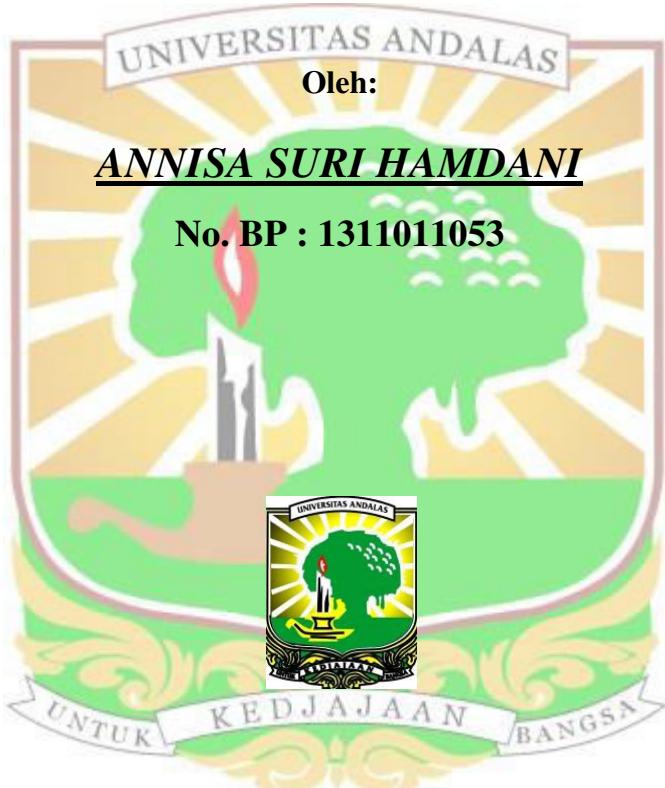


**PENGARUH KONSENTRASI ENZIM
DAN WAKTU HIDROLISIS TERHADAP
RENDEMEN MIKROKRISTALIN
SELULOSA DARI JERAMI PADI**

SKRIPSI SARJANA FARMASI



FAKULTAS FARMASI

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

2018

PERNYATAAN ORISINILITAS DAN PENYERAHAN HAK CIPTA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Annisa Suri Hamdani
No. BP	:	1311011053
Judul Skripsi	:	Pengaruh Konsentrasi Enzim dan Waktu Hidrolisis terhadap Rendemen Mikrokristalin Selulosa dari Jerami Padi

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi yang saya tulis merupakan hasil karya saya sendiri, terhindar dari unsur plagiarisme, dan data beserta seluruh isi skripsi tersebut adalah benar adanya.
2. Saya menyerahkan hak cipta dari skripsi tersebut kepada Fakultas Farmasi Universitas Andalas untuk dapat dimanfaatkan dalam kepentingan akademis

Padang, 25 Januari 2018



Annisa Suri Hamdani

**Skripsi ini diajukan sebagai syarat untuk menempuh
ujian Sarjana Farmasi pada Fakultas Farmasi
Universitas Andalas**

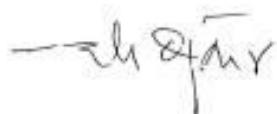
Diseiujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Muslian Suardi, M.Si, Apt

Pembimbing II



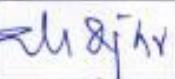
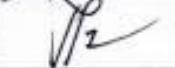
Prof. Dr. Akmal Djamaan, M.S, Apt

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Farmasi

Fakultas Farmasi Universitas Andalas

Padang

Pada Tanggal: 25 Januari 2018

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan
1	Dr. Muslim Suardi, M.Si, Apt	Ketua	
2	Prof. Dr. Akmal Djamaan, M.S, Apt	Anggota	
3	Deni Noviza, S.Farm, M.Si, Apt	Anggota	
4	Prof. Dr. Hj. Dian Handayani, Apt	Anggota	
5	Prof. Dr. Helmi Arifin, M.S, Apt	Anggota	

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirabbil'alamin segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Hidrolisis terhadap Rendemen Mikrokristalin Selulosa dari Jerami Padi**". Skripsi ini disusun dalam rangka penyelesaian studi Strata 1 untuk memperoleh gelar Sarjana Farmasi (S.Farm) pada Universitas Andalas.

Terima kasih secara khusus penulis persembahkan kepada Bapak Dr. Muslim Suardi, M.Si, Apt selaku pembimbing akademik dan pembimbing I, dan Bapak Prof. Dr. Akmal Djamaan, M.S, Apt selaku pembimbing II, yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikirannya untuk mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian dan penulisan skripsi ini

Rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua, Hamdani dan Nazifah, serta H. Marwan Kadim (Alm.) dan Hj. Ramaidag, Uda M. Iqbal Latif Hamdani serta seluruh keluarga besar.
2. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Farmasi Universitas Andalas.

3. Sahabat, saudara, dan teman-teman (Berti, Ipit, Kak Fitri, Bg Taufiq, Kak Sri, Kak Ade) yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Teman-teman di Laboratorium Bioteknologi (Kak Mita, Kak Rindu, Bg Dani, Rara, Kak Fet, Dira, Tiak, Winta, Gita, Nita, Anggita, Dhena, Dina, Putra, Bg Ramdani, Kak Rahma, Bg Rizal, Bg Iwan, Kak Selvi, Bg Hadi) atas segala dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman SKYPIEA 2013 atas segala dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Semua pihak yang telah membantu penulis selama pendidikan, penelitian dan penulisan skripsi ini.

Semoga budi baik yang telah diberikan mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Padang, Januari 2018

Penulis

**PENGARUH KONSENTRASI ENZIM DAN WAKTU HIDROLISIS
TERHADAP RENDEMEN MIKROKRISTALIN SELULOSA DARI
JERAMI PADI**

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis terhadap rendemen mikrokristalin selulosa, dan untuk mengetahui apakah hasil pemeriksaan mikrokristalin selulosa memenuhi persyaratan *British Pharmacopoeia* dan *United States Pharmacopoeia*. Proses *pretreatment* dilakukan secara kimia menggunakan alkohol 96%, natrium hidroksida, dan hidrogen peroksida. Proses hidrolisis dilakukan secara enzimatis menggunakan enzim selulase yang dihasilkan oleh fungi *Trichoderma viride*, dengan variasi konsentrasi enzim masing-masing 5, 10, dan 15 % v/v selama waktu masing-masing 0,5, 1, dan 1,5 jam. Rendemen mikrokristalin selulosa paling tinggi dihasilkan dari proses hidrolisis dengan konsentrasi enzim selulase 5 % v/v selama 1,5 jam. Berdasarkan uji ANOVA dua arah, diketahui bahwa konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis tidak berpengaruh signifikan terhadap rendemen mikrokristalin selulosa. Pemeriksaan terhadap organoleptis, identifikasi, pH, kelarutan dalam air, susut pengeringan, dan uji ketiadaan pati menunjukkan bahwa mikrokristalin selulosa yang dihasilkan memenuhi persyaratan *British Pharmacopoeia* dan *United States Pharmacopoeia*.

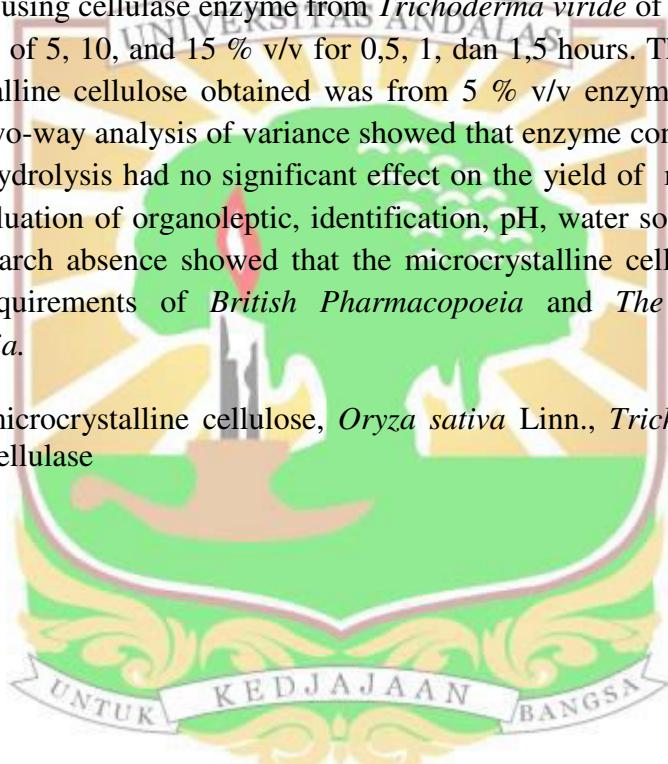
Kata kunci: mikrokristalin selulosa, *Oryza sativa* Linn., hidrolisis, *Trichoderma viride*, selulase

EFFECT OF ENZYME CONCENTRATIONS AND DURATIONS OF HYDROLYSIS ON THE YIELD OF MICROCRYSTALLINE CELLULOSE FROM RICE STRAW

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the effect of enzyme concentration and durations of hydrolysis on the yield of microcrystalline cellulose from rice straw, and to determine whether the microcrystalline cellulose produced fulfill the requirements of *British Pharmacopoeia* and *The United States Pharmacopoeia*. Pretreatment was conducted chemically using alcohol 96%, sodium hydroxide, and hydrogen peroxide. Hydrolysis was conducted enzymatically using cellulase enzyme from *Trichoderma viride* of various enzyme concentrations of 5, 10, and 15 % v/v for 0,5, 1, dan 1,5 hours. The highest yield of microcrystalline cellulose obtained was from 5 % v/v enzyme for 1,5 hours hydrolysis. Two-way analysis of variance showed that enzyme concentrations and durations of hydrolysis had no significant effect on the yield of microcrystalline cellulose. Evaluation of organoleptic, identification, pH, water solubility, loss on drying, and starch absence showed that the microcrystalline cellulose produced fulfill the requirements of *British Pharmacopoeia* and *The United States Pharmacopoeia*.

Keywords: microcrystalline cellulose, *Oryza sativa* Linn., *Trichoderma viride*, cellulase



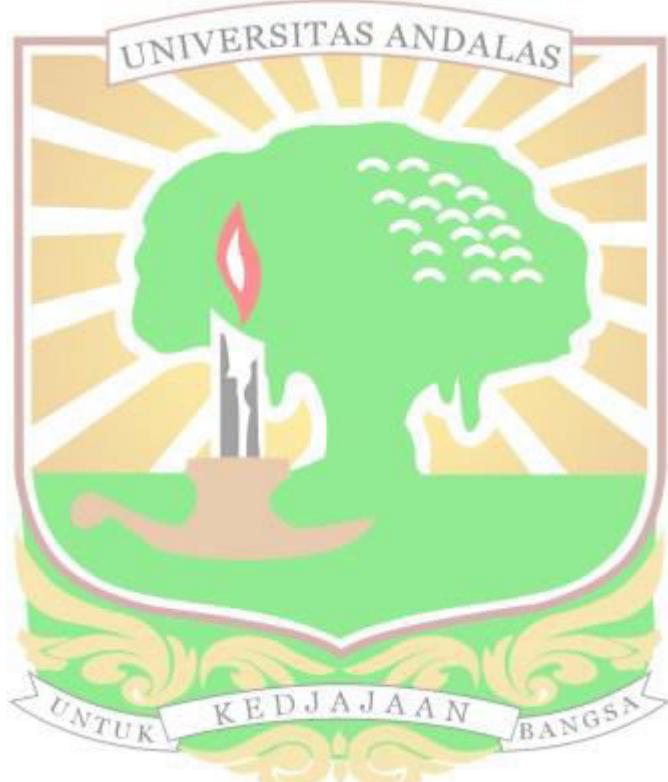
DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINILITAS DAN PENYERAHAN HAK CIPTA	ii
PENGESAHAN	iii
PERTAHANAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Botani Tanaman Padi	4
2.1.1 Klasifikasi Tanaman Padi	4
2.1.2 Morfologi Tanaman Padi.....	4
2.2 Jerami Padi	5
2.2.1 Komposisi Kimia Jerami Padi	5
2.3 Selulosa.....	6
2.3.1 Struktur Molekul Selulosa.....	6
2.3.2 Jenis Selulosa.....	7
2.3.3 Kelarutan Selulosa.....	9
2.4 Lignin	10
2.5 Hemiselulosa	10
2.6 Fungi <i>Trichoderma viride</i>	11
2.7 Enzim Selulase	12
2.8 Mikrokristalin Selulosa	15
2.9 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	17
2.10 <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD)	18
2.11 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	20
2.12 Spektrofotometer UV-Vis	21
III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.2.1 Alat	23
3.2.2 Bahan	23
3.3 Prosedur Penelitian	24
3.3.1 Sterilisasi Alat.....	24

3.3.2	Produksi Enzim Selulase	24
3.3.3	Pengujian Aktvititas Enzim Selulase	26
3.3.4	Pembuatan Mikrokristalin Selulosa.....	27
3.3.5	Pengujian Mikrokristalin Selulosa.....	29
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32	
4.1	Hasil.....	32
4.1.1	Enzim Selulase.....	32
4.1.2	Produksi α -selulosa.....	32
4.1.3	Rendemen Mikrokristalin Selulosa.....	32
4.1.4	Hasil Pemeriksaan Mikrokristalin Selulosa.....	32
4.1.5	Data Pengujian Morfologi Permukaan Menggunakan Mikroskop Optik dan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	33
4.1.6	Data pengujian <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>	33
4.1.7	Data Pengujian Indeks Kristal Menggunakan <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD)	33
4.2	Pembahasan	34
V KESIMPULAN DAN SARAN.....	41	
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42	
LAMPIRAN.....	47	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi kimia bagian-bagian jerami padi	5
Tabel 2. Karakteristik mikrokristalin selulosa	17
Tabel 3. Konsentrasi dan absorban larutan standar glukosa-DNS	46
Tabel 4. Hasil pemeriksaan rendemen α -selulosa dari jerami padi.....	47
Tabel 5. Hasil pemeriksaan rendemen mikrokristalin selulosa.....	48
Tabel 6. Hasil pemeriksaan mikrokristalin selulosa dari jerami padi	49
Tabel 7. Hasil uji ANOVA dua arah antara konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis terhadap rendemen mikrokristalin selulosa	57

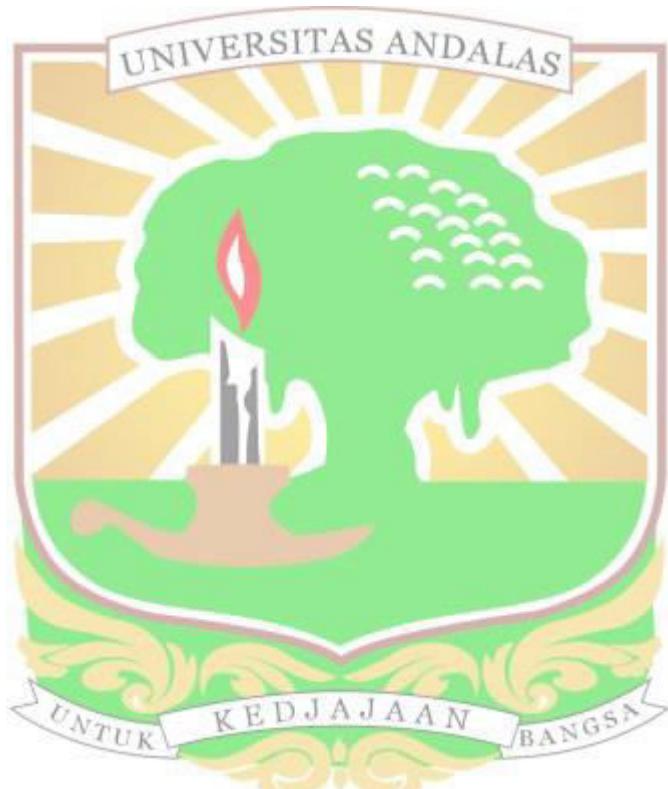


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur kimia selulosa.....	6
Gambar 2.	Struktur firbriler selulosa dalam dinding sel	7
Gambar 3.	Rumus struktur α -selulosa.....	8
Gambar 4.	Rumus struktur β -selulosa.....	8
Gambar 5.	Skema tahap-tahap pemecahan selulosa	14
Gambar 6.	Struktur kimia mikrokristalin selulosa	15
Gambar 7.	Skema difraktometer sinar-X	19
Gambar 8.	Unsur-unsur spektrofotometer UV-Vis.....	21
Gambar 9.	Reaksi reduksi glukosa dengan asam dinitrosalisilat	35
Gambar 10.	Panjang gelombang serapan maksimum larutan glukosa-DNS	47
Gambar 11.	Kurva kalibrasi larutan standar glukosa-DNS.....	48
Gambar 12.	Struktur morfologi α -selulosa menggunakan SEM pada perbesaran 750 x	52
Gambar 13.	Struktur morfologi MCC 5 menggunakan SEM pada perbesaran 1000 x.....	52
Gambar 14.	Struktur morfologi Avicel PH 101 menggunakan SEM pada perbesaran 1000 x	52
Gambar 15.	Spektrum <i>overlay</i> IR mikrokristalin selulosa dari jerami padi	53
Gambar 16.	Spektrum <i>overlay</i> IR MCC 5 (a), Avicel PH 102 (b) dan mikrokristalin selulosa referensi (Haque, <i>et al.</i> , 2015) (c).....	54
Gambar 17.	Spektrum <i>overlay</i> XRD α -selulosa (a), MCC (b), dan Avicel PH 101 (Kulkarni <i>et al.</i> , 2012) (c)	55
Gambar 18.	Hasil identifikasi <i>Oryza sativa L.</i>	61
Gambar 19.	Fungi <i>Trichoderma viride</i> dalam media agar miring	62
Gambar 20.	Medium produksi enzim selulase setelah 5 hari inkubasi.....	62
Gambar 21.	Hasil sentrifugasi enzim selulase	63
Gambar 22.	Larutan standar glukosa-DNS pada berbagai konsentrasi setelah pemanasan	63
Gambar 23.	Mikrokristalin selulosa sebelum (a) dan setelah sentrifugasi (b)....	64
Gambar 24.	Serbuk jerami padi (a), α -selulosa (b), MCC (c), dan Avicel PH 102 (d)	64
Gambar 25.	Foto mikroskopik serbuk jerami padi pada perbesaran 40 x	65
Gambar 26.	Foto mikroskopik mikrokristalin selulosa pada perbesaran 40 x.....	65
Gambar 27.	Alat XRD (PANanalytical [®] : XPertPRO).....	66
Gambar 28.	Alat FTIR (PerkinElmer [®])	66
Gambar 29.	Alat <i>Rotary Shaker Incubator</i> (K MODEL [®] : VRN-200)	67
Gambar 30.	Alat sentrifus (KENKO [®] : 800-1CENTRIFUGE)	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian	47
Lampiran 2. Perhitungan.....	56
Lampiran 3. Analisis Data Statistik	57
Lampiran 4. Skema Kerja Penelitian dan Gambar Penelitian.....	58



BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Mikrokristalin selulosa atau *microcrystalline cellulose* banyak digunakan pada industri farmasi, kosmetik, makanan, dan industri lainnya. Pada pencetakan tablet dengan metoda kompresi langsung, mikrokristalin selulosa digunakan sebagai pengikat kering, tablet desintegran, absorben, pengisi, pelumas, dan antiadherent. Mikrokristalin selulosa telah digunakan secara luas sebagai bahan tambahan pada kompresi langsung karena sifat alir, kompatibilitas, dan kompresibilitas yang baik (Ngozi, *et al.*, 2014; Haque, *et al.*, 2015).

Kebutuhan *microcrystalline cellulose* (MCC) dalam negeri semuanya berasal dari impor. Sangat relevan bila negara kita mulai memikirkan produksi mikrokristalin selulosa dalam negeri (Halim, *et al.*, 2002). Harga MCC komersil yang mahal juga menjadi alasan untuk menemukan sumber penghasil mikrokristalin selulosa yang lebih murah yaitu dari limbah pertanian.

Bahan limbah yang dapat diolah menjadi mikrokristalin selulosa diantaranya adalah: jerami padi, ampas tebu, kulit jagung, serbuk penggergajian, tongkol jagung, koran bekas dan bahan lain yang mengandung selulosa (Haque, *et al.*, 2015). Pada penelitian ini limbah jerami padi digunakan karena menurut survei, selama ini sebagian besar jerami padi dibuang, hanya 4% yang dimanfaatkan untuk pakan ternak (Halim, *et al.*, 2002).

Jerami padi adalah salah satu bahan yang tersedia berlimpah, murah, dan merupakan bahan selulosa terbarukan di dunia. Kandungan senyawa dalam jerami padi terdiri dari 32-47% selulosa, 19-27% hemiselulosa dan 5-24% lignin (Wang, *et al.*, 2015).

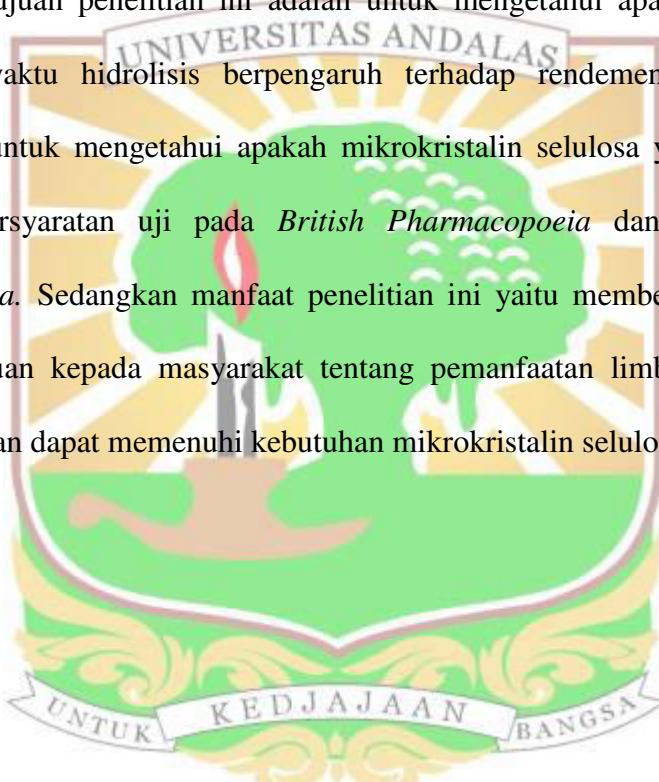
Pemanfaatan limbah padi di Indonesia sudah banyak dilakukan, terutama di bidang pertanian, seperti dedak padi untuk makanan ternak, sekam padi untuk alas kandang ayam, dan jerami padi untuk makanan ternak atau media penanaman jamur. Pemanfaatan untuk bidang industri masih terbatas, padahal beberapa sifat yang ada dalam limbah tersebut, baik sifat fisik, maupun kimia dapat dikembangkan lebih lanjut untuk bidang industri. Komposisi kimia padi menunjukkan bahwa kandungan selulosanya cukup tinggi yaitu sekitar 40% (Halim, *et al.*, 2002).

Hidrolisis selulosa dapat dilakukan secara kimiawi dan enzimatis. Hidrolisis secara kimiawi dapat dilakukan dengan menggunakan asam, yaitu asam kuat konsentrasi rendah maupun asam lemah konsentrasi tinggi (Oktavianus, 2013). Hidrolisis asam memerlukan energi aktivasi tinggi dan menghasilkan limbah yang terdiri dari asam, basa, dan senyawa organik yang tidak ramah lingkungan (Suryadi, *et al.*, 2017). Hidrolisis secara enzimatis dilakukan dengan menggunakan enzim selulase. Selulase mengkatalis hidrolisis selulosa dengan tiga tipe yaitu: *endoglucanase*, *cellobiohydrolase*, dan β -*glucosidase* (Li, *et al.*, 2009). Harga enzim selulase yang tinggi akibat proses dan bahan baku murni yang mahal membuat peneliti mencari cara lain untuk memproduksinya. Enzim selulase dapat diproduksi oleh fungi dan bakteri, diantaranya: *Trichoderma viride* (Li, *et*

al., 2009), *Aspergillus niger* (Kalyani, *et al.*, 2015), *Acetobacter cylindrum* (Kulkarni, *et al*, 2012), dan lain – lain.

Pada penelitian ini, mikroba penghasil enzim selulase yang digunakan yaitu fungi *Trichoderma viride*. Fungi ini kaya akan aktivitas endoselulase yang selektif menghilangkan bagian amorf selulosa, sehingga potensial untuk menghidrolisis selulosa menjadi mikrokristalin selulosa (Braunstein, *et al.*, 1994).

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis berpengaruh terhadap rendemen mikrokristalin selulosa dan untuk mengetahui apakah mikrokristalin selulosa yang didapatkan memenuhi persyaratan uji pada *British Pharmacopoeia* dan *United States Pharmacopoeia*. Sedangkan manfaat penelitian ini yaitu memberikan informasi dan pengetahuan kepada masyarakat tentang pemanfaatan limbah jerami padi yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan mikrokristalin selulosa dalam negeri.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Botani Tanaman Padi

2.1.1 Klasifikasi tanaman padi

Divisio : Spermatophyta

Sub Divisio : Angiospermae

Kelas : Monocotyledoneae

Genus : Oryza

Ordo : Poales/Glumiflorae

Famili : Graminae/Poaceae

Species : *Oryza sativa* Linn.

(Tjitrosoepomo, 1989)

2.1.2 Morfologi Tanaman Padi

Padi adalah tanaman rumput-rumputan yang berumpun kuat, tinggi 80-

130 cm, termasuk golongan tanaman semusim atau tanaman muda yaitu tanaman

yang biasanya berumur pendek, kira-kira empat sampai lima bulan dan hanya satu

kali bereproduksi dan akan mati atau dimatikan. Batang berbuku-buku, pada

setiap bukunya terdapat satu daun yang secara keseluruhan tersusun dalam dua

baris.

Helaian daun berbentuk garis panjang 15-80 cm, kebanyakan dengan tepi kasar. Pelepasan daun yang sebelah bawah menutupi pelepasan daun yang di atasnya dan seterusnya sehingga terbentuklah batang semu yang menyelimuti buku-bukunya. Bunga majemuk diujung batang berbentuk malai dengan spikelet

biseksual berjumlah 50-500. Panjang malai 15-40 cm, tumbuh ke atas dengan ujung yang menggantung (Aak, 1990).

2.2 Jerami Padi

Jerami padi adalah bagian batang padi yang dibuang setelah dipanen dengan sedikit bulir-bulir buah dan tangkainya tanpa akar dan bagian yang lainnya. Jerami padi merupakan limbah pertanian yang terdiri dari batang dan daun tanaman yang sudah diambil buahnya. Dari 11,9 juta Ha sawah, dapat menghasilkan jerami padi berkisar antara 54,7-82,05 juta ton. Jerami padi mengandung 38,9-40% selulosa yang merupakan salah satu karbohidrat yang pada umumnya tidak digunakan sebagai bahan pangan (Soenaryo, *et al.*, 1991).

2.2.1 Komposisi Kimia Jerami Padi

Seperti bagian tanaman pada umumnya, komposisi kimia jerami dipengaruhi oleh faktor genetika dan lingkungan. Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi antara lain curah hujan, suhu, kesuburan tanah dan pemupukan (Soenaryo, *et al.*, 1991). Komponen-komponen tanaman padi seperti daun, tangkai dan malai mempunyai komposisi kimia yang cukup bervariasi seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia bagian-bagian jerami padi (Soenaryo, *et al.*, 1991)

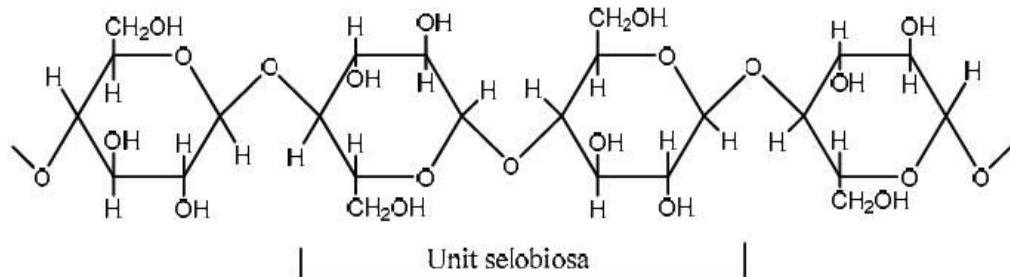
Komposisi kimia (%)	Jerami padi	Helaian daun	Seludang daun	Batang	Ruas	Malai
Protein	5,4±0,92	5,6±0,52	3,9±0,74	3,1±0,84	5,2±1,3	4,5±0,67
Abu	12,1±2,6	11,2±1,5	11,2±1,5	9,6±1,7	10,6±2,3	8,0±4,1
Selulosa	38,9±2,2	27,8±4,3	37,7±5,8	36,9±9,4	30,6±3,7	35,1±5,6

Hemiselulosa	$27,7 \pm 8,1$	$31,7 \pm 3,9$	$27,8 \pm 4,3$	$33,3 \pm 5,8$	$36,9 \pm 9,4$	$30,6 \pm 3,7$
Silika	$7,1 \pm 1,1$	$5,8 \pm 3,0$	$5,7 \pm 3,2$	$2,1 \pm 1,4$	$4,1 \pm 2,4$	$3,6 \pm 1,9$

2.3 Selulosa

2.3.1 Struktur Molekul Selulosa

Selulosa merupakan polisakarida yang tersusun dari molekul glukosa dalam bentuk rantai panjang tidak bercabang yang mirip dengan amilosa. Selulosa tersusun dari 2.000-3.000 glukosa. Rumus molekul selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$. Unit glukosa dalam selulosa terikat pada ikatan β -1,4-ikatan glikosidik. Selulosa tidak dapat larut dalam air disebabkan isomer β tidak membentuk gulungan seperti isomer α , tapi selaras dalam basis paralel oleh ikatan hidrogen di antara kelompok hidroksil pada rantai yang berdekatan. Selulosa memberikan struktur kaku ke dinding sel kayu, dan serat yang lebih tahan terhadap hidrolisis daripada pati. Reaktivitas selulosa tergantung pada strukturnya. Untuk memodifikasi struktur selulosa, kisi ikatan hidrogen harus dihancurkan dengan cara pembengkakan atau pemutusan (Perez, *et al.*, 2002 ; Han & Chen, 2007).



Gambar 1. Struktur kimia selulosa (Fengel & Wegener, 1995).

Di dalam tumbuhan, molekul selulosa tersusun dalam bentuk fibril yang terdiri atas beberapa molekul paralel yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik sehingga sulit diuraikan (Fitriani, 2003). Fibril merupakan kumpulan molekul-molekul selulosa yang mengandung bagian yang teratur dan yang kurang teratur. Selulosa di dalam dinding sel tersusun dalam fibril-fibril (serat) dengan unit dasar 2-4 nm. Unit-unit dasar tersebut berkumpul dalam sistem yang lebih besar dengan diameter 10-30 nm yang disebut dengan mikrofibril (Fengel & Wegener, 1995).



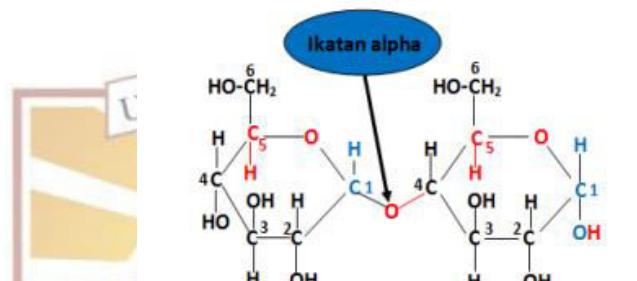
Gambar 2. Struktur fibriler selulosa dalam dinding sel (Klemm, *et al.*, 1998)

2.3.2 Jenis Selulosa

Berdasarkan derajat polimerisasi dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH) 17,5%, selulosa dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu:

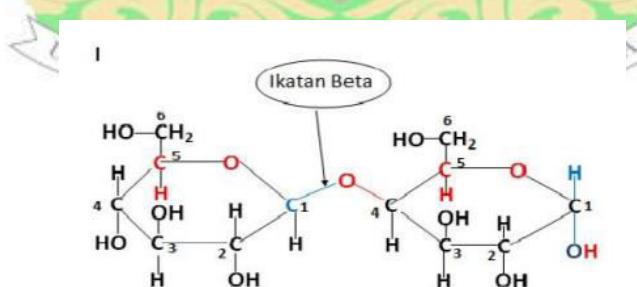
1. Alfa selulosa (α -cellulose) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi 600 - 1500. Alfa selulosa digunakan sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa. Alfa selulosa merupakan selulosa dengan kualitas yang paling tinggi (murni). Alfa selulosa $>$ 92%

memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan propelan dan atau bahan peledak, sedangkan selulosa kualitas dibawahnya digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas dan industri sandang/kain. Semakin tinggi kadar α selulosa, maka semakin baik mutu bahannya (Nuringtyas, 2010).



Gambar 3. Rumus Struktur α -selulosa (Nuringtyas, 2010)

2. Beta-selulosa (β -cellulose) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan derajat polimerisasi 15 - 90, dapat mengendap bila dinetralkan (Nuringtyas, 2010).



Gambar 4. Rumus Struktur β -selulosa (Nuringtyas, 2010)

3. Gamma selulosa (γ -cellulose) sama dengan beta selulosa, tetapi derajat polimerisasinya kurang dari 15.

2.3.3 Kelarutan Selulosa

1. Dalam Larutan Basa

Sebagian selulosa dapat larut dalam larutan NaOH 17,5 % dan sebagian lagi tidak. Bagian selulosa yang tidak larut dalam larutan NaOH 17,5 % disebut α -selulosa, sedangkan bagian yang dapat larut dalam larutan NaOH 17,5 % tapi dapat mengendap dalam larutan yang dinetralkan disebut β -selulosa dan bagian yang tetap larut meskipun dalam larutan yang dinetralkan disebut dengan γ -selulosa (Gascoigne & Gascoigne, 1960; Stamp, 1964).

2. Dalam Larutan Asam dan Garam

Selulosa dapat larut dalam asam-asam pekat seperti asam fosfat 85 %, asam sulfat 72 % dan asam klorida 40 %, tapi dalam pelarutan dalam asam ini mengakibatkan pemecahan rantai selulosa secara hidrolik. Selulosa dapat mengembang dan larut sebagian dalam larutan garam seperti seng klorida 72 % (Gascoigne & Gascoigne, 1960; Stamp, 1964).

3. Dalam Larutan Senyawa Kompleks

Beberapa kompleks logam dapat molarutkan selulosa sehingga dapat digunakan untuk penentuan bobot molekul dan derajat polimerisasi, seperti kompleks tembaga, kompleks cadmium dan kompleks natrium besi tatrat. Proses pelarutan selulosa dimulai dengan degradasi struktur serat dan fibril dan menghasilkan desintegrasi yang sempurna menjadi molekul-molekul individu dengan panjang rantai yang tidak berubah. Degradasi struktur terjadi dengan pembengkakan dan penyisipan gugus kimia yang

akan memecah ikatan-ikatan intramolekul dan melapisi molekul-molekul selulosa (Gascoigne & Gascoigne, 1960; Stamp, 1964).

2.4 Lignin

Lignin adalah polimer dari unit fenilpropan yang memberikan hidrofobisitas dan kekakuan struktural pada dinding sel tumbuhan. Pada biomassa lignoselulosa, lignin berikatan kuat dengan selulosa dan hemiselulosa secara kimia dan fisika. Kandungan lignin bervariasi dari 2 sampai 40% dan memberi kekuatan pada biomassa lignoselulosa dan membentuk perisai pada karbohidrat yang membuatnya susah untuk dihidrolisis (Saini, *et al.*, 2016).

Struktur dasar lignin terdiri dari bagian aromatik dan rantai C3. Lignin terdiri dari 4-hydroxyphenyl, guaiacyl, dan syringyl yang terhubung dengan atom karbon dalam gugus fenilpropanoid. Ketiga komponen struktural konjugat lignin ini menghasilkan polimer lignin tidak beraturan tetapi tiga dimensi yang heterogen secara fisik dan kimiawi. Struktur lignin sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan selama biosintesis. Berbagai kombinasi struktur rantai samping dan monolignol meningkatkan keanekaragaman struktur lignin. Hampir semua lignin punya ikatan dengan karbohidrat, terkadang membentuk kompleks lignin-karbohidrat, terutama setelah perlakuan awal (*pretreatment*) (Saini, *et al.*, 2016).

2.5 Hemiselulosa

Rantai hemiselulosa lebih pendek dibandingkan dengan rantai selulosa karena derajat polimerisasinya yang lebih rendah. Polimer hemiselulosa berbentuk tidak lurus namun merupakan polimer – polimer bercabang dan strukturnya tidak

berbentuk kristal. Hal ini menyebabkan hemiselulosa lebih mudah dimasuki pelarut dan bereaksi dengan larutan dibandingkan dengan selulosa selama pembuatan pulp. Kadar hemiselulosa pada pulp jauh lebih kecil dibandingkan dengan serat asal, karena selama proses pemasakan hemiselulosa bereaksi dengan pelarut dan lebih mudah terlarut dari pada selulosa.

Hemiselulosa tersusun dari berbagai jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon lima (pentosa), gula berkarbon enam (heksosa), asam heksuronat dan deoksi heksosa. Hemiselulosa akan mengalami reaksi oksidasi dan degradasi terlebih dahulu daripada selulosa, karena rantai molekulnya yang lebih pendek dan bercabang. Hemiselulosa tidak larut dalam air tapi larut dalam alkali encer dan lebih mudah dihidrolisa oleh asam daripada selulosa. Hemiselulosa berfungsi sebagai perekat dan memerlukan pembentukan serat. Hilangnya hemiselulosa akan mengakibatkan adanya lubang antar fibril dan berkurangnya ikatan antar serat.

2.6 Fungi *Trichoderma viride*

Trichoderma spp. merupakan salah satu jenis kapang yang mampu menghasilkan enzim ekstraseluler. *Trichoderma* spp. dapat tumbuh dalam berbagai kondisi dengan kisaran suhu 7 – 41°C dan dapat tumbuh optimal.

Klasifikasi *T.viride*

Divisi : Ascomycota

Kelas : Ascomycetes

Ordo : Hypocreales
Famili : Hypocreaceae
Genus : Trichoderma
Spesies : *Trichoderma viride*

T.viride merupakan fungi berfilamen yang mampu hidup sebagai mikroparasit yang mempunyai kemampuan untuk menghasilkan enzim hidrolitik yang dapat memecah senyawa polimer menjadi senyawa sederhana. Enzim selulase merupakan salah satu enzim yang dapat dihasilkan oleh berbagai jenis mikroba, tetapi hanya sedikit yang mampu menghasilkan selulase dalam jumlah yang cukup untuk menghidrolisis seluruh selulosa kristalin seperti *T.viride*. *T.viride* diketahui dapat menghasilkan endoglukonase dan eksoglukonase sampai 80% (Samsuri, *et al.*, 2007). Enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh fungi *T.viride* berfungsi untuk memperoleh makanan dan melawan fungi atau mikroba lain, selain itu juga dapat digunakan untuk berbagai proses industri penting, seperti dalam penyiapan bahan baku untuk bioetanol (Dzurhinina, *et al.*, 2006).

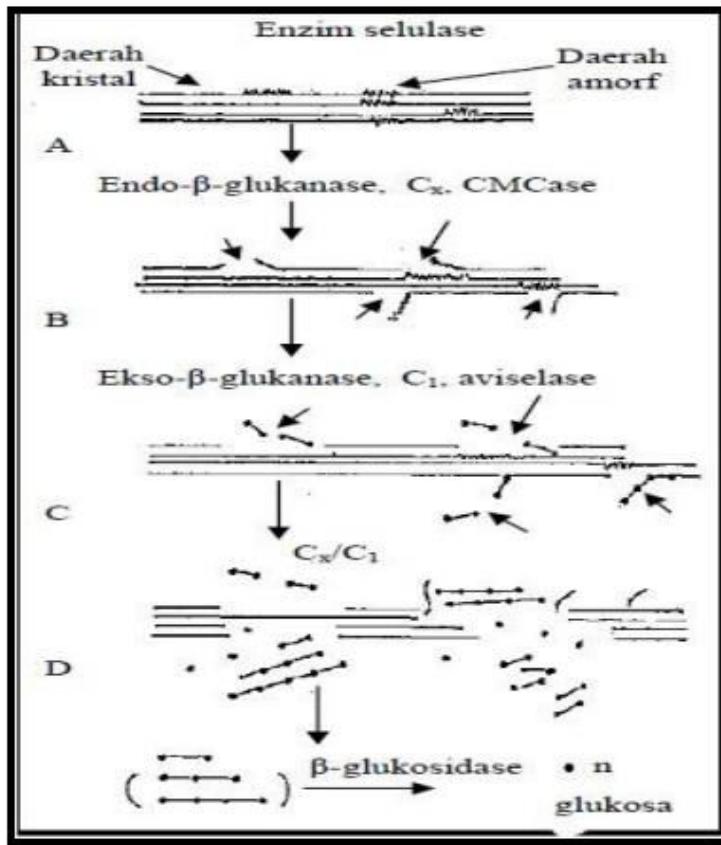
2.7 Enzim Selulase

Enzim adalah katalis biologis/ senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa ikut bereaksi dalam suatu reaksi kimia organik. Seluruh enzim adalah protein. Molekul awal yang disebut substrat akan dipercepat perubahannya menjadi molekul lain yang disebut produk. Jenis produk yang akan dihasilkan bergantung pada suatu kondisi/ zat yang disebut promoter. Enzim bekerja dengan cara bereaksi dengan molekul substrat untuk menghasilkan

senyawa intermediat melalui suatu reaksi kimia organik yang membutuhkan energi aktivasi lebih rendah, sehingga percepatan reaksi kimia terjadi karena reaksi kimia dengan energi aktivasi lebih tinggi membutuhkan waktu lebih lama (Palmer, 1995).

Enzim selulase diklasifikasikan menjadi endoglukanase, eksoglukanase, (selobiohidrolase) dan β glukosidase. Endoglukanase bekerja pada bagian amorf rantai selulosa sehingga menghasilkan oligosakarida dengan panjang yang bervariasi. Endoglukanase bertanggung jawab terhadap pengurangan derajat polimerisasi substrat selulosa. Eksoglukanase (selobiohidrolase) mengurai selulosa dari ujung rantai polisakarida, bekerja sepanjang rantai biopolimer dan menghasilkan selobiosa sebagai produk utama. β glukosidase menghidrolisis selobiosa menjadi glukosa. Pemutusan selobiosa merupakan langkah penting dari proses hidrolisis enzimatis (Andersen, *et al.*, 2007).

Hidrolisis enzimatis selulosa ditentukan oleh substrat selulosa dan enzim. Hidrolisis tidak hanya dipengaruhi oleh substrat padat, tapi juga faktor yang berhubungan dengan enzim, seperti sumber enzim, suhu inaktivasi, aktivitas spesifik, ikatan nonspesifik, dan kompatibilitas enzim (Yang, *et al.*, 2011).

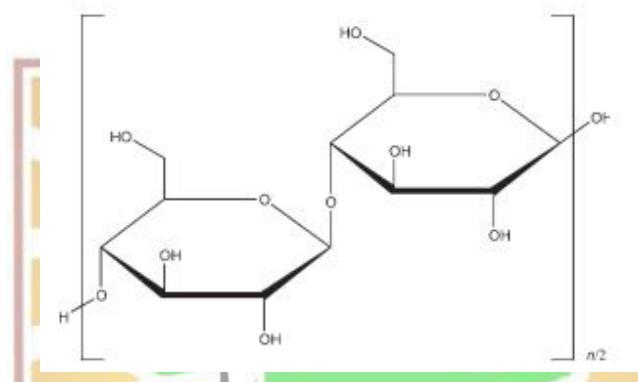


Gambar 5. Skema Tahap - tahap pemecahan selulosa (Nugraha, 2006)

Gambar 5 memperlihatkan tahap-tahap pemecahan selulosa oleh kompleks enzim selulase (endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glukosidase). Tahap pertama, enzim endoglukanase menyerang daerah amorf selulosa secara acak dan membentuk makin banyak ujung-ujung nonpereduksi yang memudahkan kerja eksoglukanase. Enzim eksoglukanase selanjutnya menghidrolisis daerah kristal selulosa dengan membebaskan dua unit glukosa. Kerja sama kedua enzim ini menghasilkan unit-unit sakarida yang lebih kecil yang selanjutnya dihidrolisis oleh β -glukosidae menghasilkan glukosa (Nugraha, 2006).

2.8 Mikrokristalin Selulosa

Mikrokristalin selulosa adalah selulosa yang sebagian besar berbentuk kristal. Mikrokristalin selulosa diperoleh dari α -selulosa dengan cara hidrolisis dalam larutan asam mineral encer pada suhu tinggi kemudian dicuci dengan air sampai bebas asam, dikeringkan dan dihaluskan secara mekanik (Fengel & Wegener, 1995).



Gambar 6. Struktur mikrokristalin selulosa (USP 30, 2007)

Sumber utama MCC adalah kayu, dimana rantai selulosa dikelilingi oleh lapisan lignin dan ikatan hidrogen yang kuat. Sumber lain yang juga potensial yaitu kapas. Jenis kayu berbeda pada komposisi kimia (jumlah selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dan pengaturan strukturnya, seperti bagian yang relatif lebih kristal atau lebih amorf. Daerah amorf cenderung lebih mudah dihidrolisis sehingga depolimerisasi oleh hidrolisis asam menghasilkan fragmen yang lebih pendek dan bersifat kristal (Thoorens, *et al.*, 2014).

Hidrolisis selulosa dapat dilakukan dengan dua metoda yaitu metoda kimiawi dan mikrobiologis enzimatis. Hidrolisis secara kimiawi dilakukan dengan menggunakan asam, yaitu asam kuat konsentrasi tinggi maupun asam lemah konsentrasi tinggi (Oktavianus, 2013). Hidrolisis enzimatis dilakukan dengan

menggunakan enzim selulase. Selulase mengkatalis hidrolisis selulosa dengan tiga tipe yaitu: endoglukanase, eksoglukanase (selobiohidrolase) dan β glukosidase (Li, *et al.*, 2009).

Hidrolisis dengan asam akan menyebabkan putusnya rantai molekul dan terjadi depolimerisasi sebagian, dimana bobot molekul α -selulosa yang mulanya terletak antara 300.000 hingga 500.000 pada mikrokristalin selulosa menjadi 30.000 hingga 50.000 dan derajat polimerisasi α -selulosa sebesar 2000 hingga 3000 akan berubah menjadi 200 hingga 300 pada mikrokristalin selulosa. Pencucian dengan air setelah hidrolisis akan menghilangkan penghancuran selulosa yang larut yang terdiri dari daerah amorf (Martin, *et al.*, 1993). Masa yang tinggal terdiri dari kristalin yang tidak berhubungan lagi dengan ruas rantai daerah amorf. Hidrolisis selulosa dalam larutan asam tidak merusak bagian kristalnya sehingga mikrokristalin selulosa memiliki struktur yang sama dengan selulosa alam (Halim, 1999).

Mikrokristalin selulosa dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan sediaan tablet dan suspensi. Kegunaannya meliputi (Rowe, *et al.*, 2009; Ngozi, *et al.*, 2014):

1. Sebagai bahan pengikat, pengisi, penghancur pada tablet cetak langsung
2. Sebagai desintegran pada tablet
3. Sebagai bahan pengisi
4. Sebagai lubrikan dan anti adheren
5. Sebagai adsorben
6. Sebagai *suspending agent*

Mikrokristalin selulosa stabil meskipun higroskopis dan harus disimpan dalam wadah yang tertutup, kering dan sejuk. Mikrokristalin selulosa dapat diproduksi dengan hidrolisis terkontrol selulosa dari bahan tanaman berserat dengan larutan asam mineral encer. Setelah hidrolisis, hidroselulosa yang diperoleh dimurnikan dengan penyaringan dan dengan metode *spraydried* untuk membentuk partikel berpori kering dengan distribusi ukuran partikel yang luas (Rowe *et al.*, 2009). Berikut merupakan tabel karakteristik mikrokristalin selulosa.

Tabel 2. Karakteristik mikrokristalin selulosa (USP 30, 2007; Thoorens, *et al.*, 2014)

Kelembaban	<7%
Derajat polimerisasi	200-300
Kristalinitas	60-80%
pH	5,0-7,5
Kelarutan dalam air	<0,25%
Kelarutan dalam eter	<0,05%
Ukuran partikel	<1949 μm
Laju alir	1,41 g/d
Titik leleh	260-270°C

2.9 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning electron microscope adalah mikroskop yang menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan, sehingga mampu menghasilkan gambar beresolusi tinggi. Ini berarti pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal. Gambar SEM mempunyai karakteristik

tiga dimensi dan sangat berguna untuk melihat struktur permukaan sampel. Pada dasarnya SEM menggunakan sinyal yang dihasilkan elektron yang dipantulkan atau seberkas elektron sekunder. Prinsip utamanya adalah seberkas elektron diarahkan pada titik permukaan sampel. Gerakan elektron tersebut disebut dengan scanning. Jika seberkas elektron ditembakkan pada permukaan sampel, maka sebagian dari elektron tersebut akan dipantulkan kembali dan sebagian lagi akan diteruskan. Apabila permukaan sampel tidak rata, banyak lekukan, atau berlubang, maka tiap bagian dari permukaan sampel tersebut akan memantulkan elektron dengan jumlah dan arah yang berbeda, dan jika ditangkap detektor akan diteruskan ke sistem layar sehingga diperoleh gambaran yang jelas dari permukaan sampel tersebut dalam bentuk tiga dimensi. Alat ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan menggunakan mikroskop cahaya, namun sampel yang dianalisis harus mempunyai permukaan dengan konduktivitas tinggi, untuk sampel yang memiliki konduktivitas rendah harus dilapisi dengan bahan konduktor yang tipis. Bahan konduktor yang biasa digunakan emas atau campuran emas dengan palladium. SEM sangat diperlukan untuk mengidentifikasi ukuran dan morfologi spesimen mikroskopis (Reimer, 1998).

2.10 X-ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X adalah suatu alat eksperimental yang paling penting dalam penyelidikan struktur kristal zat padat (Young, *et al.*, 2004). Sinar-X adalah suatu bentuk gelombang atau bersifat menyerupai gelombang dan atom-atom di dalam sebuah kristal disusun dalam sebuah pola yang teratur (Beiser, 1986). Sinar-X terjadi apabila berkas elektron bebas berenergi tinggi mengenai atau

menumbuk logam dalam tabung vakum. Apabila sinar-X monokromatis mengenai materi kristal, maka setiap bidang kristal akan memantulkan atau menghamburkan sinar-X ke segala arah. Interferensi terjadi hanya antara sinar-sinar pantul sefase sehingga hanya terdapat sinar-X pantulan tertentu saja. Interferensi saling memperkuat terjadi apabila sinar-X yang sefase mempunyai selisih lintasan kelipatan bulat panjang gelombang (λ). Pernyataan ini dinamakan Hukum Bragg untuk difraksi kristal (Cullity, 1978).

Secara matematis dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

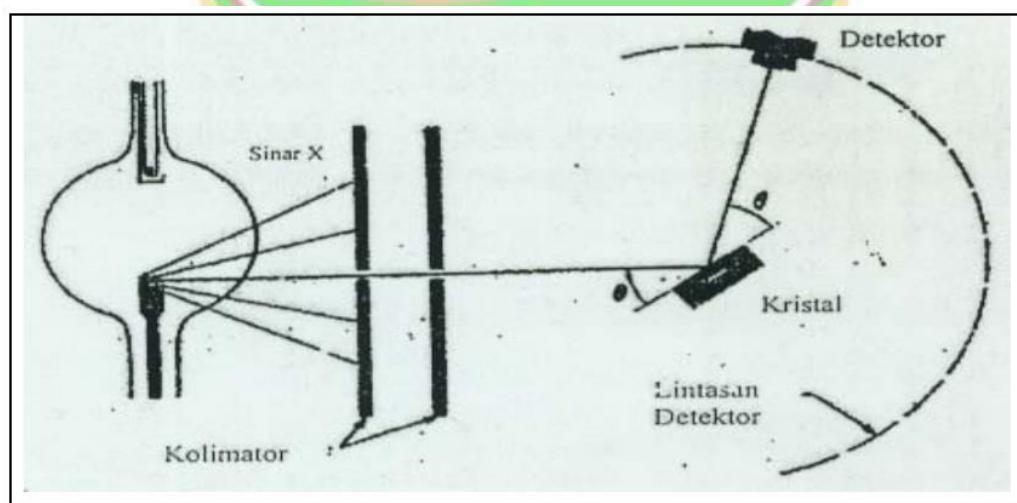
Keterangan : n = bilangan bulat 1,2,3,4...

λ = panjang gelombang

d = jarak antar bidang kisi

θ = sudut difraksi atau sudut pantulan.

Alat difraksi sinar-X disebut juga difraktometer, yang digunakan untuk mendeteksi spektrum difraksi. Skema difraktometer dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema difraktometer sinar-X

Sinar-X yang dihasilkan dari tabung sinar-X mempunyai panjang gelombang λ tertentu. Prinsip kerja alat ini adalah sinar-X ditembakkan pada sampel dan akan mengakibatkan terjadinya hamburan sinar-X. Selanjutnya hamburan sinar-X akan ditangkap oleh detektor *Silicon Lithium* dan dari detektor tersebut akan diperoleh informasi langsung berupa grafik antara sudut hamburan (2θ) dan intensitas (I).

2.11 Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR)

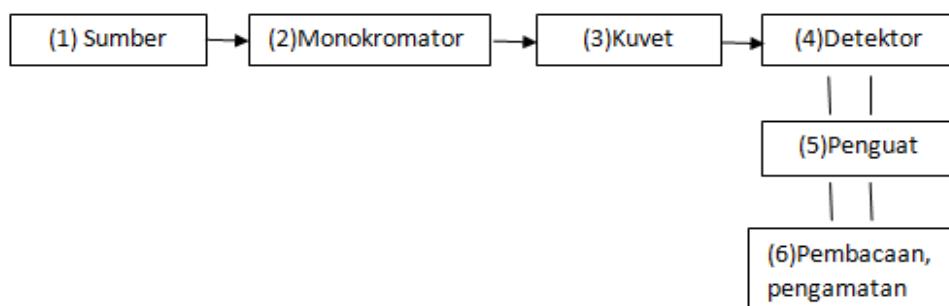
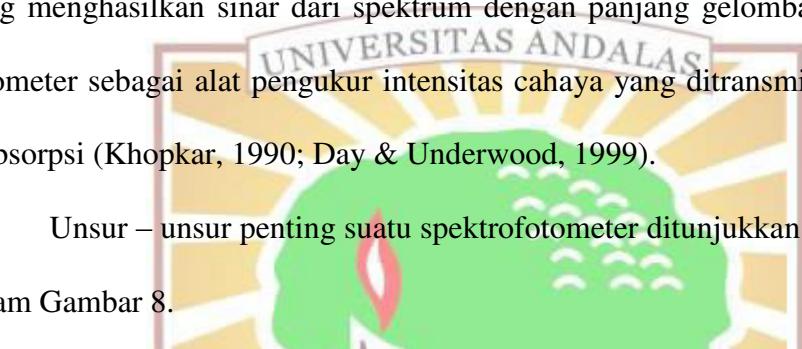
Fourier Transform Infrared spectroscopy merupakan suatu metoda dari spektrofotometer infra merah yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel yang tidak diketahui, menentukan kualitas sampel, dan menentukan jumlah komponen dalam suatu campuran. Peralatan spektrofotometer infra merah asli mempunyai tipe *dispersive*. Alat ini akan memisahkan frekuensi masing-masing energi yang diemisikan dari sumber infra merah. Pemisahan ini dilakukan dengan bantuan prisma atau kisi-kisi. Prisma infra merah bekerja dengan memisahkan cahaya infra merah menjadi frekuensi-frekuensi tertentu, sedangkan kisi merupakan elemen *dispersive* yang memisahkan frekuensi energi infra merah lebih baik. Detektor akan mengukur energi tiap frekuensi yang melewati sampel dan akan menghasilkan spektrum yang merupakan plot antara intensitas dengan frekuensi. Karena analisis membutuhkan spektrum frekuensi yang dapat diidentifikasi, maka dibutuhkan alat untuk menterjemahkan frekuensi tersebut yang didapatkan dari teknik matematika yang disebut dengan *fourier transformation*. Transformasi ini dilakukan oleh komputer yang kemudian akan

mengeluarkan informasi spektrum yang dibutuhkan (Madison, 2001; Troy, *et al.*, 2006).

2.12 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmitan atau serapan suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Alat ini terdiri dari spektrometer yang menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer sebagai alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi (Khopkar, 1990; Day & Underwood, 1999).

Unsur – unsur penting suatu spektrofotometer ditunjukkan secara skematis dalam Gambar 8.

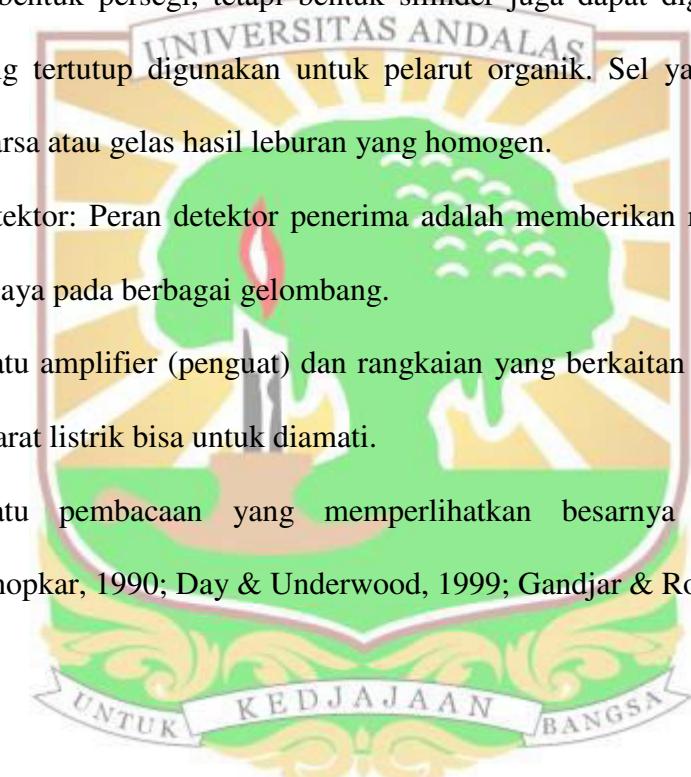


Gambar 8. Unsur-unsur spektrofotometer UV-Vis

Berikut adalah uraian bagian-bagian spektrofotometer:

1. Sumber-sumber lampu: Lampu deuterium digunakan untuk daerah UV pada panjang gelombang 190-350 nm, sementara lampu halogen kuarsa atau lampu tungsten digunakan untuk daerah visibel (pada panjang gelombang 350-900 nm).

2. Monokromator: digunakan untuk memperoleh sumber sinar yang monokromatis. Alatnya dapat berupa prisma ataupun grating.
3. Kuvet: Pada pengukuran di daerah tampak, kuvet kaca atau kuvet kaca corex dapat digunakan, tapi untuk pengukuran pada daerah UV harus menggunakan sel kuarsa karena gelas tidak tembus cahaya pada daerah ini. Umumnya tebal kuvet adalah 10 mm. Sel yang biasa digunakan berbentuk persegi, tetapi bentuk silinder juga dapat digunakan. Kuvet yang tertutup digunakan untuk pelarut organik. Sel yang baik adalah kuarsa atau gelas hasil leburan yang homogen.
4. Detektor: Peran detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai gelombang.
5. Suatu amplifier (penguat) dan rangkaian yang berkaitan dapat membuat isyarat listrik bisa untuk diamati.
6. Suatu pembacaan yang memperlihatkan besarnya isyarat listrik (Khopkar, 1990; Day & Underwood, 1999; Gandjar & Rohman, 2007).



BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari – Oktober 2017 di Laboratorium Biota Sumatera, Laboratorium Kimia Farmasi, Laboratorium Sentral, Laboratorium Teknologi Sediaan Padat Universitas Andalas, Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang, dan Laboratorium Uji Polimer, Pusat Penelitian LIPI, Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan adalah *Scanning Electron Microscope* (JEOL T 330A[®]), *X-ray Diffractometer* (PANalytical XPertPRO[®]), *Fourier Transform Infrared Spectrooscope* (PerkinElmer[®]), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu Pharmaspec 1700[®]), mikroskop optik, *laminar air flow*, timbangan analitik, *hot plate* (CORNING PC-620D[®]), penangas air, sentrifus (KENKO[®]), oven, indikator pH, ayakan *screener*, lampu spiritus, jarum Ose, labu Erlenmeyer, tabung reaksi, batang pengaduk, gelas ukur, beker gelas, pipet tetes, gunting, kapas & kasa steril.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah jerami padi (*Oryza sativa* Linn), aquadest (Bratachem[®]), hidrogen peroksida (Bratachem[®]), natrium hidroksida (Merck[®]), *Trichoderma viride* T1sk, dedak gandum, alkohol 70 % (Bratachem[®]), alkohol 96%, PDA (Oxoid[®]), seng klorida, kalium iodida, iodin,

asam dinitro salisilat (Himedia[®]), Na-K tartrat, fenol, Na bisulfit, Na CMC, KH₂PO₄, MgSO₄ (Merck[®]), K₂HPO₄ (Merck[®]), CH₃COOH, CH₃COONa, C₆H₈O₇. H₂O dan C₆H₅O₇Na₃.2H₂O.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Sterilisasi Alat

Alat-alat yang digunakan terlebih dahulu dicuci bersih dan dikeringkan. Alat-alat gelas yang memiliki mulut ditutup dengan kapas yang dibalut kain kasa, kemudian dibungkus dengan menggunakan kertas perkamen. Setelah itu disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 15 lbs selama 15 menit. Ujung pipet mikro disusun dalam suatu beker gelas, ditutup dengan aluminium foil, kemudian disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 15 lbs selama 15 menit. Spatel dan jarum Ose disterilkan dengan cara flambier di atas nyala api lampu spritus selama 20 detik. Lemari aseptis dibersihkan dari debu dan disterilkan dengan cara menyemprotkan alkohol 70% ke seluruh bagian dalam lemari. Semua penggerjaan dilakukan secara teknik aseptis (Krisyanella, *et al.*, 2012).

3.3.2. Produksi Enzim Selulase

1. Penyiapan Medium Pemberian

Medium pemberian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Potato Dextrose Agar* (PDA). Serbuk PDA ditimbang sebanyak 3,9 gram, dilarutkan dalam 100 ml aquadest, kemudian dipanaskan di atas alat pemanas, lalu diaduk hingga larut sempurna dan jernih, kemudian ditutup dengan sumbat kapas yang

dibalut dengan kain kasa steril. Selanjutnya disterilkan dengan autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 15 lbs selama 15 menit.

2. Peremajan Isolat Fungi *Trichoderma viride*

Fungi *Trichoderma viride* yang telah diisolasi dan dimurnikan, dipindahkan dengan bantuan jarum Ose ke media PDA. Penggerjaan dilakukan secara aseptis pada *laminar air flow*, kemudian diinkubasi pada suhu 28°C selama 7-10 hari, kemudian disimpan pada suhu 4°C saat spora telah terbentuk (Li, *et al.*, 2009).

3. Produksi Enzim Selulase

Produksi enzim dilakukan dalam labu Erlenmeyer 250 mL yang berisi media garam mineral (KH_2PO_4 0,05% dan MgSO_4 0,05%) dan 5 gram dedak gandum. Rasio padatan dan cairan yaitu 1:3. Labu Erlenmeyer ditutup dan disterilkan pada suhu 121°C selama 20 menit. Setelah dingin, 0,5 mL suspensi spora diinokulasikan ke dalam media fermentasi dan diinkubasi selama 3 hari (Gupta, *et al.*, 2015).

4. Ekstraksi Enzim

Enzim diekstraksi dengan menambahkan 25 mL aquadest ke dalam labu Erlenmeyer. Campuran diaduk selama 45 menit dengan kecepatan 150 rpm dan disaring dengan kertas saring. Ekstrak disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 10.000 rpm. Supernatan yang terbentuk merupakan sumber enzim selulase (Gupta, *et al.*, 2015).

3.3.3 Pengujian Aktivitas Enzim Selulase

a. Pembuatan Kurva Standar Glukosa

Pembuatan kurva standar glukosa dilakukan dengan membuat variasi konsentrasi standar glukosa sebagai berikut: 100, 120, 140, 160 180, 200, dan 220 ppm. Glukosa dilarutkan dalam aquadest. Masing-masing larutan standar ditambahkan DNS (1:1), kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 15 menit. Setelah dingin, nilai absorbansi diukur pada panjang gelombang 540 nm (Gupta, *et al.*, 2015; Suryadi, *et al.*, 2017).

b. Pengujian Aktivitas Selulase

Pengujian aktivitas selulase yang dilakukan pada percobaan ini adalah melakukan pengujian terhadap endo β -1,4-glucanase atau yang biasa disebut CMCase. Aktivitas CMCase diukur dengan mereaksikan 0,5 mL sampel dengan 0,5 mL larutan CMC 2% b/v dalam penyanga sitrat 0,05 M (pH 4,8). Campuran diinkubasi pada suhu 50°C selama 30 menit. Setelah diinkubasi, 3 mL DNS ditambahkan ke dalam campuran dan dipanaskan selama 5 menit dalam air mendidih agar timbul reaksi warna. Prosedur yang sama dilakukan terhadap kontrol, tapi penambahan enzim dilakukan setelah proses inkubasi. Perlakuan sampel dan kontrol dilakukan dalam waktu bersamaan. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 540 nm menggunakan spektrofotometer uv-visible (Gupta, *et al.*, 2017).

Harga absorbansi yang diperoleh dari sampel dan kontrol, diplotkan pada kurva standar glukosa untuk mengetahui konsentrasi gula reduksi. Konsentrasi

gula reduksi diperoleh dari selisih absorbansi (sampel-kontrol) pada kurva standar glukosa. Aktivitas enzim selulase dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Aktivitas(U/mL)} = \frac{\text{mg glukosa} \times 1000}{\text{Mr glukosa} \times 30 \text{ menit} \times 0,5 \text{ mL}} \times F_p$$

3.3.4 Pembuatan Mikrokristalin selulosa

Mikrokristalin selulosa dibuat dari jerami padi. Jerami padi diambil dari persawahan di daerah Limau Manis Kota Padang. Jerami padi yang dimaksud adalah bagian batang tanpa akar yang sudah dipanen, dibuang daun dan tangkai buahnya. Jerami padi kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama lebih kurang 12 jam, kemudian dipotong sepanjang 3 cm. Jerami selanjutnya dihaluskan dengan grinder dan diayak dengan ayakan No. 212 hingga didapatkan serbuk halus. Serbuk jerami padi kemudian diolah untuk diambil alfa selulosa dengan cara menghilangkan terlebih dahulu lignin yang dikandungnya (Halim, *et al.*, 2002). Serbuk jerami ditimbang sebanyak 272 gram, kemudian dimaserasi dengan dua liter alkohol 96% selama 24 jam pada suhu kamar. Serbuk selanjutnya direndam dalam air panas dan dikeringkan.

a. Delignifikasi dan pembuatan α -selulosa.

Serbuk jerami yang telah kering dipanaskan dalam natrium hidroksida 3,5% selama dua jam dengan suhu 100 °C. Campuran kemudian dicuci dengan aquadest hingga pH 7 dan dikeringkan dalam oven. Selanjutnya dipanaskan dengan larutan natrium hidroksida 17,5 % selama satu jam dengan suhu 100 °C kemudian dicuci dengan aquadest sampai pH 7 dan dikeringkan dalam oven, sehingga diperoleh alfa selulosa (Ngozi, *et al.*, 2014).

b. Pemutihan (*bleaching*)

Pemutihan dilakukan dengan menggunakan satu liter hidrogen peroksida (H_2O_2) 20% selama 10 menit, kemudian dicuci dengan aquadest dan dikeringkan pada suhu kamar selama 48 jam. Sampel dikeringkan di oven pada suhu 60°C selama satu jam dan diserbukkan lagi, kemudian disimpan (Oyeniyi & Itiola, 2011).

c. Hidrolisis

Alfa selulosa didispersikan dalam penyanga asetat (0,1 M, pH 5) dengan perbandingan 1:10. Hidrolisis dilakukan dengan menggunakan enzim selulase yang dihasilkan oleh fungi *T. viride* dengan variasi konsentrasi enzim 5, 10 dan 15 % v/v pada suhu 50°C selama variasi waktu 0,5, 1 dan 1,5 jam pada kecepatan 150 rpm. Campuran kemudian disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 20 menit. Endapan yang terbentuk dicuci dengan aquadest untuk menghilangkan residu enzim, kemudian dikeringkan dalam oven (Suryadi, *et al.*, 2017).

Mikrokristalin selulosa yang dihasilkan diberi nama MCC 1, MCC 2, MCC 3, MCC 4, MCC 5, MCC 6, MCC 7, MCC 8, dan MCC 9.

Keterangan :

MCC 1: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 5%, waktu 0,5 jam

MCC 2: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 10%, waktu 0,5 jam

MCC 3: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 15%, waktu 0,5 jam

MCC 4: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 5%, waktu 1 jam

MCC 5: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 10%, waktu 1 jam

MCC 6: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 15%, waktu 1 jam

MCC 7: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 5%,
waktu 1,5 jam

MCC 8: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 10%,
waktu 1,5 jam

MCC 9: Mikrokristalin selulosa yang dihidrolisis dengan konsentrasi enzim 15%,
waktu 1,5 jam

3.3.5 Pengujian Mikrokristalin Selulosa

a. Pemeriksaan Organoleptis

Karakteristik bentuk yaitu sampel diletakkan di atas dasar yang berwarna putih, diamati bentuk atau rupa, warna, rasa, bau (British Pharmacopoeia, 2002).

b. Susut Pengeringan

Sebanyak satu gram sampel dimasukkan ke dalam krus porselen, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam hingga berat konstan diperoleh. Kemudian susut pengeringan dihitung dengan rumus:

$$x = \frac{(B - A) - (C - A)}{(B - A)} \times 100\%$$

A = Berat krus kosong (g)

B = Berat krus + sampel sebelum dikeringkan (g)

C = Berat krus + sampel setelah dikeringkan (g)

(USP 30, 2007).

c. Identifikasi

Larutan seng klorida teriodinasi dibuat dengan cara melarutkan 20 g seng klorida dan 6,5 g kalium iodida dalam 10,5 mL aquadest. Larutan ditambahkan 0,5 g iodin dan diaduk selama 15 menit.

Sebanyak 10 mg sampel didispersikan dalam 2 mL larutan seng klorida teriodinasi, warna yang diperoleh adalah biru-violet (USP 30, 2007).

d. Kelarutan dalam Air

Sebanyak lima gram sampel dikocok dengan 80 mL aquadest selama 10 menit. Campuran disaring, diuapkan di atas waterbath pada suhu 100-105°C selama satu jam. Setelah dingin, serbuk ditimbang. Selisih bobot awal dan akhir tidak boleh melebihi 12,5 mg (0,25%) (USP 30, 2007).

e. Uji pH

Sebanyak lima gram serbuk diaduk dengan 40 mL aquadest selama 20 menit dan disentrifugasi kemudian diukur pH nya dengan pH meter. pH berada dalam rentang 5,0-7,5 (USP 30, 2007).

f. Uji Ketiadaan Pati

Sebanyak 10 mg serbuk ditambahkan 90 mL aquadest dan dipanaskan selama 15 menit. Campuran disaring selagi panas. Campuran didinginkan dan ditambahkan pada filtrat 0,1 mL iodium 0,05 M, tidak berbentuk warna biru (British Pharmacopoeia, 2002).

g. Uji Sifat Alir

Mikrokristalin selulosa diletakkan di atas corong dengan lobang dibawahnya dalam keadaan tertutup, kemudian tutup lobang dilepaskan dan waktu serbuk mengalir sampai habis dihitung.

h. Foto Mikroskopis

Sampel diletakkan di atas cover glass dan diamati di bawah mikroskop.

i. Pemeriksaan Spektrum Inframerah

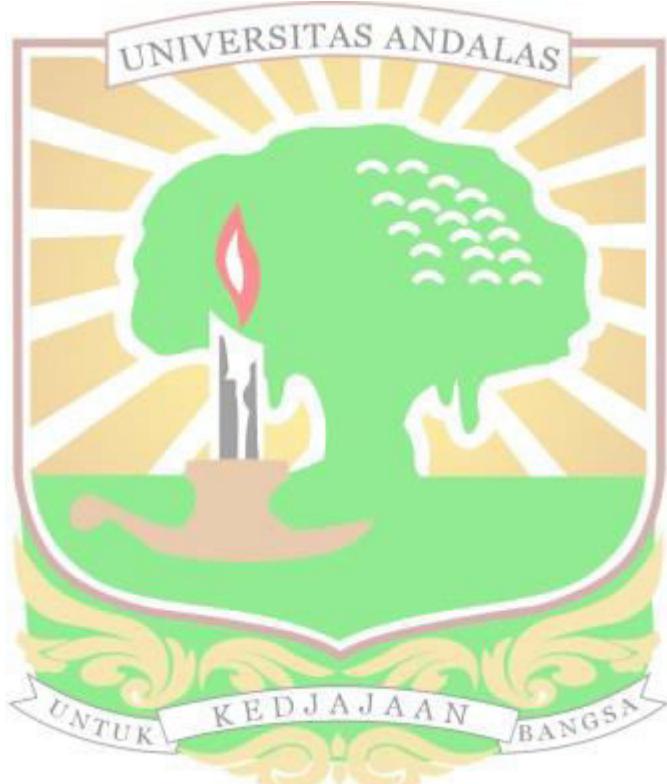
Spektrum Inframerah mikrokristalin selulosa jerami padi dibandingkan dengan Avicel 102 menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopic*.

i. Pemeriksaan Indeks Kristal

Indeks kristal mikrokristalin selulosa diuji dengan *x-ray diffractometer* tipe 0000000011130968 dengan anoda Cu pada 40 kV dan 30mA.

j. Pemeriksaan Struktur Permukaan

Struktur permukaan mikrokristalin selulosa dilihat dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada 15 kV.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Enzim Selulase

Volume enzim selulase yang didapatkan dari satu kali produksi pada tabung Erlenmeyer 250 mL adalah \pm 20 mL. Enzim selulase memiliki aktivitas 7,006 unit/mL (Lampiran 1).

4.1.2 Produksi α -selulosa

Hasil pengolahan jerami padi menjadi α -selulosa, diperoleh rata-rata rendemen α -selulosa sebesar 27,6 % (Lampiran 1, Tabel 4).

4.1.3 Rendemen Mikrokristalin Selulosa

Rendemen mikrokristalin selulosa paling tinggi didapatkan dari hidrolisis α -selulosa dengan konsentrasi enzim 5% v/v selama 1,5 jam. Rendemen yang dihasilkan dari hidrolisis α -selulosa dengan berbagai konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis terdapat pada Lampiran 1, Tabel 5.

4.1.4 Hasil Pemeriksaan Mikrokristalin Selulosa

Hasil pemeriksaan mikrokristalin selulosa meliputi pemeriksaan organoleptis, susut pengeringan, identifikasi, kelarutan dalam air, uji pH, uji pati dan uji sifat alir terdapat pada Lampiran 1, Tabel 6.

4.1.5 Data Pengujian Morfologi Permukaan Menggunakan Mikroskop Optik dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

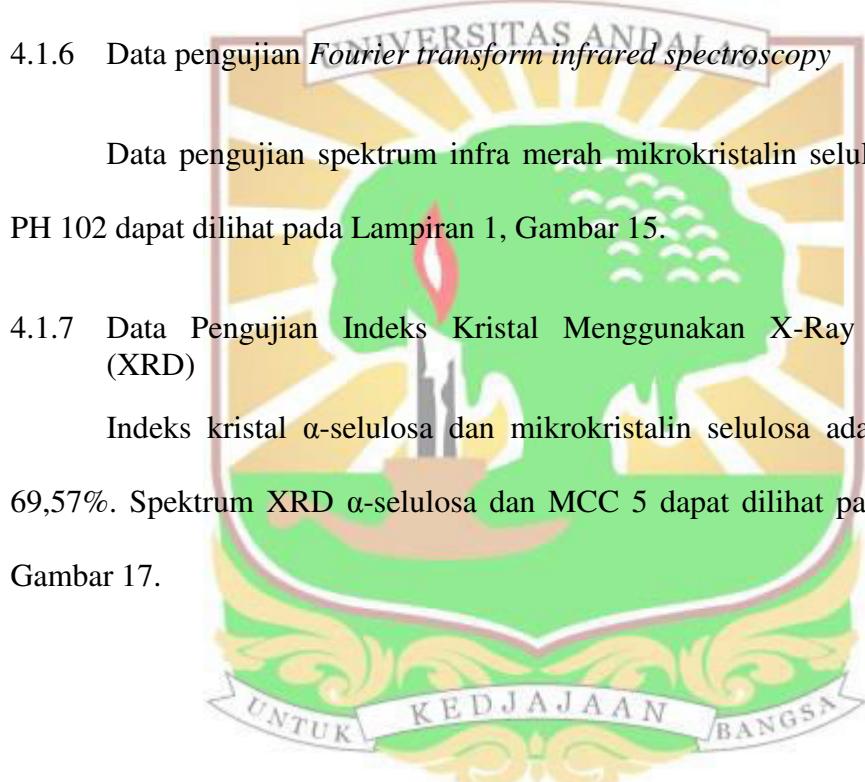
Hasil pengujian morfologi permukaan serbuk jerami padi, α -selulosa, dan mikrokristalin selulosa menggunakan mikroskop dapat dilihat pada Lampiran 4. Pengamatan lebih lanjut terhadap morfologi permukaan α -selulosa, dan mikrokristalin selulosa menggunakan SEM dengan perbesaran 750 dan 1000 kali dapat dilihat pada Lampiran 1, Gambar 12 dan 13.

4.1.6 Data pengujian *Fourier transform infrared spectroscopy*

Data pengujian spektrum infra merah mikrokristalin selulosa dan Avicel PH 102 dapat dilihat pada Lampiran 1, Gambar 15.

4.1.7 Data Pengujian Indeks Kristal Menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD)

Indeks kristal α -selulosa dan mikrokristalin selulosa adalah 66,5% dan 69,57%. Spektrum XRD α -selulosa dan MCC 5 dapat dilihat pada Lampiran 1, Gambar 17.

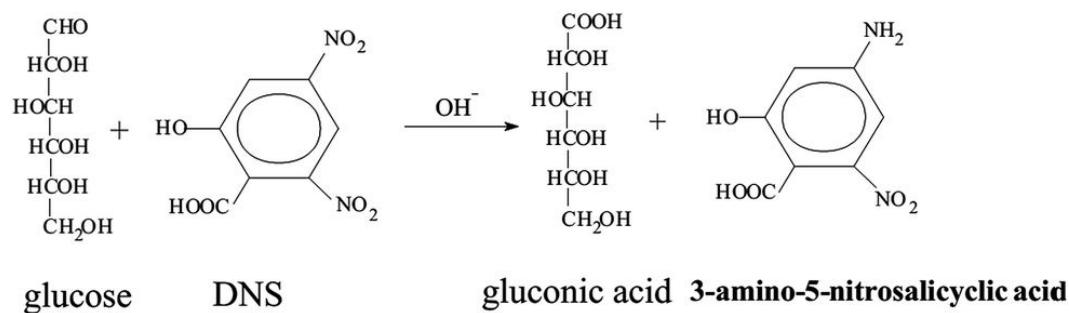


4.2 Pembahasan

Fungi penghasil enzim selulase yang digunakan pada penelitian ini adalah *Trichoderma viride* T1sk yang diisolasi oleh Dr. Ir. Nurbailis, MS dari Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang. Fungi yang diisolasi dan dimurnikan berasal dari tanah rizosfir tanaman pisang di berbagai daerah di Sumatera Barat (Kabupaten Tanah Datar, Kabupaten Solok, dan Kabupaten Padang Pariaman). *Trichoderma* spp. merupakan fungi kosmopolit yang dapat ditemukan pada berbagai jenis tanah (Nurbailis, 2008).

Larutan standar glukosa 250 ppm digunakan sebagai larutan induk, kemudian diencerkan menjadi 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220 ppm. Masing-masing larutan standar diambil 2 mL dan ditambahkan 2 mL larutan asam dinitrosalisilat/*dinitrosalicylic acid* (DNS). Larutan menjadi berwarna orange kemerahan setelah pemanasan, sehingga absorbansi bisa diukur menggunakan spektrofotometer UV vis. Pada penelitian ini didapatkan panjang gelombang serapan maksimum larutan glukosa-DNS yaitu 538 nm.

DNS merupakan reagen dengan reaksi redoks pada gugus aldehid gula dan teroksidasi menjadi karboksilat. DNS sebagai oksidan direduksi membentuk asam 3-amino-5-nitrosalisilat. Reaksi ini dapat terjadi pada kondisi basa. Ketika terdapat gula reduksi pada sampel, larutan DNS yang awalnya berwarna kuning akan bereaksi dengan gula reduksi menyebabkan warna orange kemerahan yang semakin pekat jika konsentrasi semakin tinggi. Reaksi DNS dengan glukosa dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Reaksi reduksi glukosa dengan asam dinitrosalisilat (Xia, *et al.*, 2015)

Reagen DNS terdiri dari asam dinitrosalisilat, Na-K tartrat, fenol, Na bisulfit, dan NaOH. Na-K tartrat digunakan untuk melindungi reaksi dari oksigen yang terlarut, fenol digunakan untuk meningkatkan intensitas warna, Na bisulfit digunakan untuk menstabilkan warna yang terbentuk, NaOH digunakan untuk mencapai kondisi basa agar reaksi bisa terjadi, dan pemanasan berguna untuk mempercepat terjadinya reaksi (Suryadi, *et al.*, 2017).

Berdasarkan analisis spektrofotometri, didapatkan persamaan $y = 0,106x + 0,029$ dengan koefisien regresi linear $R^2 = 0,993$. Dari persamaan ini didapatkan aktivitas enzim selulase sebesar 7,006 unit/mL. Pada penelitian yang dilakukan oleh Pandey, *et al.* pada tahun 2010 menggunakan fungi dan sumber karbon yang sama didapatkan aktivitas enzim selulase yang lebih rendah yaitu 0,73 unit/mL. Gupta, *et al.* pada tahun 2014 pernah melakukan penelitian serupa menggunakan *Trichoderma* sp. dan didapatkan enzin selulase dengan aktivitas 9,700 unit/g. Perbedaan aktivitas ini mungkin disebabkan oleh perbedaan sumber dan spesies fungi yang digunakan. Selain jenis fungi, sumber karbon juga berpengaruh terhadap aktivitas enzim selulase. Hidayat, *et al.* pada tahun 2005 melakukan produksi enzim selulase menggunakan fungi *Trichoderma viride* dan

sumber karbon jerami padi. Aktivitas enzim selulase yang dihasilkan adalah 1,52 unit/mL. Gautam, *et al.* pada tahun 2010 melakukan produksi enzim selulase dengan sumber karbon limbah padat perkotaan, didapatkan aktivitas enzim selulase 2,31 unit/mL.

Produksi mikrokristalin selulosa menggunakan bahan yang mengandung selulosa. Pada penelitian ini digunakan jerami padi yang diambil dari persawahan di sekitar daerah Limau Manis, Kota Padang. Jerami padi yang dimaksud yaitu bagian batang padi yang akar, daun dan buahnya sudah dibuang agar sampel yang digunakan bersih dan tidak bercampur dengan material-material yang tidak diinginkan. Jerami padi dipotong sepanjang \pm 1cm dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama \pm 12 jam, pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terdapat di sampel sehingga dapat disimpan dalam waktu yang lama tanpa ditumbuhinya jamur. Setelah kering, jerami padi dihaluskan dengan cara digiling menggunakan alat penggiling yang bertujuan untuk membentuk jerami padi dalam ukuran terkecil sehingga membentuk serbuk dan diayak menggunakan ayakan 212 μm .

Serbuk jerami ditimbang dan diolah menjadi alfa selulosa dengan cara menghilangkan lignin yang dikandungnya (Halim, *et al.*, 2002). Serbuk jerami dimaserasi dengan alkohol 96% selama 24 jam untuk menghilangkan senyawa polar dan non polar yang terdapat pada serbuk jerami padi seperti lemak, lilin, karbohidrat (moosakarida) dan asam amino. Serbuk jerami kemudian dicuci dengan air panas untuk mengembangkan sel selulosa dan untuk menghilangkan

sisa pelarut alkohol 96% sehingga diharapkan senyawa pengotor dapat dihilangkan (Halim, 1999).

Lignin merupakan salah satu komponen utama jerami padi selain selulosa, hemiselulosa dan abu. Pembebasan lignin dari senyawa kompleks merupakan salah satu perlakuan pendahuluan yang penting dilakukan sebelum proses hidrolisis. Proses ini penting dilakukan sebelum hidrolisis bahan selulolitik, sebab lignin merupakan dinding kokoh yang melekat pada serat selulosa dan hemiselulosa sehingga suatu tanaman menjadi keras dan dapat berdiri kokoh. Lignin dapat menghambat penetrasi asam atau enzim sebelum hidrolisis berlangsung (Gunam, 2010). Delignifikasi dilakukan dengan natrium hidroksida 3,5 % pada suhu 100°C selama 2 jam. Setelah delignifikasi, *pulp* dicuci dengan aquadest hingga pH netral kemudian dikeringkan dalam oven suhu 60 °C. Natrium hidroksida konsentrasi rendah dapat mlarutkan lignin dan hemiselulosa. Hemiselulosa merupakan polimer yang tersusun dari monomer gula pentosa dan heksosa. Selulosa yang didapatkan selanjutnya dipanaskan dengan NaOH 17,5% untuk mendapatkan α -selulosa. Karena bagian lain dari selulosa yaitu β dan γ selulosa terlarut dalam NaOH 17,5%, sedangkan α -selulosa tidak larut (Gascoigne & Gascoigne, 1960; Stamp, 1964).

Proses pemutihan (*bleaching*) dilakukan dengan menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) konsentrasi 20%. Rendemen alfa selulosa setelah pemutihan didapatkan sebanyak 18,23, 25,09 dan 30,11%. Konsentrasi H_2O_2 yang tinggi menyebabkan pembentukan ion OOH^- semakin cepat terbentuk. Ion OOH^- yang terbentuk dari penambahan alkali yang berfungsi menghidrolisis lignin yaitu

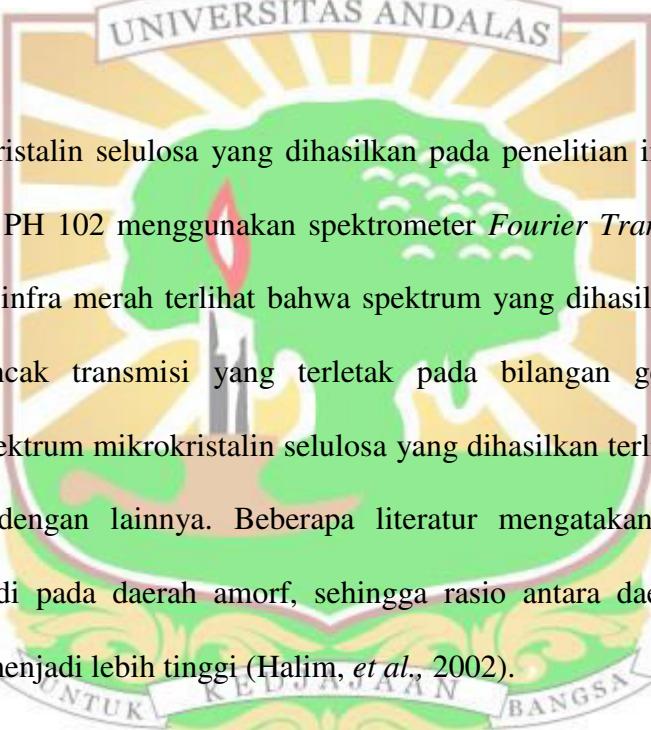
dengan memutus ikatan $C\alpha - C\beta$ molekul lignin sisi di *pulp*. Pemutusan ikatan lignin ini menyebabkan gugus kromofor pada lignin semakin berkurang dan kadar selulosa meningkat.

Unit non-fenolik merupakan penyusun sekitar 90% struktur lignin. Hidrogen peroksida dapat memutus ikatan $C\alpha - C\beta$ molekul lignin dan mampu membuka cincin lignin dan reaksi lain. Hidrogen peroksida mengkatalis suatu oksidasi senyawa aromatik non-fenolik lignin membentuk radikal kation aril. Hidrogen mengkatalis oksidasi senyawa lignin non-fenolik dengan perubahan veratril alkohol menjadi veradril aldehid sehingga *pulp* menjadi putih (Jayanudin, 2009).

Tahap akhir dari produksi mikrokristalin selulosa adalah proses hidrolisis. Pada penelitian ini dilakukan hidrolisis menggunakan enzim selulase yang diekstraksi dari fungi *Trichoderma viride* T1sk. Konsentrasi enzim yang digunakan masing – masing yaitu 5, 10, dan 15% v/v dengan variasi waktu masing – masing 0,5, 1, dan 1,5 jam. Dari seluruh variasi konsentrasi dan waktu, rendemen paling tinggi didapatkan pada konsentrasi 5% v/v dan waktu 1,5 jam yaitu 93,97%. Berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah, didapatkan nilai signifikan 0,749, yang berarti perbedaan konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis tidak berpengaruh secara signifikan terhadap rendemen mikrokristalin selulosa.

Karakterisasi yang dilakukan berupa uji organoleptik, susut pengeringan, identifikasi, kelarutan dalam air, pH, uji ketiadaan pati, uji sifat alir, foto mikroskopis, FTIR, SEM dan XRD. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa

mikrokristalin selulosa yang dihasilkan memenuhi persyaratan *British Pharmacopoeia* dan *The United States Pharmacopoeia*. Hasil yang didapat memperlihatkan kesamaan satu sama lain yang memenuhi persyaratan pada literatur (Lampiran 1, Tabel 6), kecuali sifat alir pada waktu hidrolisis 0,5 jam dengan konsentrasi 5 dan 10% v/v dimana sifat alir mikrokristalin selulosa yang dihasilkan kurang dari 1 g/d. Kecepatan alir serbuk dipengaruhi oleh bentuk partikel dan tekstur, kerapatan jenis, porositas, kandungan lembab, dan kondisi percobaan.



Mikrokristalin selulosa yang dihasilkan pada penelitian ini dibandingkan dengan Avicel PH 102 menggunakan spektrometer *Fourier Transform Infrared*. Dari spektrum infra merah terlihat bahwa spektrum yang dihasilkan mempunyai puncak – puncak transmisi yang terletak pada bilangan gelombang yang berdekatan. Spektrum mikrokristalin selulosa yang dihasilkan terlihat tidak begitu berbeda satu dengan lainnya. Beberapa literatur mengatakan bahwa proses hidrolisis terjadi pada daerah amorf, sehingga rasio antara daerah kristal dan daerah amorf menjadi lebih tinggi (Halim, *et al.*, 2002).

Analisis XRD dilakukan untuk melihat indeks kristal dari sampel dan dibandingkan dengan Avicel PH 101. Nilai indeks kristal alfa selulosa dan MCC yang didapatkan pada penelitian ini adalah 66,5 % dan 69,57 %. Sedangkan indeks kristal Avicel PH 101 menurut penelitian yang dilakukan oleh Keshk dan Haija (2011) adalah 74%. Spektrum difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 16. Secara umum, sifat polimer mikrokristalin selulosa adalah semi – kristalin, yang berarti masih terdapat bagian amorf disamping bagian kristal yang lebih

dominan. Tingkat kristalinitas MCC yang dilaporkan dari beberapa penelitian yaitu 60-80% (Thoorens, *et al.*, 2014). Perbedaan pada bentuk puncak atau difraktogram sampel dengan Avicel PH 101 menunjukkan bahwa sampel memiliki perbedaan sifat kristal dan derajat polimerisasi dengan Avicel PH 101. Perbedaan ini dikaitkan dengan kisi kristal yang berbeda dari struktur kristal selulosa. Pada selulosa I, rantai selulosa disusun paralel, sedangkan selulosa II menunjukkan rangkaian anti-paralel (Krassig, 1996).

Struktur alfa selulosa dan mikrokristalin selulosa yang dihasilkan serta Avicel PH dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 12, 13. dan 14. Struktur alfa selulosa jika dibandingkan dengan mikrokristalin selulosa dan Avicel PH 101 terlihat berbeda yakni masih banyak terdapat struktur berukuran kecil yang terdiri dari serat (fibril). Pada mikrokristalin selulosa yang dihasilkan, mikrokristalin selulosa telah terbentuk , namun masih terlihat struktur seperti serat – serat kayu. Hal ini mungkin disebabkan karena proses *pretreatment* yang tidak sempurna. Masalah ini dapat diatasi dengan meningkatkan konsentrasi NaOH saat delignifikasi atau memperlama durasi delignifikasi (Suryadi, *et al.*, 2017).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan diantaranya:

1. Rendemen mikrokristalin selulosa paling tinggi didapatkan dari hidrolisis dengan konsentrasi enzim 5% selama 1,5 jam yaitu 93,967%.
2. Konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis tidak berpengaruh signifikan terhadap rendemen mikrokristalin selulosa ($\text{Sig} > 0,05$).
3. Mikrokrostalin selulosa yang didapatkan memenuhi persyaratan *British Pharmacopoeia* dan *The United States Pharmacopoeia* untuk organoleptis, identifikasi, pH, larutan dalam air, susut pengeringan, dan uji ketiadaan pati, sedangkan sifat alir mikrokristalin selulosa 1 dan 2 tidak memenuhi persyaratan.

5.2 Saran

Disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk:

1. Melakukan optimasi terhadap suhu, pH, dan agitasi sehingga didapatkan kondisi optimum untuk hidrolisis.
2. Menemukan enzim yang dapat menggantikan penggunaan bahan kimia pada tahap *pretreatment*, sehingga dapat meminimalkan penggunaan bahan kimia dan lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aak. Budidaya Tanaman Padi. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Kasinius; 1990.
- Andersen N, Stenby EH, Michelsen, M.L. Enzymatic Hidrolysis of Cellulose: Experimental and Modelling Studies. [Disertasi]. Technical University of Denmark; 2007.
- Anonim. British Pharmacopoeia. Vol. 1. London, Inggris: The Stationery Office; 2002.
- Anonim. United State Pharmacopoeia 30 – National Formulary 25. New York, USA : USP Convention; 2007.
- Beiser A. Konsep Fisika Modern. Jakarta, Indonesia: Erlangga; 1986.
- Braunstein L, Dostie RL, Germano KH, Lamb SC, Penet CS, Richards PB. Crystalline Cellolose Production. United States Patent US005346589A. 1994.
- Cullity BD. Elements of X-ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing Company; 1978.
- Day RA, Underwood AL. Analisis Kimia Kuantitatif. Penerjemah: Pudjaatmaka, A. H. Edisi kelima. Jakarta, Indonesia : Penerbit Erlangga; 1999.
- Druzhinina IR, Kopchinskiy AG, Druzhinina IS . The First 100 *Trichoderma* Characterized by Molecular Data. Myoscience. 2006; 47(2): 55-64.
- Fengel D, Wegener G. Kayu : Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi, diterjemahkan oleh Dardjono Sastroadmojo. Yogyakarta, Indonesia: Gajah Mada University Press ; 1995.
- Fitriani E. Aktivitas Enzim Karboksilmetil Selulase *Bacillus pumilus* Galur 55 pada Berbagai suhu Inkubasi. [Skripsi]. Padang: Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor; 2003.
- Gandjar IG, Rohman A. Kimia Farmasi Analisis. Yokyakarta, Indonesia: Pustaka Pelajar; 2007
- Gascoigne JA, Gascoigne MM.. Biological Degradation of Cellulose. London, Inggris; 1960.
- Gautam SP, Budela PS, Pandey AK, Jamaluddin, Sarcaya S. Optimisation of The Medium for The Production of Cellulase by The *Trichoderma viride*

using Submerged Fermentation. International Journal of Environmental Sciences. 2010; 1(4): 656-665.

Gunam IB, Buda K, Guna IMYS. Pengaruh Pelakuan Delignifikasi dengan Larutan NaOH dan Konsentrasi Substrat Jerami Padi terhadap Produksi Enzim Selulase dari *Aspergillus niger* NRRL A-II. Jurnal Biologi. 2010; 14: 55-61

Gupta C, Jain P, Kumar D, Dixit AK, Jain RK. Production of Cellulase Enzyme from Isolated Fungus and it's Application as Efficient Refining Aid for Production of Security Paper. International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research. 2015; 3: 11-19.

Halim A. Pembuatan dan Uji Sifat-sifat Teknologi Mikrokristalin Selulosa dari Jerami Padi. Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi. 1999; 4(1): 18-26.

Halim A, Ben EF, Sulastri E. Pembuatan Mikrokristalin Selulosa dari Jerami Padi (*Oryza sativa* Linn) dengan Variasi Waktu Hidrolisis. Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi. 2002; 7(2): 80-87.

Han YJ, Chen HZ. Synergism between Corn Stover Protein and Cellulose. Enzyme and Microbial Technology. 2007; 41:638-645.

Haque C, Rana AA, Masum SM, Ferdous T, Rashid M, Sarker, Karim MM. Synthesis of Microcrystalline Cellulose from Pretreated Cotton Obtained from *Bamboo ceiba* L, and its Characterization. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research. 2015; 50(3): 199-204.

Hidayat R, Wulandari S, Wiryanan KG, Suryahadi. Prodution and Utilization of Cellulase from *Trichoderma viride*. Journal of Biotropia. 2005; 25: 50-59.

Jayanudin. Pemutihan Daun Nanas Menggunakan Hidrogen Peroksida. Jurnal Rekayasa Proses. 2009; 3(1): 10-14.

Kalyani P, Ashwini P, Mohini W, Sangita C. Labscale Production and Purification of Cellulase Enzyme from *Aspergillus niger*. Research Journal of Recent Sciences. 2015; 40: 124-124.

Keshk SMAS, Haija MA. A New Method for Producing Microcrystalline Cellulose from *Gluconacetobacter xylinus* and Kenaf. Carbohydrate Polymers. 2011; 84: 1301-1305.

Khopkar, SM. Konsep Dasar Kimia Analitik. Jakarta: Penerbit UI, Indonesia; 1990.

- Klemm D, Philipp B, Heinze T, Heinze U, Wagenknecht W. Comprehensive Cellulose Chemistry : Fundamentals and Analytical Methods. 1998; 1.
- Krassig HA. Cellulose Structure, Accesibility and Reactivity. Gardon and Breach Science. 1996.
- Krisyanella, Djamaan A, Aulia W. Optimasi Proses Produksi Bioplastik Poli (3-Hidroksibutirat) dengan Bakteri *Bacillus* sp FAAC 20801 Menggunakan Bahan Dasar Jerami Padi Secara Fermentasi. Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi. 2012; 17(1): 60-72.
- Kulkarni SPK, Dixit A, Singh, UB. Evaluation of Bacterial Cellulose Produced Form Acetobacter cylindrum as Pharmaceutical Excipient. American Journal of Drug Discovery and Development. 2012; 2(2): 72-86.
- Li XH, Yang HJ, Roy B, Park EY, Jiang LJ, Wang D, Miao YG.. Enhanced Cellulase Production of The *Trichoderma viride* Mutated by Microwave and Ultraviolet. Microbiological Research. 2009; 165: 190-198.
- Madison. Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry. New York, USA: Thermo Nicolet Corporation; 2001.
- Martin A, Swabrick J, Cammarata A. Farmasi Fisika Edisi III. Jilid II. diterjemahkan oleh Yoshita. Jakarta, Indonesia : Universitas Indonesia; 1993.
- Meryandini A, Widosari W, Maranatha B, Sunarti TC, Rachmania N, Satria H.. Isolasi Bakteri Selulolitik dan Karakterisasi Enzimnya. Makara Journal of Science. 2009; 13: 33-38.
- Ngozi UO, Chizoba NA, Ifeacyichokwu OS. Phsycochemical Properties of Microcrystalline Cellulose derived from Indian Bamboo (*Bambusa vulgaris*). International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. 2014; 29(2): 5-9.
- Nugraha R. Produksi Enzim Selulase oleh *Penicillium nalgiovense* S240 pada Substrat Tandan Sawit. [Skripsi]. Program Studi Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor; 2006.
- Nurbailis. Karakterisasi Mekanisme *Trichoderma* spp. Indigenus Rizosfir Pisang untuk Pengendalian Penyakit *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Penyebab Penyakit Layu Fusarium pada Tanaman Pisang. [Disertasi]. Program Pascasarjana Universitas Andalas Padang; 2008.
- Nuringtyas TR. Karbohidrat. Yogyakarta, Indonesia: UGM Press; 2010.

Oktavianus F, Sгиro RM, Bustan MD. Pembuatan Bioetanol dari Batang Jarak Menggunakan Metode Hidrolisis dengan Katalis Asam Sulfat. Jurnal Teknik Kimia. 2013; 19(2): 27-32.

Oyeniyi YJ, Itiola OA.. The Physicochemical Characteristic of Microcrystalline Cellulose, Derived from Sawdust, Agricultural Waste Product. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2011; 4(1): 197-200.

Palmer T. Understanding Enzymes 4th. ed. London, Inggris: Princeton Hall; 1995.

Pandey S, Srivastava M, Shahid M, Kumar V, Singh A, Trivedi S, Srivastava YK. *Trichoderma* Species Cellulases Produced by Solid States Fermentation. Journal of Data Mining Mining Genomics Preteomics. 2015; 6(2): 1-4.

Perez J, Munoz J, Dorado T, Rubia DI, Martinez J. Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin: An Overview. International Microbiology. 2002; 5: 53-63.

Reimer L. Scanning Electron Microscopy : Physics of Image Formation and Microanalysis 2nd ed., Vol. 45. Berlin, Jerman: Springer; 1998.

Rowe RC, Sheskey P, Quinn M E. Handbook of Pharmaceutical Excipient 6th. ed. London: Pharmaceutical Press; 2009.

Saini JK, Patel AK, Adsul M, Singhania RR. Cellulase Adsorption on Lignin: A Roadblock for Economic Hydrolysis of Biomass. Renewable Energy. 2016; 98: 29-42.

Samsuri M, Gozan M, Mardias R, Baiquni M, Hermansyah H, Wijanarko A, Prasetya B, Nasikin M.. Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Etanol melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. Makara Journal of Technology. 2007; 11(1).

Soenaryo E, Damardjati DS, Syam M. Padi buku 3. Bogor, Indonesia: Badan Penelitian dan Pengembangan Penelitian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan; 1991.

Stamp AJ. Wood and Cellulose Sciences. New York, USA : The Ronald Press Company; 1964.

Suryadi H, Sutriyo S, HR, Rosikhoh D. Preparation of Microcrystalline Cellulose from Water Hyacinth Powder by Enzymatic Hydrolysis

Using Cellulase of Local Isolate. Journal of Young Pharmacist. 2017; 9: S19-S23.

Thoorens G, Krier F, Leclercq B, Carlin B, Evrard B. Microcrystalline Cellulose, a Direct Compression Binder in a Quality by Design Environment - a Review. International Journal of Pharmaceutics. 2014; 473: 64-72.

Tjitrosoepomo G. Taxonomi Tumbuhan (Spermatophyta). Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press; 1989.

Troy DB, Remington JP, Beringer P. Remington: The Science and Practice of Pharmacy. Philadelphia, USA : Lippincott Williams & Wilkins; 2006.

Wang D, Ai P, Yu L, Tan Z, Zhang Y. Comparing the Hydrolysis and Biogas Production Performance of Alkali and Acid Pretreatments of Rice Straw Using Two-Stage Anaerobic Fermentation. Biosystems Engineering. 2015; 132: 47-55.

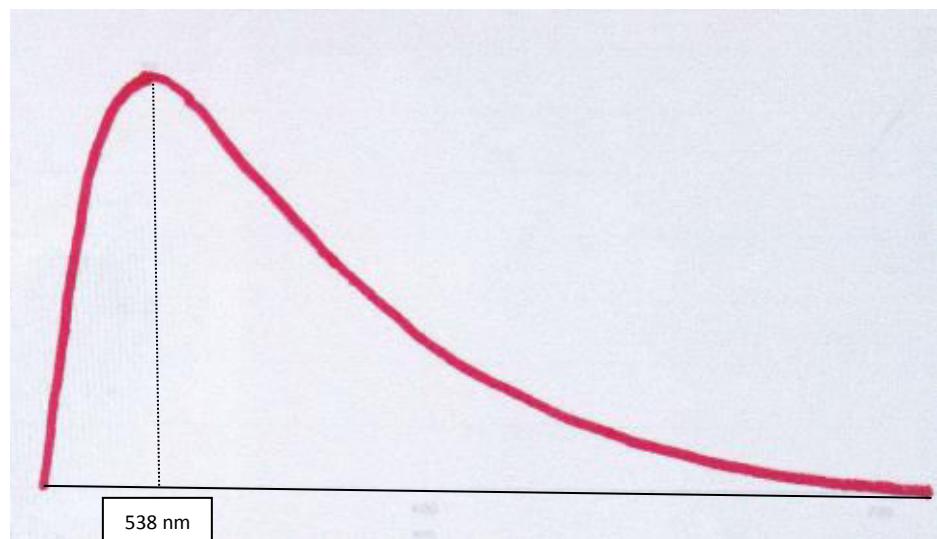
Xia ML, Wang L, Xia Z, Chen YHZ. A Novel Digital Color Analysis Method for Rapid Glucose Detection. Analytical Method. 2015; 16.

Yang D, Ding, Wyman. Enzymatic Hydrolisis of Cellulosic Biomass. Biofuels. 2011; 2(4): 421-450.

Young, Hugh D, Roger A, Freedman. Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 2. Jakarta, Indonesia: Erlangga; 2004.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

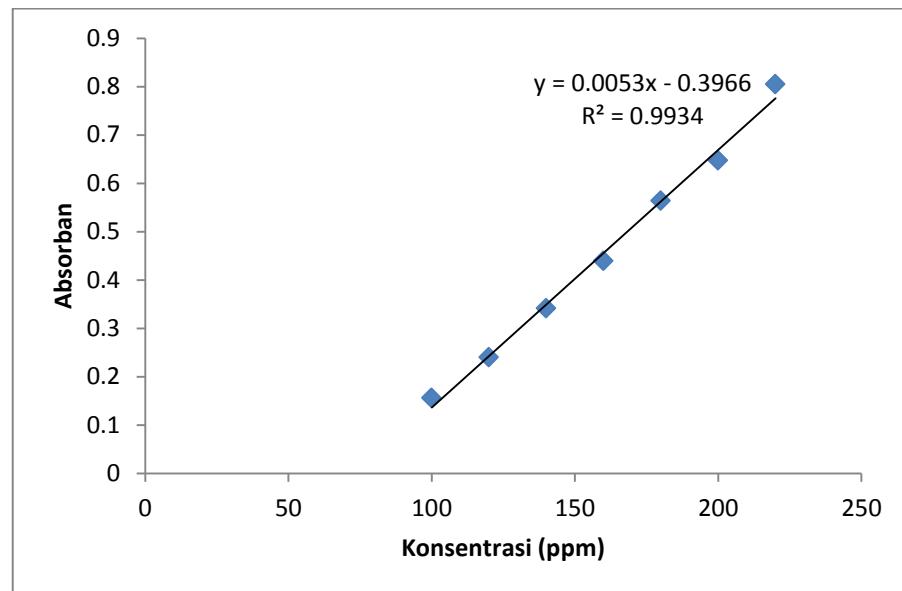


Gambar 10. Panjang gelombang serapan maksimum larutan glukosa – DNS (538 nm)

Tabel 3. Konsentrasi dan absorbansi larutan standar glukosa - DNS

Konsentrasi (ppm)	Absorban
100	0,156
120	0,240
140	0,341
160	0,439
180	0,564
200	0,647
220	0,805

Lampiran 1. (Lanjutan)



Gambar 11. Kurva kalibrasi larutan standar glukosa - DNS

Tabel 4. Hasil pemeriksaan rendemen α -selulosa dari jerami padi

Pengulangan ke-	Massa Serbuk Jerami (g)	Massa α -selulosa (g)	Rendemen (%)	Rata-rata Rendemen (%)
1	153,795	38,589	25,091	27,60
2	118,205	35,589	30,108	

Lampiran 1. (Lanjutan)

Tabel 5. Hasil pemeriksaan rendemen mikrokristalin selulosa

Nama	Konsentrasi (%v/v)	Waktu (jam)	Masssa α -selulosa (g)	Massa mikrokristalin selulosa (g)			Rata-rata mikrokristalin selulosa (g)	Simpangan baku	Rendemen mikrokristalin selulosa (%)
MCC 1	5	0,5	3	2,784	2,809	2,796	2,784	0,032	92,811
MCC 2	10	0,5	3	2,808	2,797	2,823	2,809	0,013	93,644
MCC 3	15	0,5	3	2,779	2,745	2,781	2,768	0,020	92,278
MCC 4	5	1	3	2,876	2,695	2,780	2,784	0,091	92,789
MCC 5	10	1	3	2,781	2,719	2,812	2,771	0,047	92,356
MCC 6	15	1	3	2,813	2,736	2,809	2,786	0,043	92,867
MCC 7	5	1,5	3	2,858	2,800	2,799	2,819	0,034	93,967
MCC 8	10	1,5	3	2,846	2,724	2,806	2,792	0,062	93,067
MCC 9	15	1,5	3	2,815	2,785	2,798	2,799	0,015	93,311

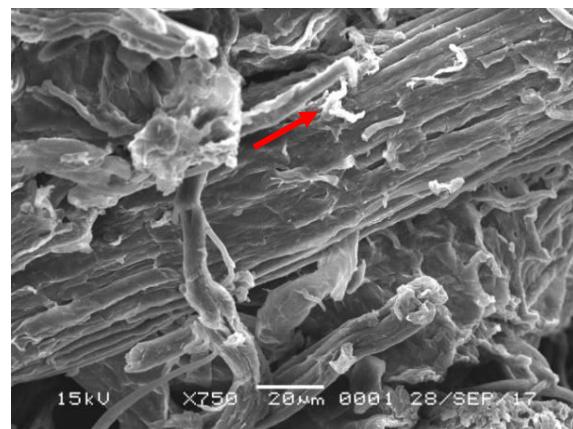
Lampiran 1. (Lanjutan)

Tabel 6. Hasil pemeriksaan mikrokristalin selulosa

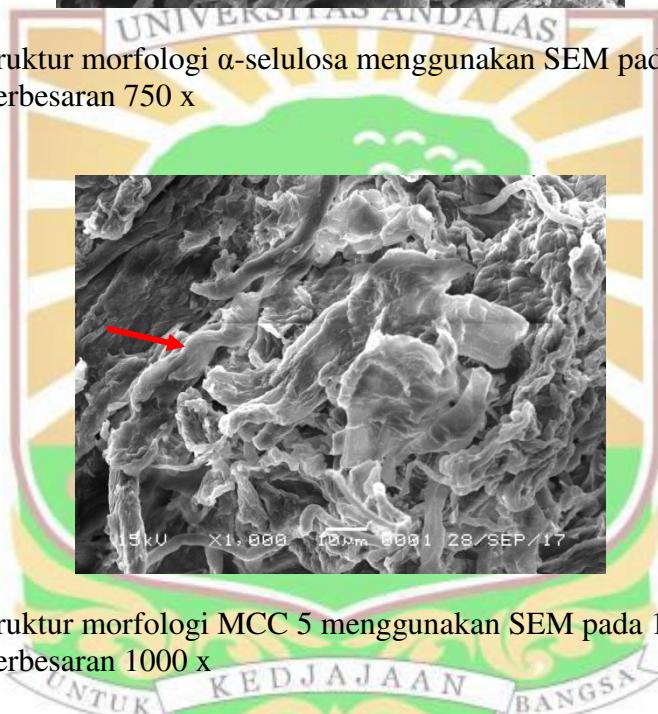
No	Pemeriksaan	Persyaratan	MCC 1	MCC 2	MCC 3
1	Pemerian : <ul style="list-style-type: none"> • Bentuk • Warna • Bau • Rasa 	Serbuk halus Putih Tidak berbau Tidak berasa	Serbuk halus Putih Tidak berbau Tidak berasa	Serbuk halus Putih Tidak berbau Tidak berasa	Serbuk halus Putih Tidak berbau Tidak berasa
2	Identifikasi	Warna yang diperoleh adalah biru violet (USP 30, 2007)	Warna yang diperoleh adalah biru violet	Warna yang diperoleh adalah biru violet	Warna yang diperoleh adalah biru violet
3	pH	pH 5-7,5 (BP, 2009)	pH 6	pH 7	pH 6
4	Kelarutan dalam air	Kelarutan tidak boleh melebihi 0,25 %(USP 30, 2007)	Praktis tidak larut air	Praktis tidak larut air	Praktis tidak larut air
5	Susut Pengeringan	Kehilangan tidak boleh lebih dari 7 %(USP 30, 2007)	Kehilangan 6,374 %	Kehilangan 3,384 %	Kehilangan 3,187 %
6	Uji Pati	Tidak terbentuk warna biru (USP 30, 2007)	Tidak terbentuk warna biru	Tidak terbentuk warna biru	Tidak terbentuk warna biru
7	Kecepatan alir (g/d)	1,41 g/d (USP 30, 2007)	0,820 g/d	0,935 g/d	1,436 g/d

MCC 4	MCC 5	MCC 6	MCC 7	MCC 8	MCC 9
Serbuk halus Putih Tidak berbau Tidak berasa					
Warna yang diperoleh adalah biru violet					
pH 6	pH 6	pH 6,5	pH 6	pH 6,5	pH 6
Praktis tidak larut air					
Kehilangan 3,393 %	Kehilangan 6,4 %	Kehilangan 4,374 %	Kehilangan 5,566 %	Kehilangan 2,595 %	Kehilangan 4,78 %
Tidak terbentuk warna biru					
1,462 g/d	1,245 g/d	1,320 g/d	1,457 g/d	1,366 g/d	1,465 g/d

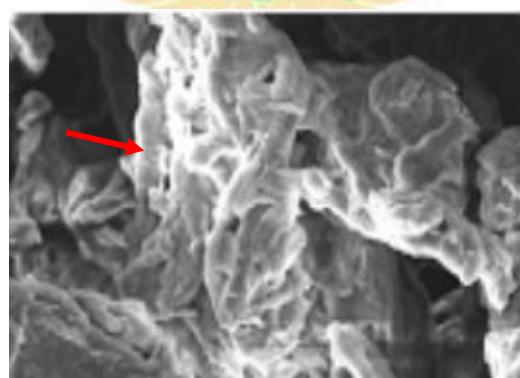
Lampiran 1. (Lanjutan)



Gambar 12. Struktur morfologi α -selulosa menggunakan SEM pada 15 kV dengan perbesaran 750 x

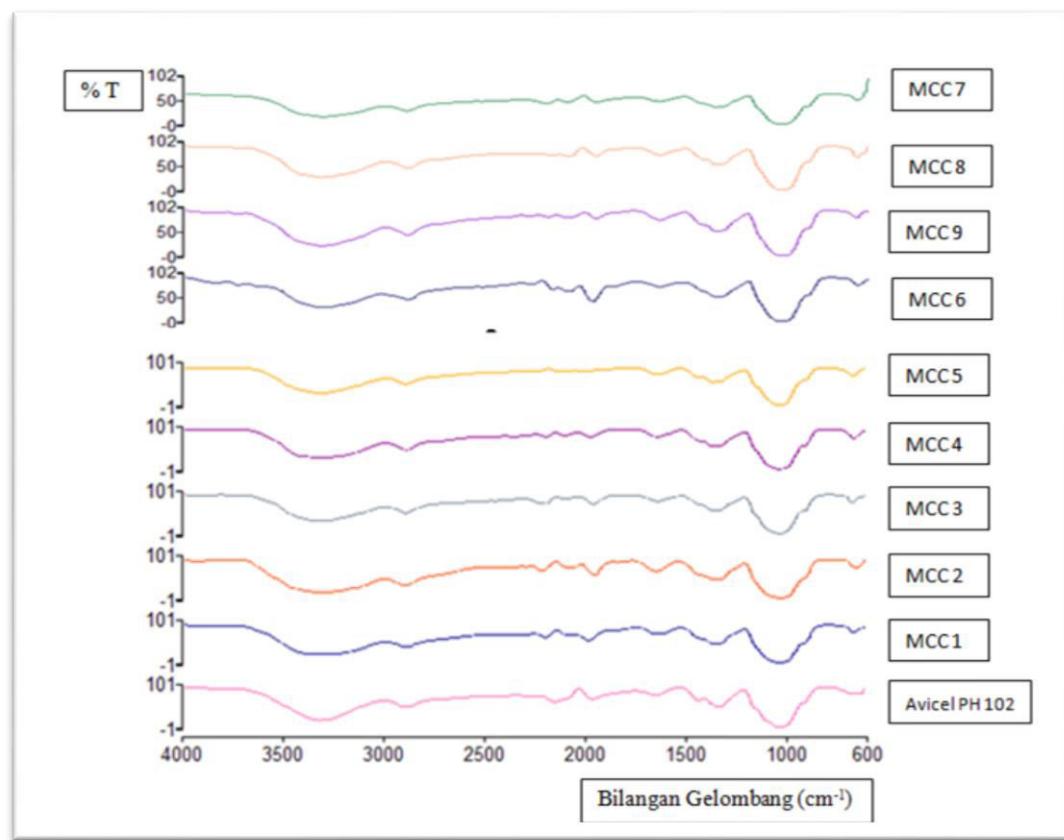


Gambar 13. Struktur morfologi MCC 5 menggunakan SEM pada 15 kV dengan perbesaran 1000 x



Gambar 14. Struktur morfologi Avicel PH 101 menggunakan SEM pada 15 kV dengan perbesaran 1000 x (Suryadi, *et al*, 2017)

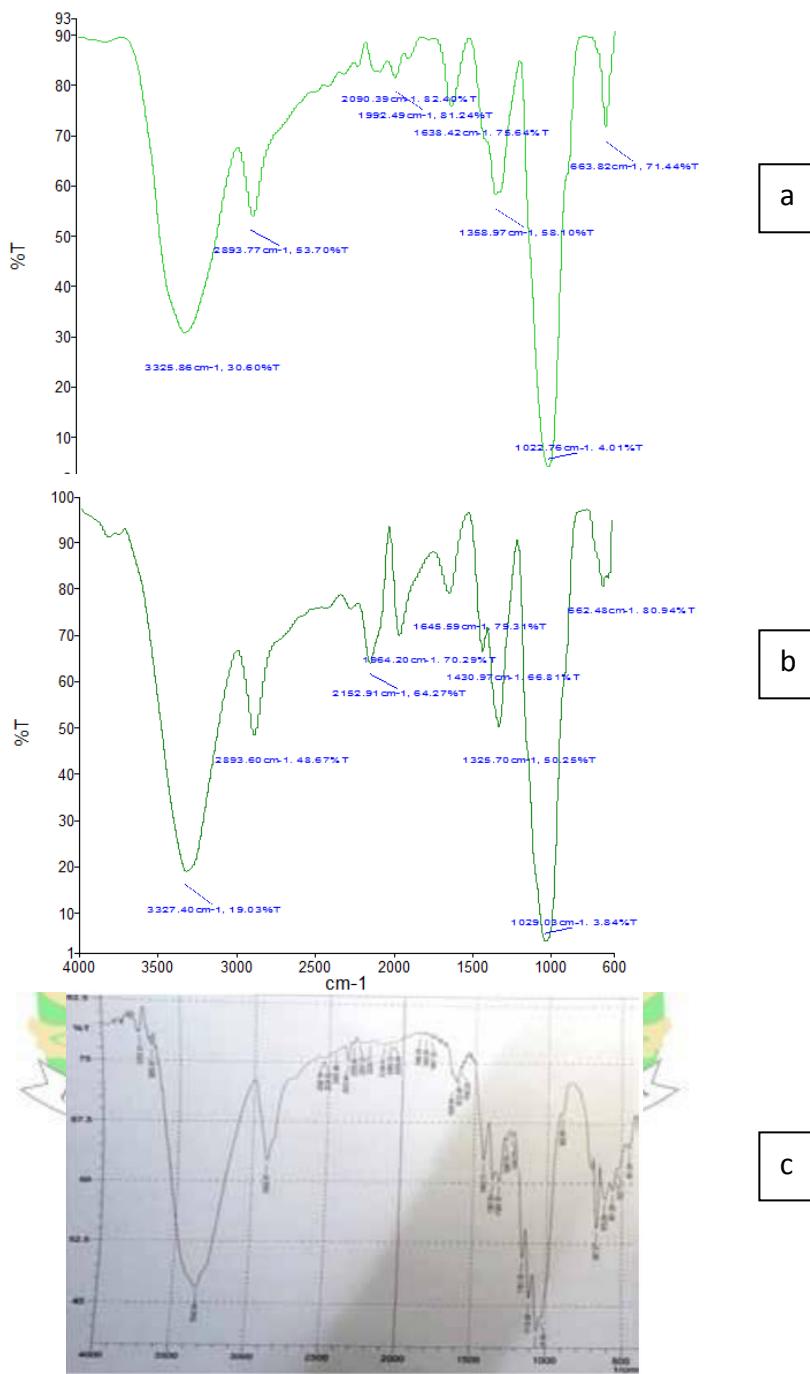
Lampiran 1. (Lanjutan)



Gambar 15. Spektrum IR mikrokristalin selulosa

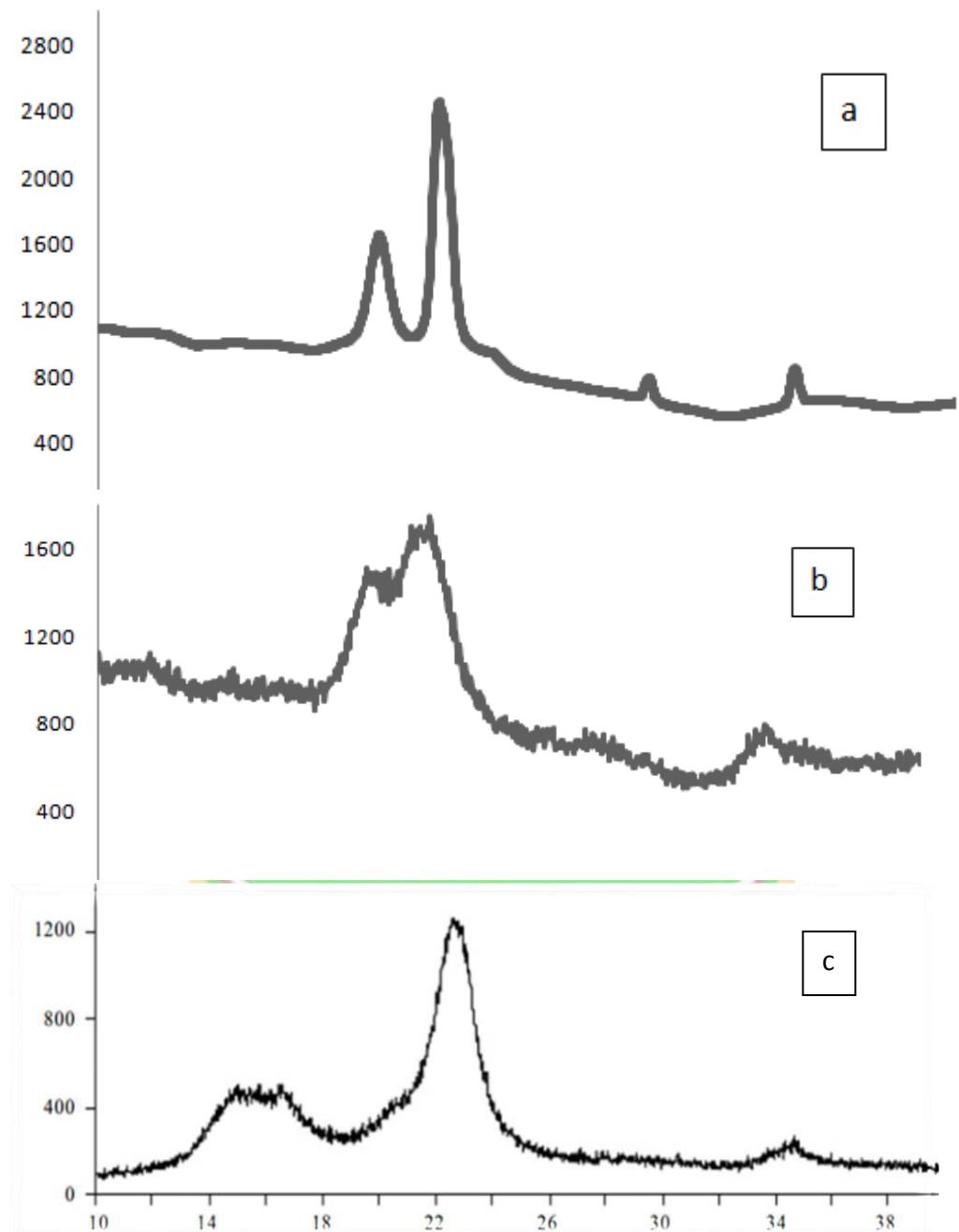


Lampiran 1. (Lanjutan)



Gambar 16. Spektrum *overlay* MCC 5 (a), Avicel PH 102 (b) dan mikrokristalin selulosa referensi (Haque, *et al.*, 2015) (c)

Lampiran 1. (Lanjutan)



Gambar 17. Spektrum *overlay* XRD α -selulosa (a), MCC 5 (b) dan Avicel PH 101
(Kulkarni, *et al*, 2012) (c)

Lampiran 2. Rumus dan Perhitungan

1. Aktivitas enzim selulase

Absorbansi sampel : 0,430

$$y = 0,106x + 0,029$$

$$0,430 = 0,106x + 0,029$$

$$x = 3,783 \text{ mg}$$

$$\text{Aktivitas enzim selulase (unit/mL)} = \frac{\frac{mg \text{ glukosa} \times 1000}{Mr \text{ glukosa} \times 30 \text{ menit} \times 0,5 \text{ mL}}}{\text{Faktor pengenceran}}$$

$$\text{Aktivitas enzim selulase (unit/mL)} = \frac{3,783 \text{ mg} \times 1000}{180 \times 30 \text{ menit} \times 0,5 \text{ mL}} \times 5$$

$$\text{Aktivitas enzim selulase (unit/mL)} = 7,006 \text{ unit/mL}$$

2. Indeks kristal

a. α -selulosa

$$\% \text{ CrI} = (1 - I_{am}/I_{002}) \times 100 \%$$

$$\% \text{ CrI} = (1 - 793/2367) \times 100 \%$$

$$\% \text{ CrI} = 66,5 \%$$

b. MCC 5

$$\% \text{ CrI} = (1 - I_{am}/I_{002}) \times 100 \%$$

$$\% \text{ CrI} = (1 - 625/2054) \times 100 \%$$

$$\% \text{ CrI} = 69,57 \%$$

Keterangan : CrI= Indeks kristal

I_{am} = Intensitas minimum difraksi bagian amorf

I_{002} = Intensitas maksimum puncak difraksi

Lampiran 3. Analisis Data Statistik

Tabel 7. Hasil uji ANOVA dua arah antara konsentrasi enzim dan waktu hidrolisis terhadap rendemen mikrokristalin selulosa

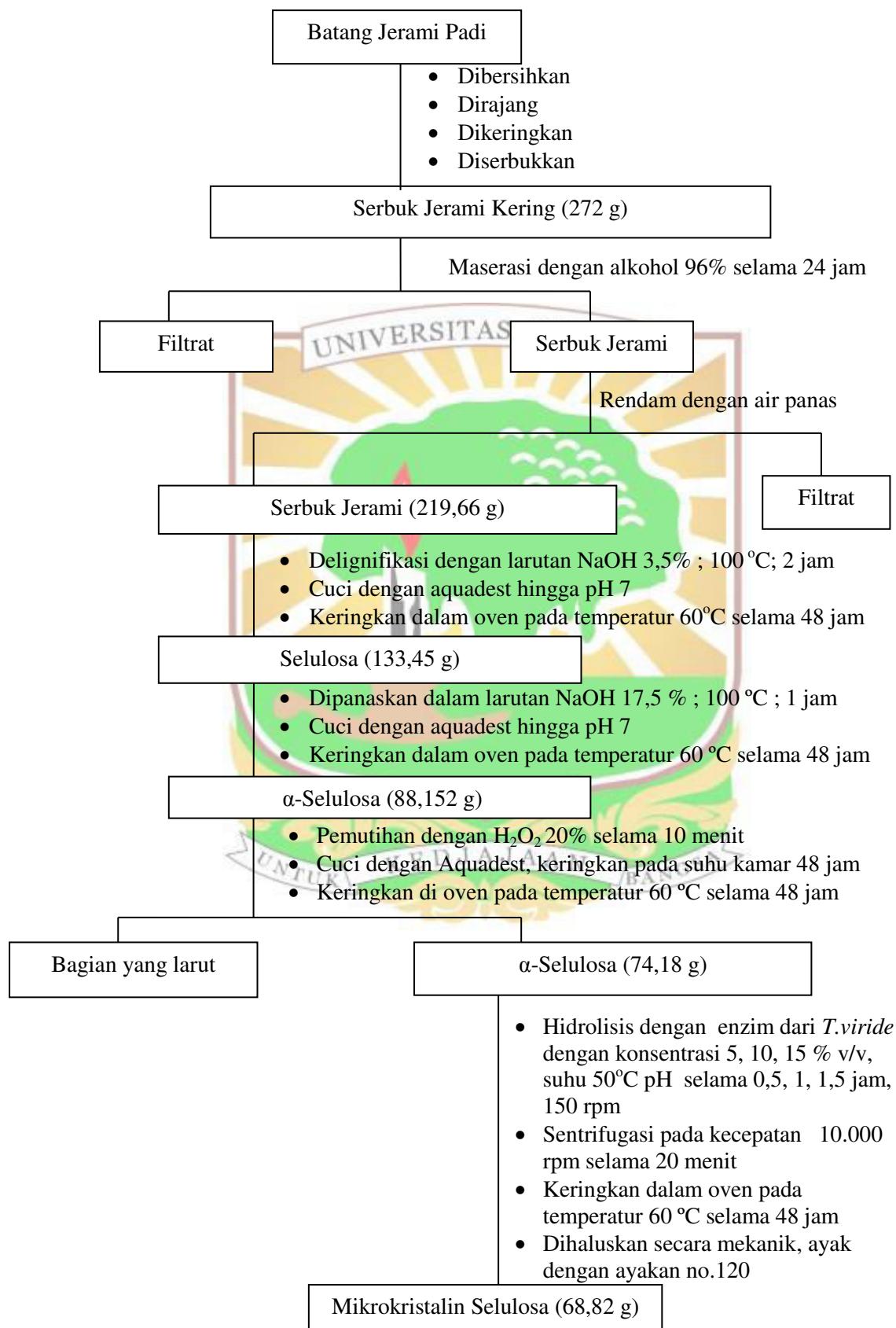
Dependent Variable:%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.960 ^a	8	.995	.423	.892
Intercept	233640.815	1	233640.815	9.922E4	.000
Konsentrasi	.638	2	.319	.136	.874
Waktu	2.791	2	1.396	.593	.563
Konsentrasi * Waktu	4.531	4	1.133	.481	.749
Error	42.386	18	2.355		
Total	233691.161	27			
Corrected Total	50.346	26			

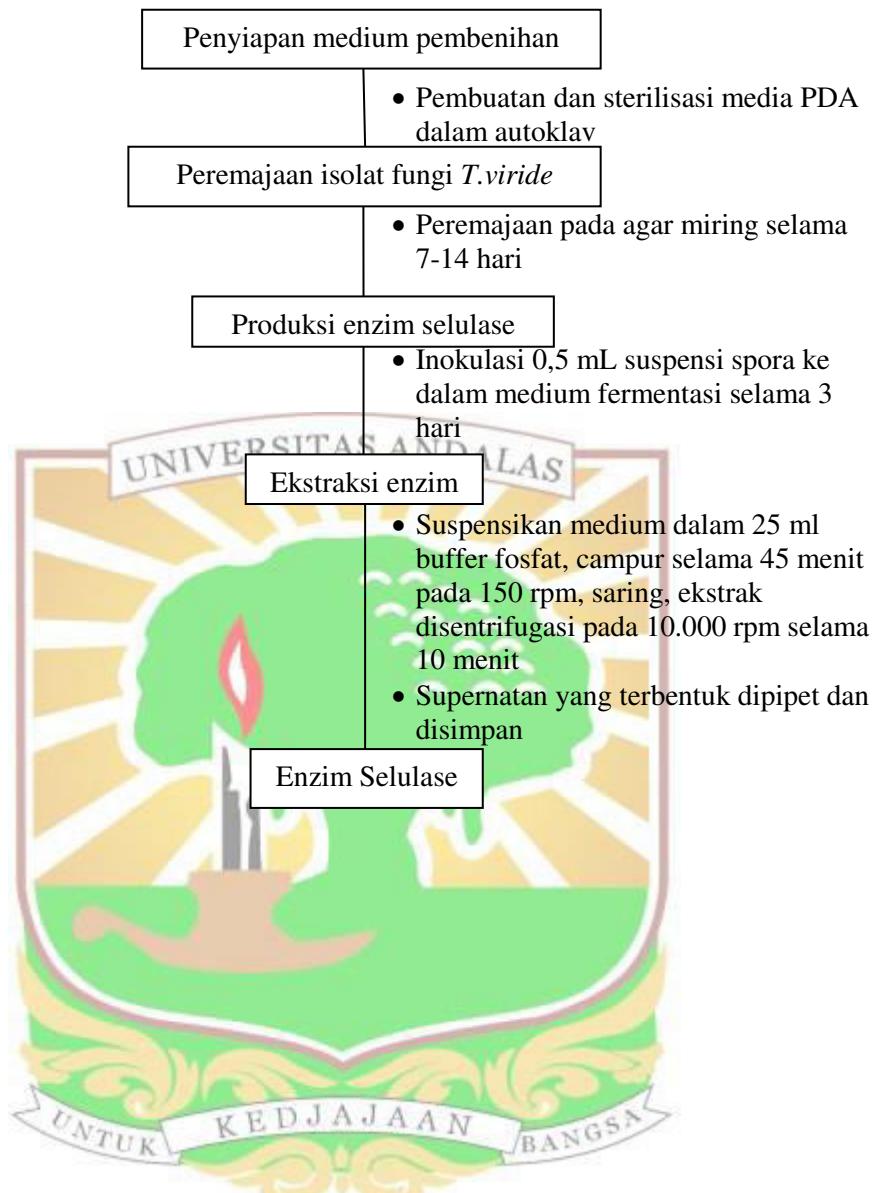
a. R Squared = .158 (Adjusted R Squared = -.216)



Lampiran 4. Skema Kerja Isolasi Selulosa untuk Pembuatan Mikrokristalin Selulosa

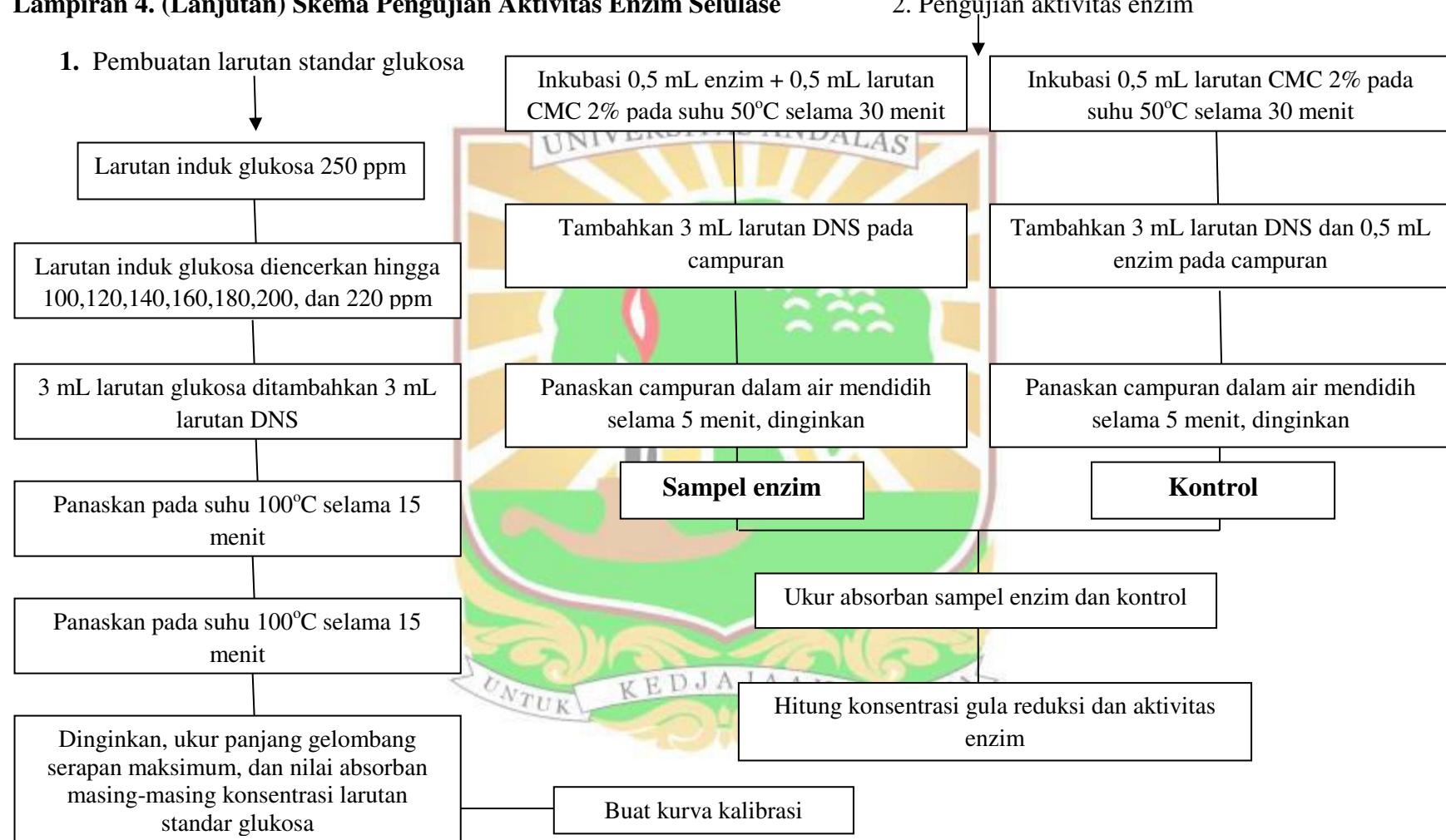


Lampiran 4. (Lanjutan) Skema Kerja Produksi Enzim Selulase



Lampiran 4. (Lanjutan) Skema Pengujian Aktivitas Enzim Selulase

1. Pembuatan larutan standar glukosa

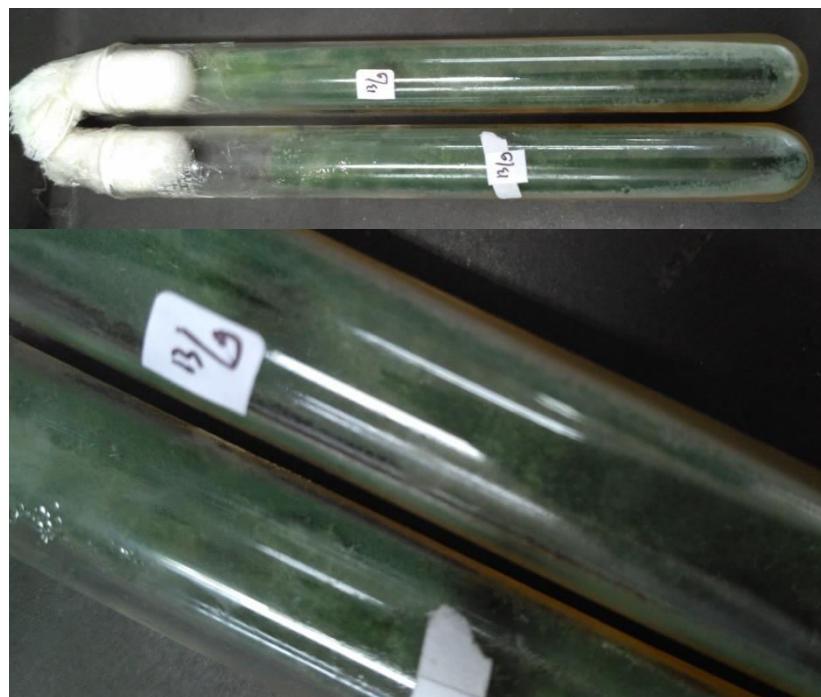


Lampiran 4. (Lanjutan)

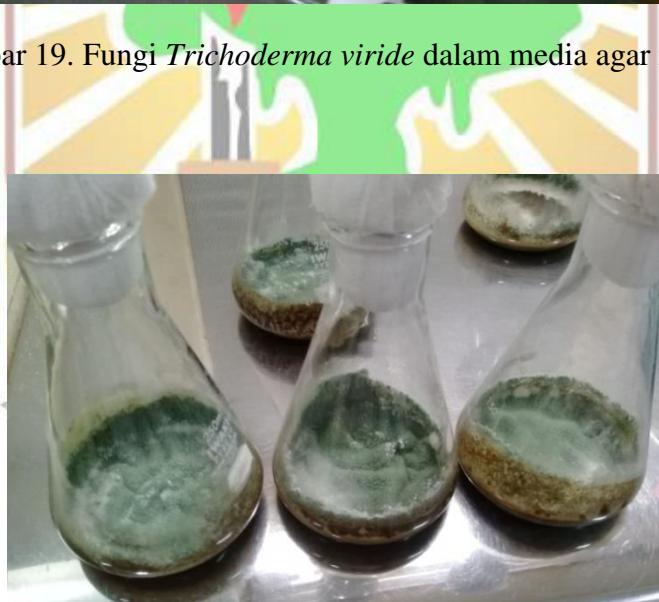
	HERBARIUM UNIVERSITAS ANDALAS (ANDA) Jurusan Biologi FMIPA Universitas Andalas Kampus Limau Manih Padang Sumbar Indonesia 25163 Telp. +62-751-777427 ext. *811 e-mail: nas_herb@yahoo.com; herbariumandaunand@gmail.com							
Nomor	: 039/K-ID/ANDA/II/2018							
Lampiran	: *							
Perihal	: Hasil Identifikasi							
<p>Kepada yth, Annisa Suri Hamdani Di Padang</p>								
<p>Dengan hormat, Schubungan dengan surat mengenai bantuan untuk "Identifikasi Tumbuhan" di Herbarium Universitas Andalas Jurusan Biologi FMIPA Universitas Andalas, kami telah membantu mengidentifikasi tumbuhan yang dibawa, atas nama:</p>								
Nama	: Annisa Suri Hamdani							
No. BP	: 1311011053							
Instansi	: Farmasi UNAND							
<p>Berikut ini diberikan hasil identifikasi yang dikeluarkan dari Herbarium Universitas Andalas.</p>								
<table border="1"><thead><tr><th>No</th><th>Family</th><th>Spesies</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.</td><td>Poaceae</td><td><i>Oryza sativa L.</i></td></tr></tbody></table>	No	Family	Spesies	1.	Poaceae	<i>Oryza sativa L.</i>		
No	Family	Spesies						
1.	Poaceae	<i>Oryza sativa L.</i>						
<p>Demikian surat ini dibuat untuk dapat digunakan seperlunya.</p>								
<p style="text-align: right;">Padang, 05 Februari 2018 Kepala,</p>  <p style="text-align: right;">Dr. Nurainas, M.Si NIP. 196908141995122001</p>								

Gambar 18. Hasil identifikasi *Oryza sativa L.*

Lampiran 4 (Lanjutan)



Gambar 19. Fungi *Trichoderma viride* dalam media agar miring



Gambar 20. Medium produksi enzim selulase setelah lima hari inkubasi

Lampiran 4. (Lanjutan)



Gambar 21. Hasil sentrifugasi enzim selulase

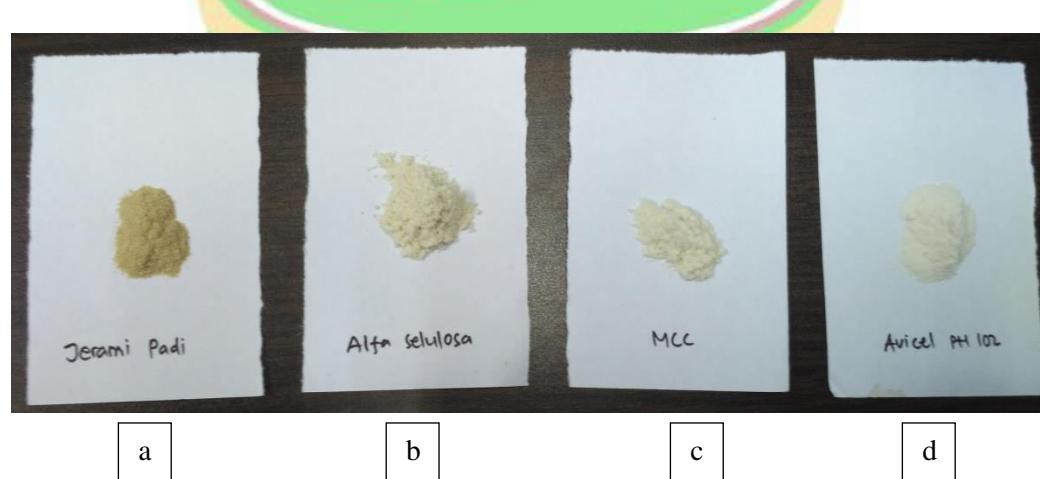


Gambar 22. Larutan standar glukosa-DNS pada beberapa konsentrasi setelah pemanasan

Lampiran 4. (Lanjutan)

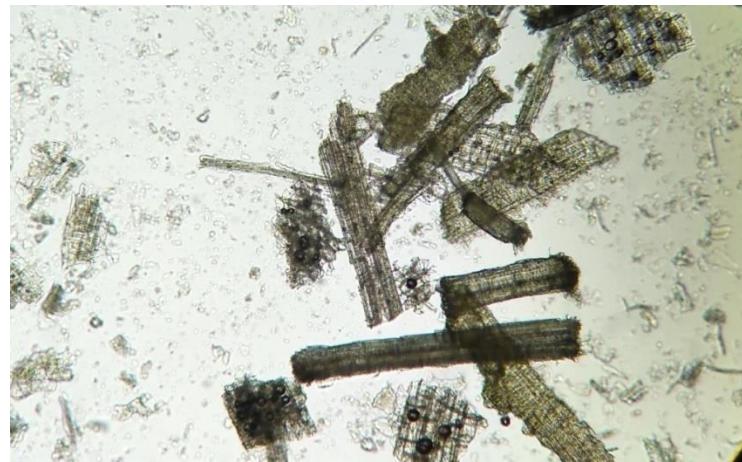


Gambar 23. Mikrokristalin selulosa sebelum (a) dan setelah sentrifugasi (b)

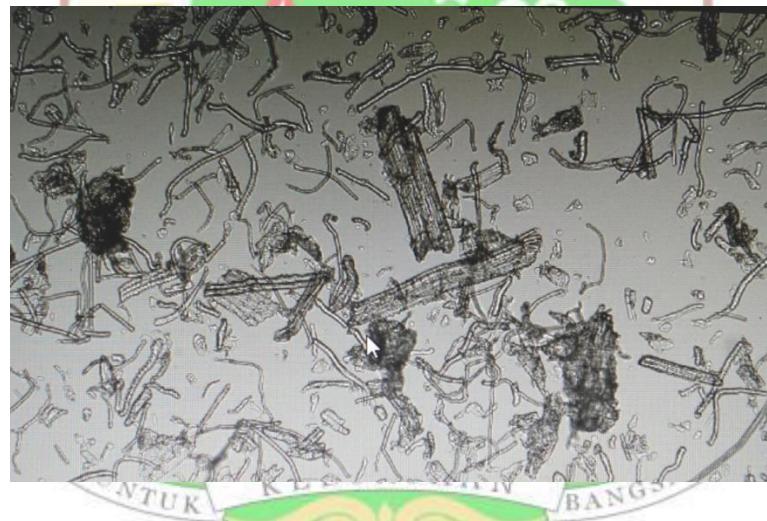


Gambar 24. Serbuk jerami padi (a), alfa selulosa (b), MCC (c) dan Avicel PH 102 (d)

Lampiran 4. (Lanjutan)



Gambar 25. Foto mikroskopik serbuk jerami padi pada perbesaran 40 x



Gambar 26. Foto mikroskopik MCC 5 pada perbesaran 40 x

Lampiran 4. (Lanjutan)



Gambar 27. Alat XRD (PANanalytical[®] : XPertPRO)

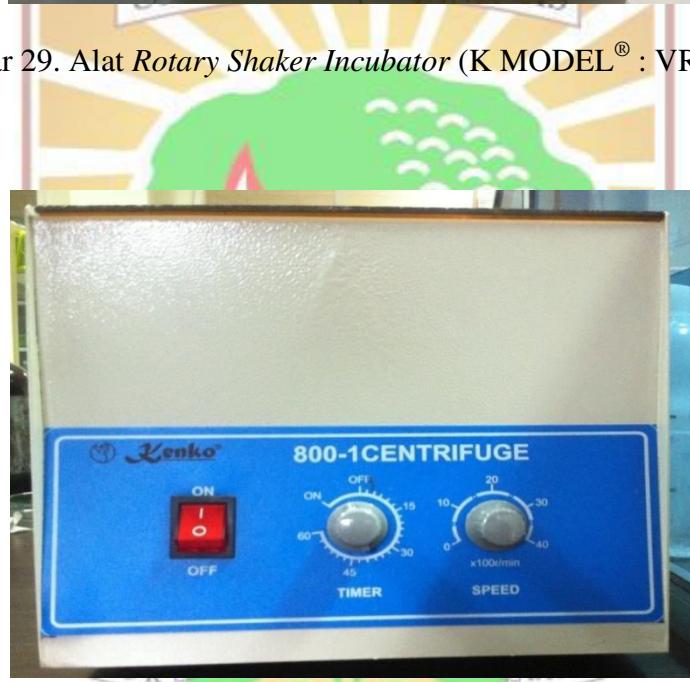


Gambar 28. Alat FTIR (PerkinElmer[®])

Lampiran 4. (Lanjutan)



Gambar 29. Alat *Rotary Shaker Incubator* (K MODEL[®] : VRN-200)



Gambar 30. Alat sentrifus (KENKO[®] : 800-1CENTRIFUGE)