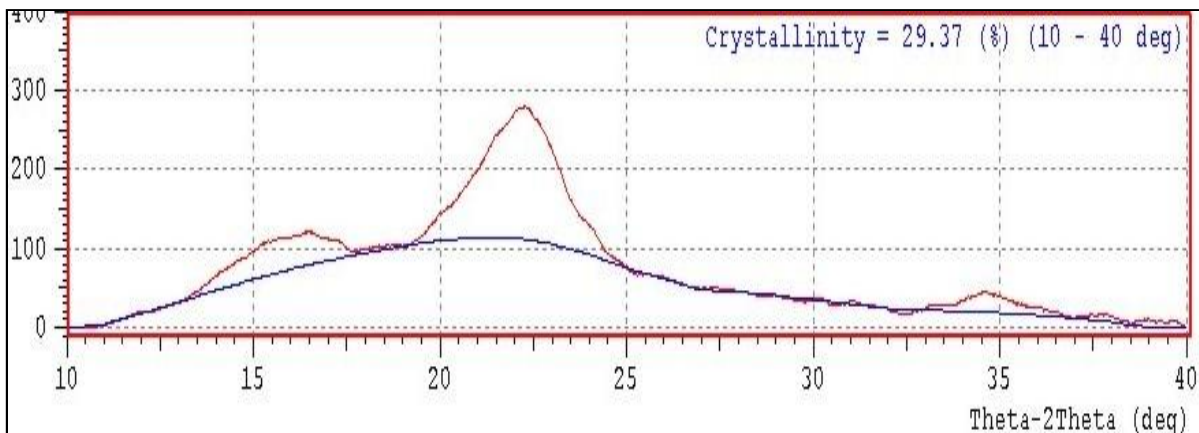
Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	11.9345	7.40958	4	0.16000	5	118
2	13.3291	6.63730	7	0.40000	9	320
3	14.6452	6.04366	23	1.48000	31	3037
4	15.7226	5.63186	33	0.00000	43	0
5	16.5409	5.35504	34	0.00000	45	0
6	17.1798	5.15730	24	0.00000	32	0
7	18.1583	4.88153	17	0.00000	23	0
8	18.5777	4.77227	18	0.00000	24	0
9	20.2557	4.38056	40	1.60000	53	4178
10	20.7544	4.27641	53	0.00000	70	0
11	22.1712	4.00623	100	2.48000	132	14719
12	24.1473	3.68267	27	0.80000	35	1781
13	24.8062	3.58632	9	0.00000	12	0
14	25.8844	3.43933	3	0.00000	4	0
15	31.0878	2.87450	3	0.28000	4	103
16	33.2357	2.69348	5	0.44000	7	253
17	34.6844	2.58422	14	1.18000	19	1480
18	37.7121	2.38342	4	0.16000	5	127

#Result

Calculation Range : 10.0 - 40.1 (deg)
 crystallinity : 29.3676 (%)
 K parameter : 1.0000
 crystal I_{cr} : 1.0381 (kcps*deg)
 amorphous I_a : 2.4967 (kcps*deg)

$$\text{Crystallinity Index (\%Xc), } I_{cr} = \frac{I_{\text{crystalline}}}{I_{\text{crystalline}} + I_{\text{amorphous}}} \times 100\%$$



*** Basic Data Process ***

Data Information

Group : DiAS_Std_04_2012
Data : KelapaBulK_Masrukin
Sample Name : KelapaBulK_Masrukin
Comment : Serbuk_KelapaBulK
Date & Time : 04-20-12 08:18:43

Measurement Condition

X-ray tube
target : Cu
voltage : 40.0 (kV)
current : 30.0 (mA)

Slits
Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)

Scanning
drive axis : Theta-2Theta
scan range : 10.0000 - 40.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

Data Process Condition

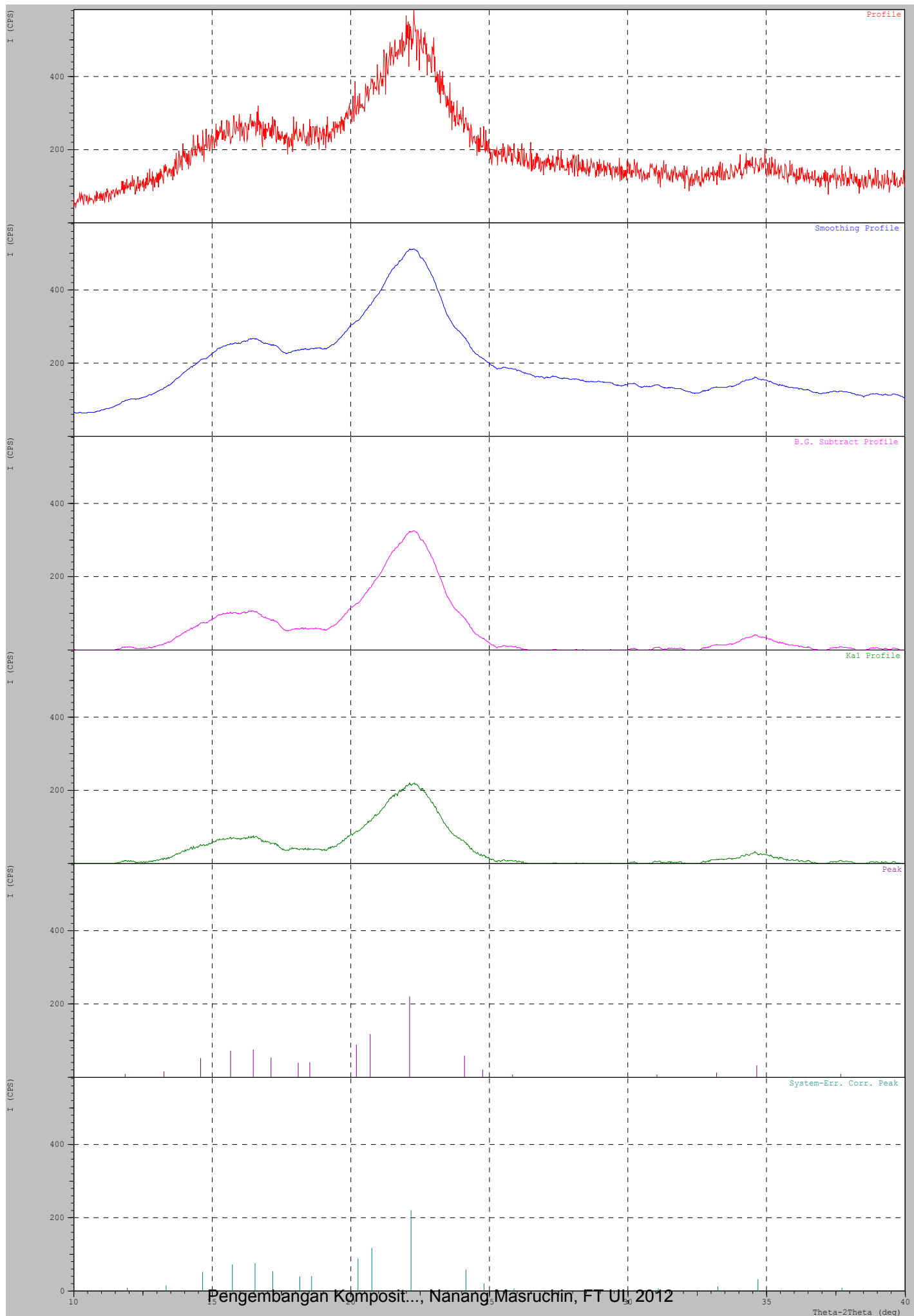
Smoothing [AUTO]
smoothing points : 51

B.G.Subtraction [AUTO]
sampling points : 51
repeat times : 30

Ka1-a2 Separate [MANUAL]
Ka1 a2 ratio : 50 (%)

Peak Search [AUTO]
differential points : 51
FWHM threshold : 0.050 (deg)
intensity threshold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2

System error Correction [YES]
Precise peak Correction [NO]



Basic Process : XRD_COCONUT PULP_Masruchin

Strongest 3 peaks

no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	11	22.7666	3.90279	100	1.67330	70	5831
2	8	16.5809	5.34221	26	1.56000	18	1263
3	7	15.3634	5.76271	20	1.00000	14	705

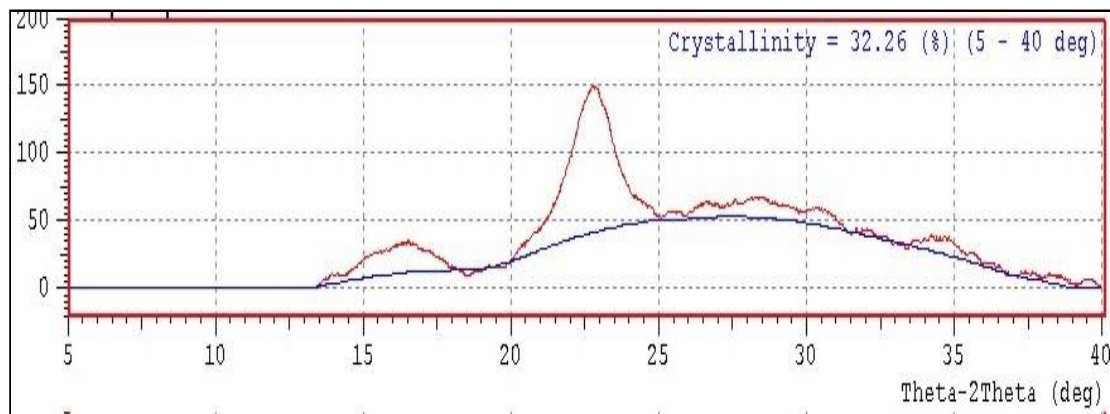
Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	7.6666	11.52216	4	0.04000	3	23
2	8.3588	10.56948	3	0.12000	2	38
3	10.6212	8.32264	3	0.08000	2	17
4	11.5364	7.66436	3	0.12000	2	35
5	12.7113	6.95847	3	0.04000	2	12
6	14.0967	6.27756	11	0.50000	8	267
7	15.3634	5.76271	20	1.00000	14	705
8	16.5809	5.34221	26	1.56000	18	1263
9	17.8787	4.95724	6	0.00000	4	0
10	20.9939	4.22816	16	0.60000	11	570
11	22.7666	3.90279	100	1.67330	70	5831
12	24.5666	3.62076	14	0.64000	10	548
13	25.5050	3.48963	10	0.72000	7	260
14	26.6433	3.34306	14	0.92000	10	399
15	27.5820	3.23138	14	0.96000	10	394
16	28.5807	3.12070	20	1.00000	14	543
17	29.3597	3.03964	13	0.56000	9	241
18	30.3386	2.94376	13	1.12000	9	555
19	31.9469	2.79914	6	0.10000	4	49
20	34.5845	2.59146	11	0.38000	8	361
21	35.6237	2.51821	6	0.22000	4	68

#Result

Calculation Range : 5.0 - 40.1 (deg)
 crystallinity : 32.2633 (%)
 K parameter : 1.0000
 crystal I_{cr} : 0.5930 (kcps*deg)
 amorphous I_a : 1.2450 (kcps*deg)

$$\text{Crystallinity Index (\%Xc), } I_{cr} = \frac{I_{\text{crystalline}}}{I_{\text{crystalline}} + I_{\text{amorphous}}} \times 100\%$$



*** Basic Data Process ***

Data Information

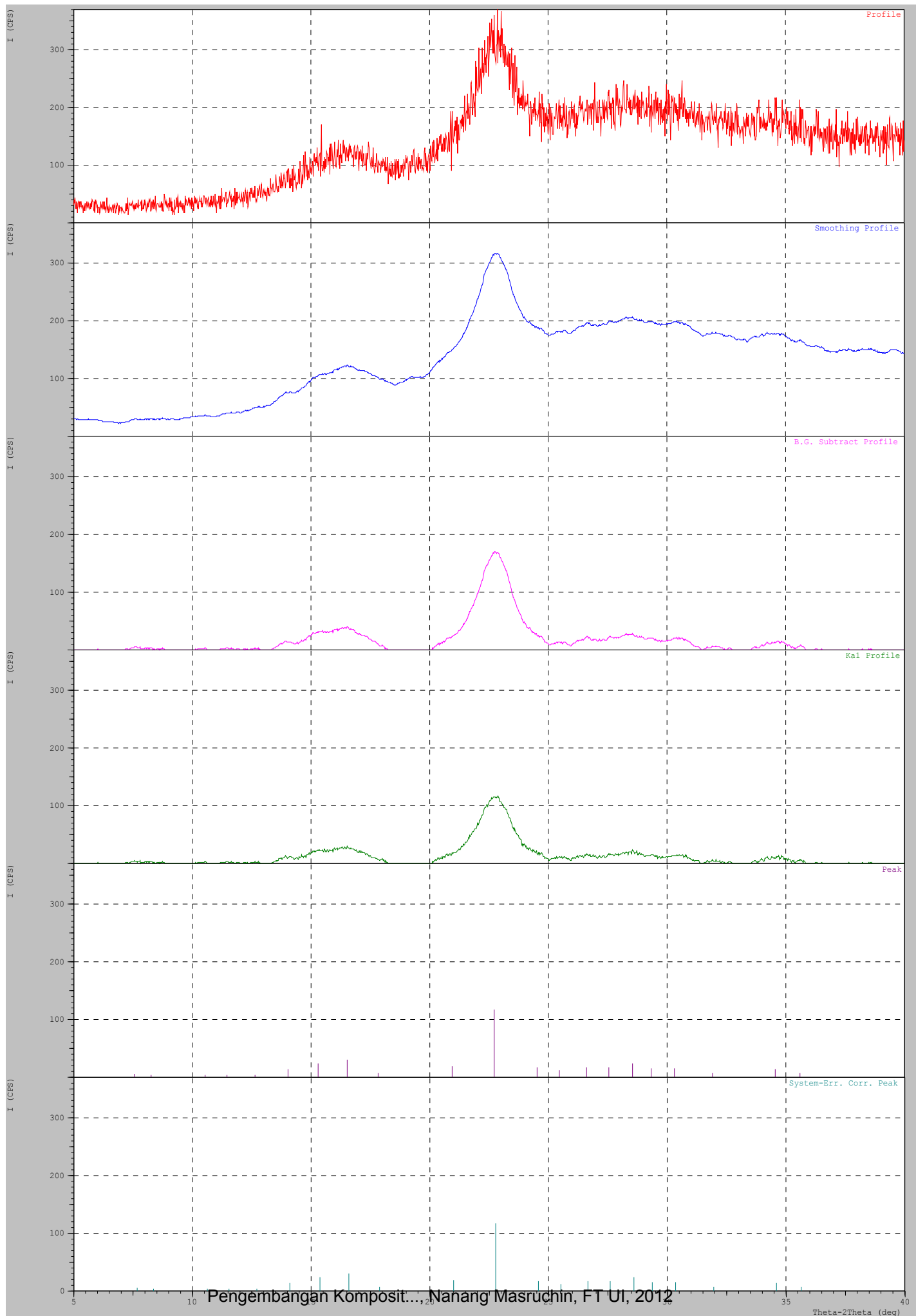
Group : DiAS_Std_08_2011
Data : Kelapa_Nanang
Sample Name : Kelapa_Nanang
Comment : Kelapa_Nanang
Date & Time : 08-22-11 11:15:04

Measurement Condition

X-ray tube
target : Cu
voltage : 40.0 (kV)
current : 30.0 (mA)
Slits
Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)
Scanning
drive axis : Theta-2Theta
scan range : 5.0000 - 40.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

Data Process Condition

Smoothing [AUTO]
smoothing points : 51
B.G.Subtraction [AUTO]
sampling points : 51
repeat times : 30
Kal-a2 Separate [MANUAL]
Kal a2 ratio : 50 (%)
Peak Search [AUTO]
differential points : 51
FWHM threshold : 0.050 (deg)
intensity threshold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2
System error Correction [YES]
Precise peak Correction [NO]



Basic Process : XRD_Komposit SChOE_Masruchin

Strongest 3 peaks

no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	3	16.7983	5.27356	100	0.62760	453	12471
2	7	21.7920	4.07508	71	1.98860	322	25190
3	1	14.0577	6.29489	55	0.70690	251	10828

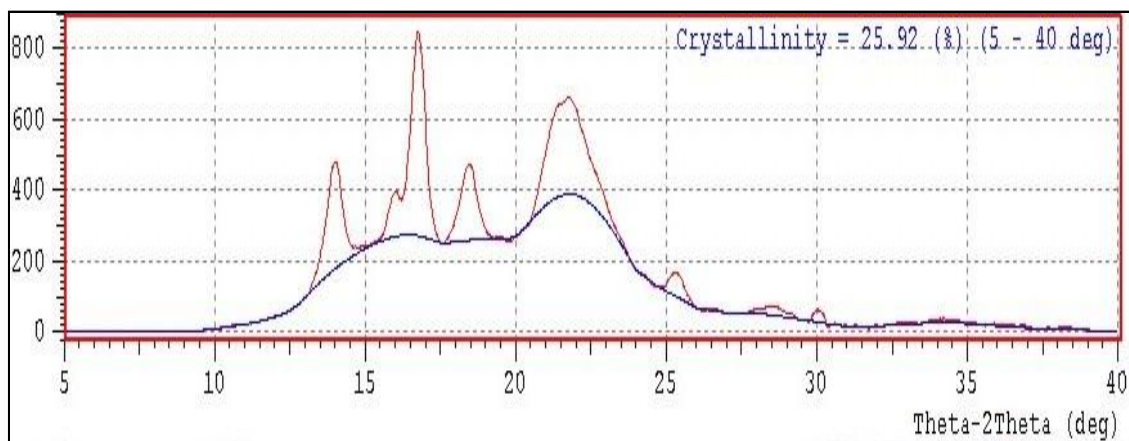
Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	14.0577	6.29489	55	0.70690	251	10828
2	16.1018	5.50007	37	1.28000	167	11083
3	16.7983	5.27356	100	0.62760	453	12471
4	18.4839	4.79627	44	0.90800	199	11274
5	19.5366	4.54014	15	0.00000	69	0
6	20.1958	4.39341	17	0.00000	76	0
7	21.7920	4.07508	71	1.98860	322	25190
8	22.8298	3.89213	40	1.34660	179	7560
9	23.5285	3.77811	19	0.86000	86	3552
10	24.3070	3.65884	7	0.00000	32	0
11	25.3378	3.51227	12	0.61500	53	2441
12	28.5457	3.12444	5	0.93000	22	1185
13	30.0589	2.97051	6	0.40000	25	606

#Result

Calculation Range : 5.0 - 40.1 (deg)
 crystallinity : 25.9212 (%)
 K parameter : 1.0000
 crystal Icr : 2.1345 (kcps*deg)
 amorphous Ia : 6.1002 (kcps*deg)

$$\text{Crystallinity Index (\%Xc), } I_{cr} = \frac{I_{\text{crystalline}}}{I_{\text{crystalline}} + I_{\text{amorphous}}} \times 100\%$$



*** Basic Data Process ***

Data Infomation

Group : DiAS_Std_06_2012
Data : SC_Nanang
Sample Nmae : SC_Nanang
Comment : Komposit_coklat
Date & Time : 06-19-12 14:42:50

Measurement Condition

X-ray tube

target : Cu
voltage : 40.0 (kV)
current : 30.0 (mA)

Slits

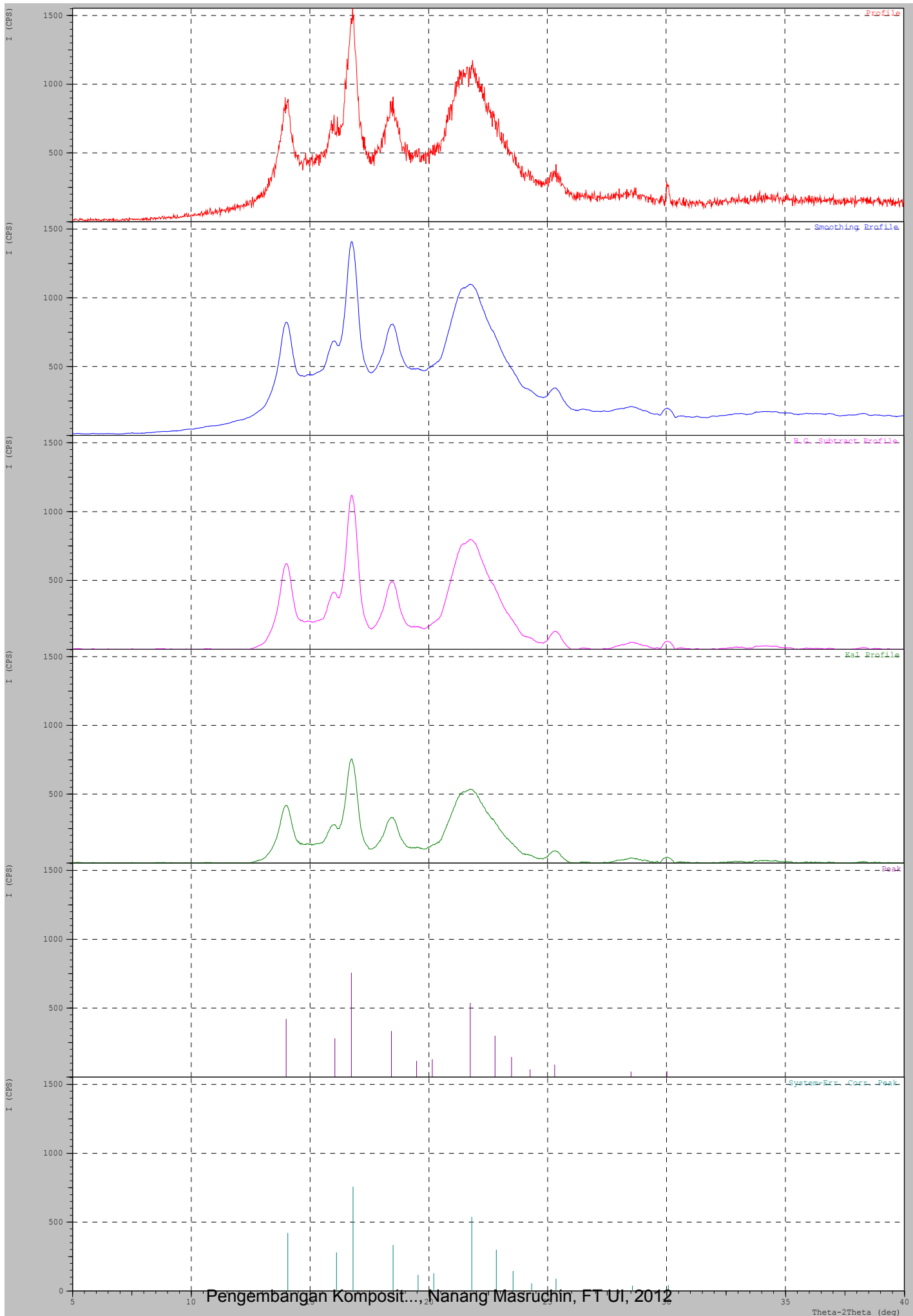
Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)

Scanning

drive axis : Theta-2Theta
scan range : 5.0000 - 40.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

Data Process Condition

Smoothing [AUTO]
smoothing points : 35
B.G.Subtruction [AUTO]
sampling points : 41
repeat times : 30
Kal1-a2 Separate [MANUAL]
Kal a2 ratio : 50 (%)
Peak Search [AUTO]
differential points : 33
FWHM threhold : 0.050 (deg)
intensity threhold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2
System error Correction [YES]
Precise peak Correction [NO]



Basic Process : XRD_Komposit SCHOE_Masruchin

Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	3	16.8371	5.26149	100	0.56810	566	16734
2	1	14.0649	6.29168	68	0.59370	387	14294
3	6	21.8319	4.06772	66	1.72000	373	17017

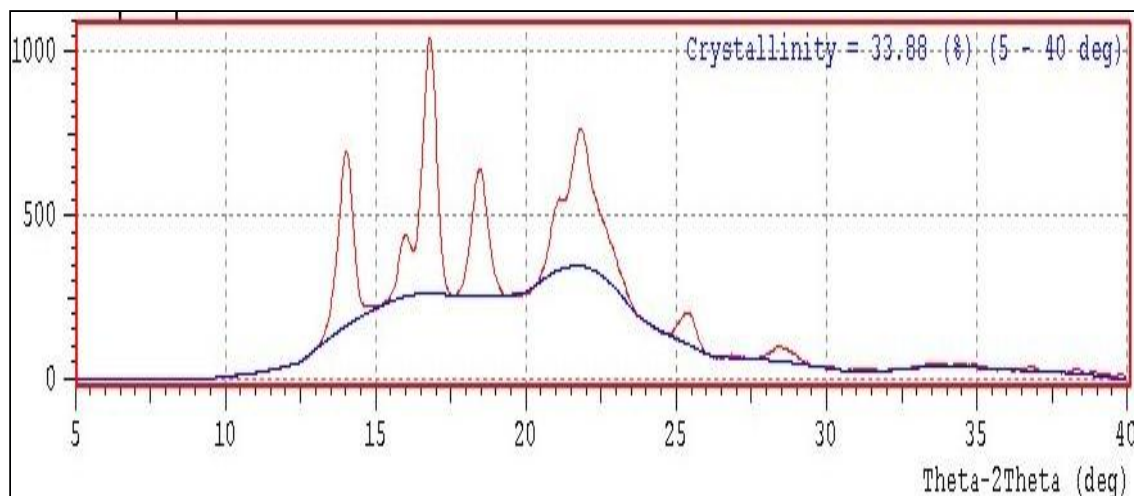
Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	14.0649	6.29168	68	0.59370	387	14294
2	16.0419	5.52047	33	0.67500	185	8387
3	16.8371	5.26149	100	0.56810	566	16734
4	18.5058	4.79065	51	0.68000	291	12433
5	21.2133	4.18492	42	0.99200	235	10737
6	21.8319	4.06772	66	1.72000	373	17017
7	22.9895	3.86545	25	0.86400	140	6752
8	23.9277	3.71597	6	0.00000	33	0
9	24.2871	3.66179	3	0.00000	18	0
10	25.3719	3.50763	12	0.69330	67	2730
11	28.5857	3.12016	5	0.93000	30	1451

#Result

Calculation Range : 5.0 - 40.1 (deg)
 crystallinity : 33.8795 (%)
 K parameter : 1.0000
 crystal I_{cr} : 3.0513 (kcps*deg)
 amorphous I_a : 5.9551 (kcps*deg)

$$\text{Crystallinity Index (\%X}_c\text{), } I_{cr} = \frac{I_{\text{crystalline}}}{I_{\text{crystalline}} + I_{\text{amorphous}}} \times 100\%$$



*** Basic Data Process ***

Data Information

Group : DiAS_Std_06_2012
Data : SHE_Nanang
Sample Name : SHE_Nanang
Comment : Komposit_coklat
Date & Time : 06-19-12 15:06:48

Measurement Condition

X-ray tube

target : Cu
voltage : 40.0 (kV)
current : 30.0 (mA)

Slits

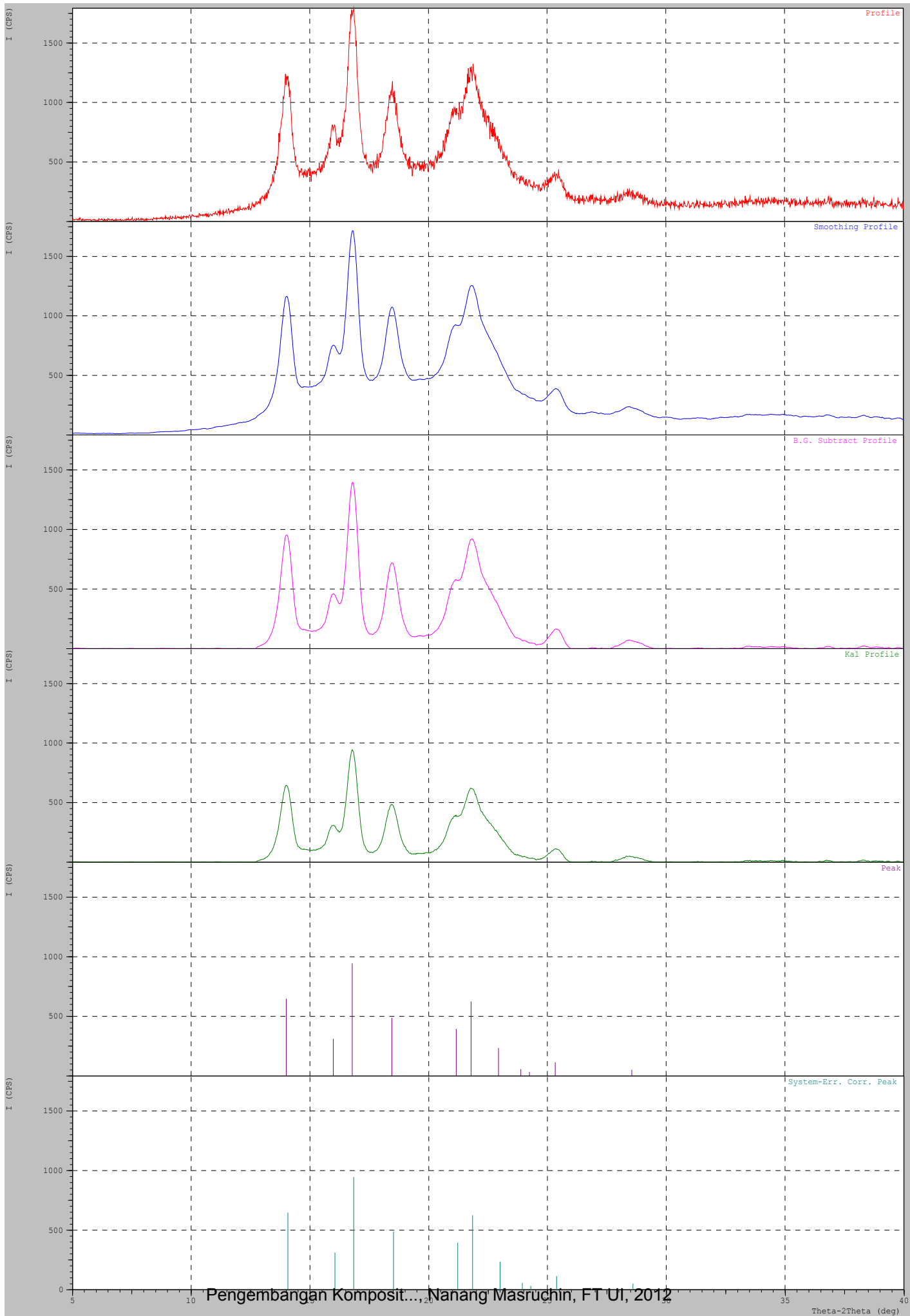
Auto Slit : not Used
divergence slit : 1.00000 (deg)
scatter slit : 1.00000 (deg)
receiving slit : 0.30000 (mm)

Scanning

drive axis : Theta-2Theta
scan range : 5.0000 - 40.0000 (deg)
scan mode : Continuous Scan
scan speed : 2.0000 (deg/min)
sampling pitch : 0.0200 (deg)
preset time : 0.60 (sec)

Data Process Condition

Smoothing [AUTO]
smoothing points : 33
B.G.Subtraction [AUTO]
sampling points : 35
repeat times : 30
Kal-a2 Separate [MANUAL]
Kal a2 ratio : 50 (%)
Peak Search [AUTO]
differential points : 31
FWHM threshold : 0.050 (deg)
intensity threshold : 30 (par mil)
FWHM ratio (n-1)/n : 2
System error Correction [YES]
Precise peak Correction [NO]



Perhitungan Densitas Sampel

1. Menghitung densitas alkohol (ethanol 96%)

Berat picnometer kosong = 27.5279 g

Berat picnometer 25ml + alkohol = 47.1543 g

Berat alkohol = 19.6264 g

$$\text{Densitas alkohol} = \frac{\text{berat}}{\text{volume}} = \frac{19.6264 \text{ g}}{25 \text{ ml}} = 0.7851 \text{ g/ml}$$

2. Menghitung densitas sampel

Kode Sampel	Berat Picno 25 ml (g)	Berat Picno+Sampel (g)	Berat Sampel (g)	Berat Picno+Sampel + Etanol (g)	Berat Etanol (g)	Volume Etanol (ml)	Densitas Sampel (g/ml)
PPHo	27.5279	33.6067	6.0788	38.9589	5.3522	6.8176	0.892
PPCo	27.5279	32.6183	5.0904	37.1849	4.5666	5.8169	0.875
SCHo	27.5279	34.0537	6.5258	39.4570	5.4033	6.8827	0.948
SPHo	27.5279	32.6048	5.0769	36.6789	4.0741	5.1896	0.978
CCHo	27.5279	32.5467	5.0188	36.7927	4.2460	5.4085	0.928
CPHo	27.5279	34.3952	6.8673	40.1291	5.7339	7.3038	0.940
SCCo	27.5279	32.7167	5.1888	37.0326	4.3159	5.4976	0.944
SCHoE	27.5279	33.7016	6.1737	38.7924	5.0908	6.4846	0.952

Hasil Uji Izod Impact

NO	MATERIAL	HASIL TEST (Joule/m)			Rata rata (Joule/m)	Stdev
		Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3		
1	PPHo	20.94	17.42	18.52	18.96	1.80
2	PPCo	61.15	56.24	52.91	56.77	4.15
3	SCHo	69.62	67.09	63.29	66.67	3.19
4	SPHo	28.85	28.94	27.33	28.37	0.90
5	CCHo	35.71	35.71	32.47	34.63	1.87
6	CPHo	23.96	25.48	25.48	24.97	0.88
7	SCCo	64.00	67.42	63.80	65.07	2.03
8	SCHoE	55.37	55.46	55.56	55.46	0.09
9	PPHo 70	18.45	17.99	18.32	18.25	0.24
10	PPHo 100	14.47	12.52	13.94	13.64	1.01
11	PPHo 130	9.06	10.89	10.89	10.28	1.06
12	SPHo 70	29.13	28.94	29.13	29.07	0.11
13	SPHo 100	25.85	22.73	24.23	24.27	1.56
14	SPHo 130	27.51	27.51	22.29	25.77	3.01
15	SCHoE 70	51.86	51.78	48.54	50.73	1.89
16	SCHoE 100	51.78	51.78	53.48	52.35	0.98
17	SCHoE 130	61,49	61.69	63.00	62.06	0.93