

# JURNAL HARIAN HASIL PENELITIAN INDUSTRI

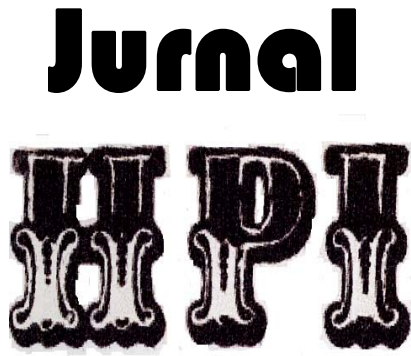
ISSN : 0215-4609

VOLUME : 23

No : 1

APRIL : 2010





1. Buletin Hasil Penelitian Industri adalah publikasi resmi Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh, terbit dua kali dalam setahun, bersifat ilmiah merupakan wadah penyebaran hasil penelitian dan pengembangan sektor industri.
2. Redaksi menerima artikel-artikel ilmiah sektor industri bidang teknologi dan *engineering* serta ekonomi.
3. Artikel-artikel dalam Buletin Hasil Penelitian Industri dapat dikutip dengan menyebutkan sumbernya.

---

**PENANGGUNG JAWAB**  
**Kepala Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh**

**KETUA REDAKSI**  
**DR. Ir. Yunardi, MASc**

**ANGGOTA REDAKSI**  
**DR. Ir. Marlina, M.Si**  
**DR. Mahidin, ST. MT**  
**DR. M. Dani Supardan, ST. MT**  
**Fitriana Djafar, S.Si, MT**

**REDAKSI PELAKSANA**  
**Mahlinda, ST**

**SEKRETARIAT**  
**Fauzi Redha, ST**

---

**Berdasarkan SK. LIPI No. 6837/V.2/KP/93 tanggal 7 Oktober 1993**  
**Buletin Hasil Penelitian Industri ISSN 0215-4609**  
**Diklasifikasikan sebagai**  
**Majalah Ilmiah**

*Gambar cover: Alat Pemecah Kemiri (Baristand Industri Banda Aceh)*

## PENGANTAR REDAKSI

Redaksi mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT karena telah dapat menyelesaikan Jurnal HPI (Hasil Penelitian Industri), Volume: 23 No. 1 Tahun 2010 untuk pembaca.

Jurnal HPI kali ini menyajikan 5 (lima) judul tulisan yang mencakup 1 artikel membahas tentang perancangan alat, 1 artikel membahas tentang pangan, dan 3 artikel membahas tentang teknologi proses.

Pada kesempatan ini, redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga jurnal ini dapat diterbitkan.

Redaksi sangat mengharapkan kiriman tulisan-tulisan ilmiah dari para peneliti baik dari kalangan akademis maupun lembaga penelitian ke Jurnal HPI ini. Redaksi juga selalu mengharapkan ktitikan dan saran dari pembaca dalam rangka memperbaiki kualitas jurnal ini sehingga dapat di akreditasi. Akhirnya Redaksi mengucapkan “*Selamat Membaca*” Jurnal ini, semoga bermanfaat.

*Redaksi*

# JURNAL HIRPI

## HASIL PENELITIAN INDUSTRI

ISSN : 0215-4609

VOLUME : 23

No : 1

APRIL : 2010

### DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR REDAKSI .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ii</b>
<b>PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGUPASAN BIJI KEMIRI MENGUNAKAN <i>VARIABLE FREQUENCY DRIVE</i> (VFD) (<i>DEVELOPMENT OF CANDLE NUT CRACKING TECHNOLOGY USING VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD)</i>)</b>	
Mahlinda.....	1
<b>PENGUNAAN ASAM ASKORBAT (VITAMIN C) UNTUK MENINGKATKAN DAYA SIMPAN SIRUP ROSELA (<i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn.) (<i>THE UTILIZATION OF ASCORBIC ACID ON ENHANCEMENT ENDURANCE TIME OF ROSELLE SYRUP (<i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn.)</i>)</b>	
Rienoviar dan Husain Nashrianto.....	8
<b>PROSES BIOAKUMULASI LOGAM KHROMIUM DALAM BIOREAKTOR AEROBIK SECARA KONTINYU OLEH YEAST (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) (<i>BIOACCUMULATION PROCESS OF CHROMIUM ON AEROBIC CONTINUOUS BIOREACTOR USING YEAST (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)</i>)</b>	
Suhendrayatna, Said Nurdin, Fauzi Redha dan Nazlul .....	19
<b>MODEL PERTUMBUHAN BIOKONTROL <i>TRICHODERMA HARZIANUM</i> DALAM MEDIA CAIR (<i>MODELLING THE GROWTH OF BIOCONTROL AGENT TRICHODERMA HARZIANUM IN LIQUID CULTURE</i>)</b>	
Syahiddin Dahlan Said.....	28
<b>PENGARUH SERAT BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI CAMPURAN DARI LEMBARAN SERAT SEMEN TERHADAP BOBOT ISI, KEKUATAN LENTUR PENYERAPAN DAN KERAPATAN AIR <i>EFFECT OF OIL PALM STEM FIBRE AS ADMIXTURE FIBRE CEMENT SHEETS AGAINST CONTENT WEIGHT, BENDING STRENGTH, ABSORPTION AND WATER TIGHTEN</i></b>	
Zainal Abidin Nasution dan Siti Masriani Rambe .....	38

# **PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGUPASAN BIJI KEMIRI MENGUNAKAN *VARIABLE FREQUENCY DRIVE* (VFD) *DEVELOPMENT OF CANDLE NUT CRACKING TECHNOLOGY USING VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD)***

**Mahlinda**

Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh. Jln. Cut Nyak Dhien No. 377.  
Banda Aceh, 23236. E-Mail: mahlinibr\_aceh@yahoo.com.

**INTISARI.** *Telah dilakukan penelitian tentang pengembangan teknologi pengupasan biji kemiri dengan menggunakan Variable Frequency Drive. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan mendesain peralatan pemecah biji kemiri dengan putaran motor yang dapat diatur menggunakan Variable Frequency Drive (VFD) tipe ATV11HU18M2A 0,75 – 3/4 HP. Hasil percobaan pemecah biji kemiri menunjukkan persentase yield tertinggi didapat pada putaran motor 1000 rpm, yaitu 67% dengan proses penjemuran 6 hari dan pendinginan dalam air es 30 menit .*

**Kata Kunci :** kemiri, pemecah kemiri, variable frequency drive

**ABSTRACT.** *The research developed of candle nut cracking using Variable Frequency Drive have been conducted. The aim of this research was to studied and to design of cadlenut cracking machine with adjustable AC motor speed using Variable Frequency Drive (VFD) type ATV11HU18M2A 0,75 – 3/4 HP. The result of cundlenut cracking process showed that the highest yield percentration at 1000 rpm motor speed was 67% with process dryer in the sun 6 days then cooler in ice 30 minutes.*

**Key word:** candlenut, candlenut cracker, variable frequency drive

## **1. PENDAHULUAN**

Kemiri (*Aleurites moluccana*) atau *candle nut* adalah salah satu tanaman industri dari famili Euphorbiaceae (Rosman, dkk, 2005) yang tersebar di daerah tropik dan subtropik (Purseglove, 1981). Kemiri telah dikenal sejak lama dan merupakan salah satu produk ekspor. Negara tujuan ekspor utama kemiri adalah Singapura, Malaysia, Netherlands dan Saudi Arabia. Dari tahun ke tahun luas pertanaman kemiri di Indonesia terus mengalami peningkatan. Pada tahun 1991 lahan kemiri mencapai 130.122 ha yang terdiri dari 130.018 ha berupa perkebunan rakyat dan 104 ha perkebunan swasta. Pada tahun 2000 luas area meningkat menjadi 205.532 hektar (205.435 ha perkebunan rakyat dan 97 ha perkebunan swasta). Produksi

kemiri pada tahun 1991 baru 36.819 ton dan tahun 2000 sebesar 74.319 ton. Terakhir dalam data statistik perkebunan tahun 2003 tercatat luas areal 212.518 ha dengan produksi 89.155 ton (Rosman R dan Djauhariya E 2005). Tanaman Kemiri adalah tanaman berpohon besar dengan ketinggian dapat mencapai 25 – 40 meter, tumbuh dipergunungan pada ketinggian 1.200 meter dari permukaan laut. Tanaman ini berasal dari Maluku dan tersebar ke Polinesia, India, Filipina, Australia, dan Kepulauan Pasifik, kemudian dikenal juga di India Barat, Brazilia dan Florida. Biji Kemiri banyak sekali kegunaannya terutama untuk bumbu masak, bahan baku kosmetik, bahan dasar cat atau sebagai bahan pengawet kayu (Paimin F.R. 1994).



Gambar 1. Buah kemiri (*Alleurites mollucana*)

Dewasa ini permintaan biji kemiri untuk pasaran dalam negeri dan luar negeri terus meningkat setiap tahunnya, namun tidak dapat dipenuhi oleh masyarakat atau petani kemiri karena tidak adanya teknologi yang tepat guna dan dapat menghasilkan biji kemiri utuh dalam kapasitas besar.

Di Provinsi Aceh, tanaman ini umumnya terdapat hampir di seluruh daerah tingkat II terutama di Kabupaten Aceh Besar dan Kabupaten Aceh Tenggara yang merupakan daerah terbesar penghasil kemiri. Menurut data BPS tahun 2002, luas areal kemiri di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam adalah 22.950 ha dengan jumlah produksi 16.245 ton (Aceh dalam Angka. BPS 2002). Namun selama ini salah satu jenis komoditi andalan ekspor ini tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Salah satu kendala yang dihadapi petani kemiri di Indonesia pada umumnya dan di Provinsi Aceh khususnya adalah tidak adanya teknologi pendukung yang mampu memproduksi biji kemiri utuh dalam jumlah besar dengan tingkat *yield* dan *quality* yang memenuhi persyaratan ekspor. Beberapa cara telah dilakukan untuk mendapatkan biji kemiri utuh baik dengan cara tradisional yang sangat sederhana, yaitu merebus, mengeringkan dan mengupas biji kemiri dengan cara membenturkan satu persatu biji kemiri dengan menggunakan alas selop karet atau rotan. Hasil yang didapatkan sangat sedikit dan tidak dapat digunakan untuk produksi dalam skala besar terutama untuk tujuan ekspor. Cara yang lebih modern yang digunakan untuk pemecahan biji kemiri adalah dengan menggunakan mesin pemecah kemiri yang digerakan oleh motor listrik ataupun mesin

diesel dengan cara melempar biji kemiri ke arah vertikal ataupun horizontal pada kecepatan tinggi, meskipun cara ini dapat menghasilkan biji kemiri utuh dalam jumlah besar namun *yield* yang didapat umumnya masih dibawah target. Hal ini disebabkan oleh putaran motor atau mesin diesel yang tinggi dan tidak dapat diatur menurut kekerasan biji kemiri. Berdasarkan penelitian Thamrin (2004), menyimpulkan bahwa umumnya kuat tekan biji kemiri berbeda-beda tergantung dari tebal cangkang yang menyelimuti daging biji kemiri dan kadar air biji kemiri. Untuk itu perlu dilakukan pemecahan biji kemiri yang sesuai dengan karakteristik biji kemiri, salah satunya adalah dengan menggunakan sebuah *inverter* atau *Variable Frequency Drive* (VFD) yang dapat mengubah frekwensi motor listrik sesuai dengan yang dikehendaki, sehingga putaran motor dapat diatur secara bebas.

### 1.1 *Variable Frequency Drive (VFD)*

VFD adalah sebuah sistem untuk mengatur kecepatan putaran motor yang menggunakan arus AC (*Alternating current*) dengan cara mengontrol frekwensi tenaga listrik yang disupply ke motor listrik (Anonimous, 2009).



Gambar 2. *Variable Frequency Drive (VFD)*

Pengatur kecepatan motor biasa juga dikenal dengan sebutan *Adjustable Frekwency Drive* (AFR), *Variable Speed Drive* (VSD), *Micro Drive* atau *Inverter*. VFD sudah digunakan secara luas di industri-industri

seperti untuk mengontrol sistem ventilasi di gedung besar, pompa, *conveyer belt*, *escalator* dan peralatan motor penggerak lainnya.

## 1.2 Prinsip Kerja VFD

Kecepatan putaran sebuah motor AC dapat diatur ditentukan oleh frekuensi arus listrik yang disuplai ke motor AC dan jumlah kutub pada stator motor, dengan mengikuti persamaan :

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

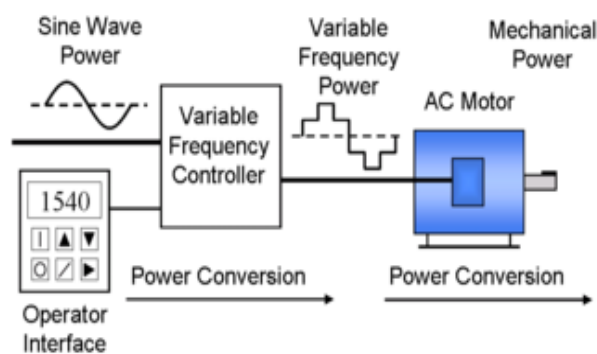
Dimana :

RPM = Putaran per menit

$f$  = Frekuensi Listrik AC

$p$  = Jumlah kutub

Angka 120 adalah konstan, yaitu 60 detik per menit dikalikan 2 kutub, dengan memvariasikan frekuensi arus listrik yang disuplai ke motor maka putaran motor dapat dipercepat dan diperlambat sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Motor AC yang digunakan pada sistem VFD adalah motor AC 3 fasa 380 volt, meskipun pada beberapa tipe tertentu motor AC 1 fasa dapat juga digunakan.



Gambar 3. Rangkaian listrik VFD

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan untuk merancang peralatan antara lain: Plat besi 1,5 mm, besi siku 4 x 4 KS, tali kipas, kabel listrik untuk

pemasangan sistem kelistrikan, dan beberapa jenis baut dan mur. Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah buah kemiri yang diambil dari sentra produksi kemiri di Kabupaten Aceh Besar dan Kabupaten Aceh Tengah yang merupakan salah satu sentra penghasil biji kemiri di Provinsi Aceh. Biji kemiri diambil secara acak dari pedagang pengumpul di dua lokasi tersebut. Untuk bahan penolong yang digunakan adalah es batu sebagai bahan proses pendinginan biji kemiri.

### 2.2 Alat

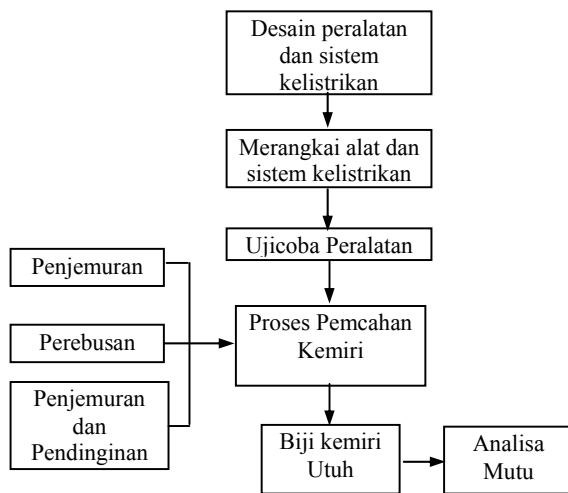
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini *Variable Frequency Drive* (VFD) type ATV11HU18M2A 0,75 – 3/4 HP, Motor AC 3 phase 380 volt 1 HP, Relay AC 220 volt dan rangkaian panel pengontrol. Bahan pembantu yang digunakan adalah kompor gas, baskom, termometer, alat pengukur Multitester dan obeng, kunci ring, dan kunci pas.

### 2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut Perancangan alat dan sistem kelistrikan, uji performance peralatan dan Pelaksanaan penelitian yang dilakukan di Laboratorium proses Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh. Secara jelas metode penelitian disajikan pada Gambar 4.

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah rendemen (*yield*) biji kemiri utuh dengan beberapa jenis perlakuan yaitu proses penjemuran, penjemuran dan pendinginan dengan variasi kecepatan putaran motor (rpm) 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 dan 1400 rpm. Biji kemiri utuh yang dihasilkan dilakukan analisa mutu yang meliputi uji kandungan minyak dengan menggunakan metode soxhlet, uji kandungan air dan bilangan asam dengan metode gravimetri serta uji benda asing, kemiri cacat dan kemiri pecah dengan cara visual. Semua metode pengujian mengacu pada persyaratan mutu SNI No. 01-684-1990.

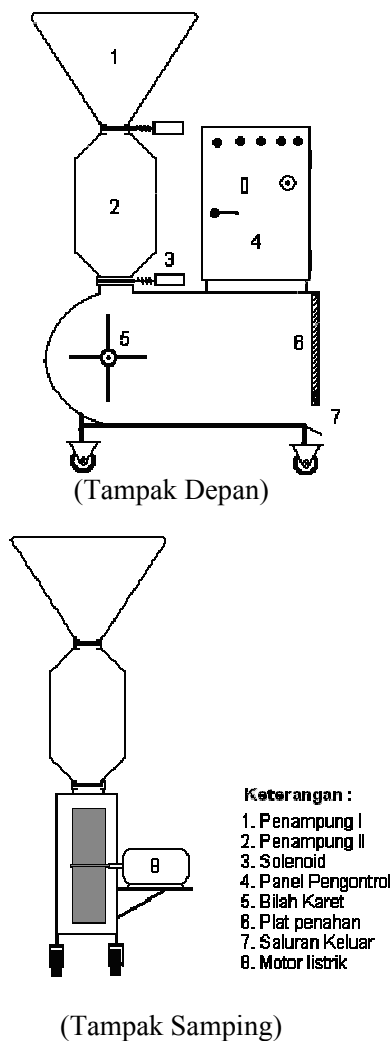




Gambar 4. Bagan alir proses pemecahan biji kemiri

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Perancangan Alat



Gambar 5. Rancangan alat pemecah kemiri

#### 3.2 Spesifikasi Peralatan

Spesifikasi peralatan pemecah kemiri yang telah dirancang adalah sebagai berikut : Sebagai penggerak digunakan motor listrik 1 HP AC 3 phasa 380 Volt, dengan kecepatan motor yang dapat divariasikan antara 200 - 1400 putaran per menit dengan menggunakan VFD, sistim pemecah kemiri menggunakan gaya sentrifugal dengan melempar kemiri kearah horizontal yang dapat memproses biji kemiri sebanyak 120 kg/jam dengan menggunakan daya listrik AC 220 Volt 6 Amp. Dimensi alat adalah panjang 100 cm, lebar 70 cm dan tinggi 125 cm.



Gambar 6. Alat pemecah kemiri sistim VFD

#### 3.3 Hasil Uji Coba Alat

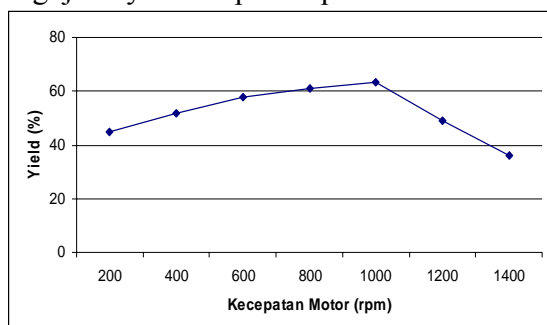
Hasil uji coba peralatan pemecahan biji kemiri dilakukan dengan variasi putaran motor antara 200 - 1400 rpm dengan beberapa jenis perlakuan pendahuluan yaitu (1) proses penjemuran biji kemiri selama 6 hari, (2) proses perebusan biji kemiri selama 60 menit, (3) proses penjemuran dan pendinginan dengan cara dicelupkan ke dalam air es selama 30 menit dan (4) proses penjemuran, perebusan dan pendinginan.

##### 3.3.1 Pengaruh Lama Penjemuran Terhadap Yield Biji Kemiri Utuh

Pada proses ini biji kemiri dijemur di panas matahari selama 6 hari setelah itu dilakukan proses pemecahan dengan putaran motor yang bervariasi. Proses penjemuran dilakukan untuk mengurangi kadar air di



dalam batok kemiri sehingga kernel kemiri akan terpisah dengan cangkangnya. Hasil pengujiannya ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh penjemuran terhadap yield biji kemiri utuh

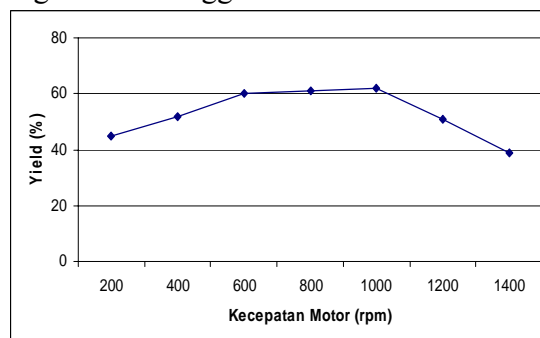
Pada Gambar 7 di atas terlihat bahwa pada putaran motor 200 rpm persentase biji kemiri pecah utuh di bawah 45% sedangkan sisanya tidak pecah hal ini disebabkan karena kuat tekan batok kemiri lebih besar dari pada gaya dorong yang diterima pada saat proses pemecahan biji kemiri. Thamrin (2007) menyatakan rata-rata kuat tekan biji kemiri pada posisi tegak adalah 169,2 kg sebelum dikeringkan dan 132,3 kg setelah dikeringkan. Persentase biji kemiri pecah utuh semakin meningkat seiring dengan peningkatan putaran motor dengan persentase tertinggi pada 1000 rpm yaitu, 62%. Pada putaran motor diatas 1000 rpm persentase biji kemiri pecah semakin besar namun persentase biji kemiri pecah utuh semakin menurun.

### 3.3.2 Pengaruh Perebusan Terhadap Yield Biji Kemiri Utuh

Proses perebusan dilakukan untuk melunakan dan membuka pori-pori batok biji kemiri agar kernel kemiri dapat terpisah dari cangkangnya sehingga biji kemiri dapat dengan mudah dipisahkan. Proses perebusan dilakukan selama 60 menit setelah itu ditiriskan dan biji kemiri dimasukkan kedalam mesin pemecah. Hasil uji coba dengan cara perebusan ditampilkan pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 dapat dilihat persentase kemiri pecah utuh hampir sama dengan cara penjemuran. Persentase tertinggi didapat pada putaran motor 1000 rpm yaitu 62%, selanjutnya persentase biji kemiri utuh akan

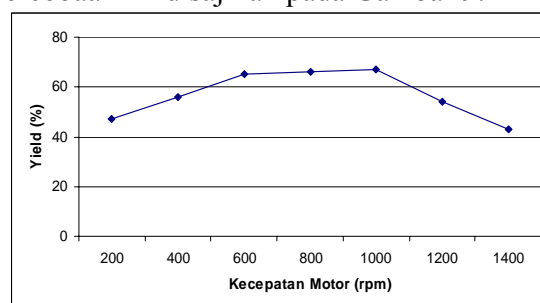
menurun karena pengaruh kecepatan motor yang semakin tinggi.



Gambar 8. Pengaruh perebusan terhadap yield biji kemiri utuh

### 3.3.3 Pengaruh Penjemuran Dan Pendinginan Terhadap Yield Biji Kemiri Utuh

Proses ini dilakukan dengan cara biji kemiri dijemur selama 6 hari setelah itu dicelupkan ke dalam air es selama 30 menit. Tujuan dari proses ini agar cangkang kemiri yang telah terpisah dari kernelnya akibat proses penjemuran akan retak karena terjadinya perlakuan kejutan dingin (*shock freezing*) secara tiba-tiba. Hasil dari percobaan ini disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh penjemuran dan pendinginan terhadap yield biji kemiri utuh

Pada perlakuan ini persentase biji kemiri utuh semakin tinggi dibandingkan dengan perlakuan sebelumnya, pada putaran motor 200 rpm persentase biji kemiri utuh adalah 45%, persentase tertinggi didapat pada putaran motor 1000 rpm yaitu, 67%.

### 3.4 Hasil Uji Produk Kemiri

Biji kemiri yang telah dikupas selanjutnya dilakukan pengujian di

Laboratorium kimia umum untuk mengetahui kesesuaian mutu dengan standar SNI. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1. Dari hasil pengujian dapat dilihat semua parameter uji memenuhi persyaratan mutu SNI No. 01-1684-1990.

### 3.5 Analisa Biaya Usaha Pemecah Kemiri

Analisa tekno ekonomi ini dimaksudkan untuk mengetahui gambaran kelayakan usaha pemecah kemiri. Dalam analisa tekno ekonomi ini dihitung beberapa komponen utama yang meliputi: (a) modal tetap, (b) biaya kerja yang terdiri dari biaya tetap dan biaya, (c) perhitungan penghasilan,

(d) perhitungan *break event point* (BEP), dan (e) masa pengembalian modal (investasi). Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2. Dari hasil perhitungan pada Tabel 2 dapat dilihat sebagai berikut, untuk modal tetap terdiri dari tanah, bangunan, peralatan/mesin dan bahan penolong dengan total biaya Rp. 180.000.000. Untuk biaya kerja terdiri dari biaya tetap yaitu gaji operator 3 orang dengan asumsi Rp. 1.500.000,-/orang per bulan dan biaya penyusutan bangunan dan mesin dengan asumsi penyusutan sekitar 20%/tahun, sehingga sisa modal tetap dalam jangka waktu 5 tahun adalah Rp. 0,-.

Tabel 1. Hasil uji kemiri dan persyaratan SNI No. 01-1684 -1990

No	Jenis Uji	Metode Analisis	Satuan	Hasil Uji	Persyaratan SNI
1	Minyak, b/b	Soxhlet	%	58,97	Min. 60
2	Air, b/b	Gravimetri	%	3,98	Max. 5
3	Bilangan asam	Gravimetri	%	0,91	Max. 5
4	Benda asing, b/b	Visual	%	0	0
5	Kemiri cacat, rusak, busuk, b/b	Visual	%	4,5	Max. 5
6	Kemiri pecah	Visual	%	5	Max. 5

Tabel 2. Analisa tekno ekonomi proses pemecah biji kemiri

URAIAN BIAYA	NILAI (Rp)
<b>A. MODAL TETAP</b>	
1. Tanah 200 m2 @ Rp. 200.000	40.000.000
2. Bangunan 100 m2 @ Rp. 300.000	30.000.000
3. Peralatan/mesin 1 unit	25.000.000
4. Peralatan penolong 1 paket	5.000.000
<b>Jumlah Modal Tetap (A)</b>	<b>100.000.000</b>
<b>B. BIAYA KERJA</b>	
<b>1. Biaya Tetap</b>	
a. Gaji Operator 3 org x @ Rp. 1.500.000	4.500.000
b. Biaya penyusutan 2% x 100.000.000	2.000.000
<b>Jumlah Biaya Tetap</b>	<b>6.500.000</b>
<b>2. Biaya Tidak Tetap</b>	
a. Bahan Baku Kemiri 120 kg/jam x 8 jam x 26 hari = 24.960 kg @ Rp.3.000	74.880.000
b. Biaya listrik 0,760 kw x 8 jam x Rp. 800 x 26 hari	166.400
c. Biaya Tak Terduga	600.000
<b>Jumlah Biaya Tidak Tetap</b>	<b>75.646.400</b>
<b>Jumlah Biaya Kerja (B)</b>	<b>82.146.400</b>
<b>C. PERHITUNGAN PENGHASILAN</b>	
a. Hasil penjualan biji kemiri kupas 40% x 24.960 kg = 9.984 kg x @ Rp. 11.000	109.824.000
b. Biaya produksi: biaya tetap + biaya tidak tetap	82.146.400
c. Penghasilan Kotor	27.677.600
d. Pajak Penghasilan 10% x 27.677.600	2.767.760

Biaya tidak tetap meliputi biaya pembelian bahan baku buah kemiri dari pedagang pengumpul dengan harga Rp. 4000/kg (harga tahun 2009), bahan penolong yang digunakan meliputi biaya pembelian bahan bakar minyak untuk proses perebuasan biji kemiri. Biaya tidak tetap lainnya adalah biaya listrik dan biaya tak terduga. Rendemen biji kemiri yang dihasilkan setelah proses pengupasan adalah 40% (1 kg biji kemiri dapat menghasilkan 400 gram biji kemiri kupas) sedangkan sisanya adalah cangkang kemiri. Harga jual biji kemiri kupas adalah Rp. 12.500/kg, setelah dikurangi biaya produksi dan pajak penghasilan 10%, maka dalam satu tahun penghasilan bersih adalah Rp. 82.656.880.

#### 4. KESIMPULAN

1. Hasil uji kinerja peralatan pemecah biji kemiri menunjukkan kapasitas pemecah biji kemiri adalah 120 kg/jam, dapat dioperasikan pada putaran motor antara 200–1400 rpm dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) tipe ATV11HU18M2A 0,75 – 3/4 HP, sumber arus AC 220 Volt 6 Ampere 1 phase.
2. Hasil percobaan pemecah kemiri menunjukkan pada putaran motor 200 rpm *yield* bijikemiri pecah utuh rata-rata di bawah 60% sedangkan pada putaran motor di atas 1000 rpm *yield* biji kemiri pecah utuh semakin menurun rata-rata di bawah 54 % pada semua perlakuan.
3. Persentase *yield* tertinggi didapat pada putaran motor 1000 rpm dengan yaitu 67% pada perlakuan penjemuran selama 6 hari dan pendinginan dalam air es selama 30 menit.

#### DAFTAR PUSTAKA

BPS, *Aceh Dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam, 2004.

Craig R. E dan Harley I. M., *Specific Profiles for Pacific Island Agroforestry*, [www.traditionaltree.org](http://www.traditionaltree.org), Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawaii 96725, USA, 2006.

Paimin, F.R., *Kemiri: Budidaya dan Prospek Bisnis*, Penebar Swadaya, Jakarta, 1994.

Purseglove, J.W., *Aleurites montana Wils*, Tropical Crops Dicotyledons, Vol. 1, The Print House (Pte) Ltd, Singapore, L:140 – 144, 1981.

Koji Tanaka, *Kemiri (Aleurites moluccana) and Forest Resource Management in Eastern Indonesia: An Eco-historical Perspective*, International Symposium and Workshop, “The Beginning of the 21st Century: Endorsing Regional Autonomy, Understanding Local Cultures, Strengthening, *Journal of Antropologi*, Universitas Hasanuddin, Makasar, 2000.

Rosman R dan Djauhariya E., *Status dan Teknologi Budidaya Kemiri*, Balai Penelitian Obat dan aromatika, 2005.

Ruslan Muh dan Thamrin Imran, Waktu Optimum Perlakuan Awal Kejut Dingin Perendaman di dalam Air dan Penirisan Biji Kemiri Pada Proses Pengupasan Kulit Batok, *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, Vol. 35 No. 1, Balai Besar Industri Hasil Perkebunan. Makasar, 2007.

Thamrin Imran, Mempelajari Kuat Tekan Kulit Batok Biji Kemiri (*Aleurites moluccana*) terhadap Waktu Pengeringan Biji, *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, Vol. 35 No. 2, Balai Besar Industri Hasil Perkebunan, Makasar, 2007.

Wikipedia, *Variable Frequency Drive*, [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), 2009.

# **PENGUNAAN ASAM ASKORBAT (VITAMIN C) UNTUK MENINGKATKAN DAYA SIMPAN SIRUP ROSELA (*Hibiscus sabdariffa* Linn.)**

## **THE UTILIZATION OF ASCORBIC ACID ON ENHANCEMENT ENDURANCE TIME OF ROSELLE SYRUP (*Hibiscus sabdariffa* Linn.)**

**Rienoviar<sup>1)</sup> dan Husain Nashrianto<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Balai Besar Industri Agro, Jl. Ir. H. Juanda, No. 11 Bogor

<sup>2)</sup> Program Studi Farmasi FMIPA Universitas Pakuan Bogor

Alamat korespondensi: rienoviar@yahoo.com

**INTISARI.** Studi ini mempelajari tentang daya simpan sirup rosella (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) yang dibagi dalam 2 tahap penelitian. Tahap pertama adalah menentukan metode pemanasan dan konsentrasi asam askorbat yang akan digunakan pada penelitian tahap kedua. Pada tahap kedua adalah mengamati pengaruh konsentrasi asam askorbat (0.2; 0.3 and 0.4%) terhadap daya simpan sirup rosella selama dua bulan. Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa tidak ada perubahan terhadap warna rosella setelah pasteurisasi pada suhu 70°C. Hasil penelitian utama terhadap total plate count sirup rosella menunjukkan bahwa selama masa simpan 2 bulan jumlah mikroba maksimal hanya 10 kol/mL (memenuhi syarat SNI sirup tahun 1992). Nilai pH sirup rosella masih di bawah syarat SNI sirup tahun 1992. Hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa panelis menyukai warna merah sirup rosella, dan penambahan konsentrasi asam askorbat selama waktu simpan ternyata tidak memberikan efek yang signifikan pada nilai organoleptik sirup (rasa, aroma, dan warna) dan nilai padatan terlarut (°Brix). Oleh karena itu asam askorbat dapat berperan sebagai anti oksidan dan pengawet selama waktu simpan sirup rosella tanpa penggunaan pengawet, tetapi perlu penambahan konsentrasi gula supaya pH dan derajat brix memenuhi persyaratan SNI sirup 1992

**Kata kunci:** Anti oksidan, asam askorbat, sirup rosella (*Hibiscus sabdariffa* Linn.), daya simpan

**ABSTRACT.** This study investigated endurance time of roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) in two steps. The first step determined the heating method and ascorbic acid concentration for the second step research method. The second step observed the influence of ascorbic acid concentration (0.2; 0.3 and 0.4%) on self life roselle syrup during two month. The introduction experiment produce that there wasn't any change on roselle colour after pasteurisation on 70°C. The prime experiment reveal to total plate count of roselle syrup indicated that, during saving time 2 month total microbe maximal are 10 kol/mL (still in SNI requirement 1992). The pH values of roselle syrup still under SNI 1992 year requirement. The organoleptic test showed that panelists were interested on red colour of roselle syrup, and increasing ascorbic acid concentration during saving time didn't give any significant effect on syrup performance (taste, odor, and colour) and °Brix values. So ascorbic acid as both anti-oxidant and preservative on endurance time of roselle syrup without preservative, but necessary addition of sugar concentration so that the pH and °Brix to be fulfilled of syrup SNI requirement.

**Keywords:** Anti-oxidant, ascorbic acid, roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) syrup, endurance time

## 1. PENDAHULUAN

*Hibiscus sabdariffa* L. merupakan spesies tanaman dari famili *malvaceae*. Spesies yang memiliki nama lain *Roselle*, *sorrel*, *mesta* dan *karkade* ini terkenal di negara-negara Timur Tengah dan hampir semua negara tropis seperti Malaysia, Indonesia, Thailand, dan Filipina (Chemonarin *et al.*, 1999). Kandungan utama tanaman rosela adalah anthocyanin, antioksidan, asam organik dan karbohidrat (Provital., 2003).

Tanaman rosela banyak dimanfaatkan sebagai obat tradisional (Dahiru *et al.*, 2003). Kelopak bunga rosela merah mengandung asam organik polisakarida dan flavonoid, yang bermanfaat mencegah penyakit kanker, mengendalikan tekanan darah, melancarkan peredaran darah, dan melancarkan buang air besar dan diabetes (Prawira, 2006; Astawan dan kasih, 2008). Warna merah cerah dan mempesona menjadikan bunga rosella sebagai bahan baku produk makanan yang berharga dan bervariasi (Tsai *et al.*, 2002). Pada penelitian lebih lanjut oleh Maryani *et al.*, (2005) bagian kelopak bunga rosela yang segar dimanfaatkan untuk pewarna dan perisa dalam membuat anggur, sirup, gelatin, pudding, dan cake. Kelopak kering biasa dimanfaatkan untuk membuat teh, jeli, selai, es krim, sorbet, mentega, pai, saus dan sebagainya.

Produk-produk minuman kesehatan dari kelopak bunga rosela telah banyak beredar di pasaran, misalnya teh celup bunga rosela. Sebagian produk tersebut merupakan barang impor yang relatif mahal, terutama untuk rosella yang berwarna merah keunguan. Bunga rosela mengandung warna merah, merah keunguan dan antioksidan yang berkhasiat untuk menjaga kesehatan tubuh manusia. Alternatif produk olahan minuman kesehatan dari bunga rosela salah satunya adalah sirup rosela yang mempunyai rasa dan aroma khas dibandingkan apabila disajikan dalam bentuk teh karena teh hanya diseduh.

Sebagian besar kandungan sirup bunga rosela adalah air. Air adalah media yang sangat baik untuk pertumbuhan mikroba. Hal inilah yang menyebabkan sirup memerlukan

pengawet sehingga daya simpan sirup menjadi lebih lama. Di samping itu, produk pangan seperti sirup, sari buah dalam kaleng atau sejenisnya juga memerlukan antioksidan untuk mencegah atau menghambat terjadinya proses oksidasi (Winarno *et al.*, 1994). Apalagi produk pangan dari rosela mengandung warna alami yang perlu dilindungi dari pengaruh luar seperti cahaya, caranya dengan menambahkan antioksidan, seperti asam askorbat (Vitamin C).

Penggunaan bahan pengawet yang aman sangat diharapkan mengingat fungsi rosela sebagai makanan berkhasiat, sehingga tidak membahayakan para konsumen. Asam askorbat (vitamin C) merupakan antioksidan yang dapat mencegah oksidasi, dan merupakan nutrisi serta vitamin yang larut dalam air dan penting untuk menjaga kesehatan. Vitamin C merupakan satu-satunya vitamin yang memiliki gugus enadiol dengan daya reduksi kuat dan juga pemberi sifat asam (Moeljohardjo, 1998). Vitamin C juga berperan sebagai pemberi proteksi bagi bagian yang mengandung air dari sel jaringan ataupun organ, dan sebagai antioksidan untuk menangkal beberapa radikal bebas (Halliwell, 1989). Penambahan vitamin C pada penelitian ini diharapkan dapat membantu memperpanjang masa simpan sirup rosela yang tidak ditambahkan pengawet. Selain itu kondisi penyimpanan yang baik dibutuhkan untuk mempertahankan warna alaminya.

Pada penelitian ini dibuat minuman dari kelopak bunga rosela dalam bentuk sirup dengan menggunakan asam askorbat sebagai antioksidan dalam berbagai konsentrasi (0,2; 0,3, dan 0,4%). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan asam askorbat terhadap daya tahan simpan sirup rosela yang tidak menggunakan pengawet.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah blender, pengaduk, bunsen, botol dan tutup yang sudah disterilkan, kain saring, corong,

baskom, HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*), pH meter, refraktometer, kromameter, cawan petri dan alat-alat lain untuk analisis.

Bahan yang digunakan terdiri dari bahan untuk pembuatan sirup dan bahan untuk analisis sirup. Bahan untuk pembuatan sirup yaitu kelopak bunga rosela segar yang diperoleh dari Balittro (Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat); kelopak bunga rosela kering dari daerah Purbalingga-Jawa Tengah; gula pasir; CMC (*Carboxy Methyl Cellulosa*). Bahan untuk analisis antara lain media PCA (*Plate Count Agar*), BPW (*Buffered Peptone Water*), heptana heksana, methanol, asam asetat, dan asetonitril yang diperoleh di Toko Bahan Kimia di Bogor.

Penelitian dilakukan di Balai Besar Industri Agro, Bogor.

## 2.2 Prosedur

Penelitian dilakukan dalam 2 tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Pada penelitian pendahuluan dilakukan pembuatan sirup rosela dimana bahan yang digunakan berupa kelopak bunga rosela segar dan kelopak bunga rosela kering. Pada pendahuluan ini ada tiga faktor pengaruh perlakuan yang ingin diketahui yaitu; pengaruh suhu pemanasan, konsentrasi asam askorbat, pengaruh kadar air bahan (kelopak kering dan kelopak basah) dan suhu sterilisasi. Pertama adalah pengaruh suhu pemanasan yaitu pasteurisasi pada suhu 70°C selama 30 menit dan sterilisasi 100°C selama 15 menit. Pengamatan hanya dilakukan secara visual saja yaitu perubahan warna sirup setelah dipanaskan. Kedua adalah pengaruh konsentrasi antioksidan yang ditambahkan pada sirup, yaitu 0,1%; 0,3% dan 0,5%. Pengamatan dilakukan terhadap total mikroba (TPC). Ketiga pengaruh kadar air bahan (kelopak kering dan kelopak basah) dan suhu sterilisasi. Tujuannya untuk mengetahui keberterimaan panelis terhadap sirup rosela yang dibuat dari kelopak bunga segar dan kelopak bunga kering). Pengamatan dilakukan terhadap uji organoleptik dan total padatan terlarut. Hasil analisis pada penelitian

pendahuluan dijadikan acuan pada tahap berikutnya.

Penelitian lanjutan bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan asam askorbat terhadap masa simpan sirup. Adapun konsentrasi asam askorbat yang ditambahkan yaitu 0,2%; 0,3% dan 0,4%. Suhu pemanasan yang digunakan adalah suhu 70°C selama 30 menit. Penetapan beberapa konsentrasi asam askorbat dan suhu pemanasan pada penelitian lanjutan ini didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan, Pengamatan dilakukan setiap minggu selama 8 minggu dan dilakukan analisis terhadap pH, total padatan terlarut (°Brix), total mikroba (TPC), intensitas warna dengan alat kromameter, dan uji organoleptik terhadap rasa, aroma dan warna.

### 2.2.1 Cara Pembuatan Sirup Bunga Rosella Pada Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan, pembuatan sirup dilakukan dengan dua perlakuan, yaitu pembuatan sirup rosela dengan bunga segar dan bunga kering. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan daya terima sirup bunga rosella.

#### a. Pembuatan Sirup Rosela dengan Bunga Segar

Kelopak bunga rosela segar ditimbang sebanyak 250 g, diambil bagian kelopak lalu dicuci. Kelopak bunga rosela diblender dengan ditambah air matang dengan perbandingan (1:1) hingga hancur. Kelopak bunga yang telah diblender disaring hingga menghasilkan larutan rosela jernih. Sebanyak 700 mL larutan gula 60% dicampurkan kedalam larutan rosela, dan ditambahkan 50 mL larutan CMC 0,2% kemudian ditera hingga 1000 mL. Larutan rosela diaduk hingga homogen.

Penelitian dilanjutkan dengan proses pengemasan sirup ke dalam botol. Botol kaca dan tutup dicuci bersih sebelum digunakan. Kemudian, botol kaca dan tutup direbus dalam air mendidih selama 30 menit. Botol diangkat dari air panas, kemudian 100 mL sirup dimasukkan ke dalam masing-masing botol, sirup segera ditutup dengan penutup botol,

kemudian botol berisi sirup ini dipanaskan dengan 2 metode yaitu pasteurisasi pada suhu 70°C selama 30 menit dan sterilisasi pada suhu 100°C selama 15 menit.

## b. Pembuatan Sirup Rosela dengan Bunga kering

Kelopak bunga rosela kering ditimbang sebanyak 11 g, kemudian dimasukkan dalam 200 mL air mendidih, diamkan kira-kira 30 menit hingga zat warna keluar semua dari kelopak bunga dan larutan menjadi berwarna merah tua, kemudian ditambahkan 700 mL larutan gula (60%). ditambahkan 50 mL larutan CMC 0,2%, aduk hingga homogen, dan disaring. Kemudian ditera hingga 1000 mL.

Proses pembotolan dan sterilisasi dilakukan dengan metode yang sama seperti pada pembuatan sirup rosela dengan bunga segar. kemudian botol berisi sirup ini dipanaskan dengan 2 metode yaitu pasteurisasi pada suhu 70 °C selama 30 menit dan sterilisasi pada suhu 100 °C selama 15 menit.

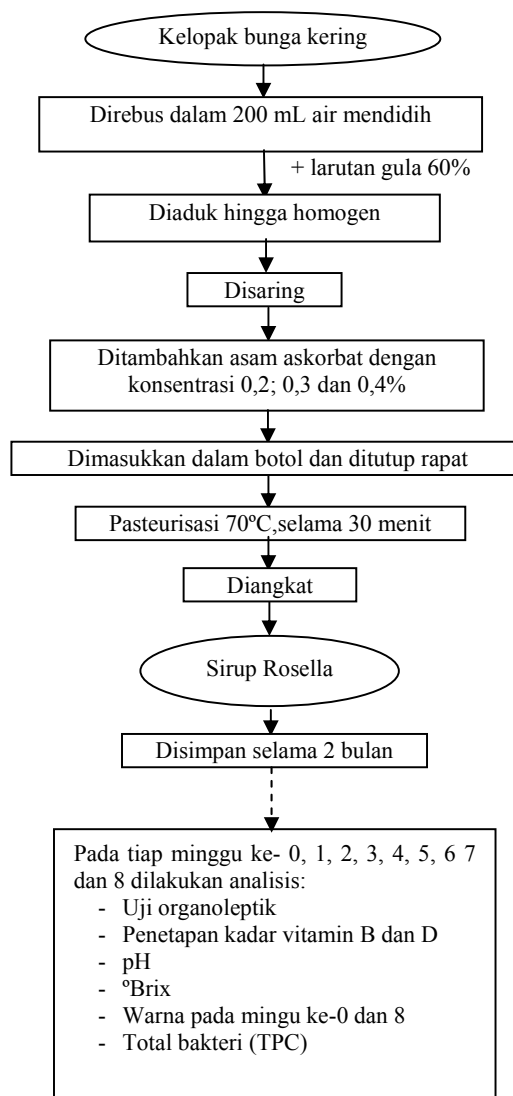
### 2.2.2 Penelitian Lanjutan

Penelitian lanjutan dilakukan berdasarkan dari penelitian pendahuluan. Kelopak bunga rosela kering ditimbang sebanyak 11 g. Kemudian, kelopak rosela kering dicuci dengan air bersih dan ditiriskan. Sebanyak 200 mL air dimasak hingga mendidih, kemudian api dimatikan dan dimasukkan kelopak rosela kedalam air mendidih, kompor dimatikan, dan didiamkan selama 30 menit hingga warna larutan menjadi lebih pekat (merah tua), kemudian disaring dan dipisahkan dari kelopaknya. Sebanyak 700 mL larutan gula (60%) ditambahkan ke dalam larutan tersebut dan tambahkan 50 mL larutan CMC 0,2% dan diaduk hingga homogen, kemudian ditera hingga 1000 mL. Selanjutnya ditambahkan antioksidan berupa asam askorbat dengan berbagai konsentrasi (0,2; 0,3 dan 0,4%) dan diaduk hingga homogen.

Selanjutnya proses pengemasan sirup ke dalam botol. Botol kaca dan tutup dicuci

bersih sebelum digunakan. Kemudian, botol kaca dan tutup direbus dalam air mendidih selama 30 menit. Botol diangkat dari air panas, kemudian 100 mL sirup dimasukkan ke dalam masing-masing botol, segera botol ditutup, kemudian botol berisi sirup ini dipanaskan pada suhu 70°C selama 30 menit. Setelah itu botol diangkat dan sirup disimpan pada suhu kamar.

Sirup yang telah diberi vitamin C disimpan selama 2 bulan pada suhu kamar. Pengamatan dilakukan pada minggu ke 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Diagram alir proses pembuatan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan sirup rosella



## 2.3 Analisis

Analisis yang dilakukan sebagian mengikuti SNI-01-2891-1992, meliputi analisis pH, total padatan terlarut ( $^{\circ}$ Brix), dan total mikroba (TPC). Analisis intensitas warna dengan alat kromameter dilakukan terhadap sirup pada minggu ke-0 dan minggu ke-8, hal ini dilakukan karena selama penyimpanan warna diamati secara fisik tidak berubah. Uji organoleptik terhadap rasa, aroma dan warna (Soekarto, 1985). Uji organoleptik ini dilakukan dalam tingkatan-tingkatan menggunakan skala hedonik 1-5 (Rahayu, 2001).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Penelitian Pendahuluan

Pada tahap pendahuluan ada 3 percobaan yang dilakukan, yaitu suhu sterilisasi, variasi konsentrasi vitamin C, dan jenis kelopak kering atau kelopak segar.

#### 3.1.1 Suhu Sterilisasi

Pada percobaan penggunaan 2 macam suhu sterilisasi pada pembuatan sirup, yaitu pada suhu 70°C selama 30 menit dan 100°C selama 15 menit. Ternyata pemanasan suhu 70°C selama 30 menit menghasilkan sirup rosela yang warnanya tidak berubah, tetapi pemanasan suhu 100°C selama 15 menit menghasilkan perubahan warna sirup rosela menjadi pink muda. Hal ini dikarenakan warna dari bunga rosela tidak tahan dengan pemanasan menggunakan suhu tinggi. Menurut penelitian Cisse *et al.*, (2009) degradasi antosianin (warna merah) pada ekstrak rosela memberikan laju reaksi terendah pada suhu rendah yaitu 30°C-40°C, sedangkan pada suhu tinggi (70°C- 90°C) laju degradasi antosianin tinggi. Menurut Astawan dan Kasih (2008) proses pemanasan merupakan faktor terbesar yang menyebabkan kerusakan antosianin, proses pemanasan terbaik untuk mencegah kerusakan antosianin adalah pada suhu tinggi tetapi dalam jangka waktu singkat.

Hasil analisis kandungan vitamin C rosella segar menggunakan HPLC sebesar 256 mg/100 g. Sedangkan kandungan vitamin C sirup rosela yang dipanaskan pada suhu 70°C selama 30 menit adalah sebesar 190,91 mg/L, dan kandungan vitamin C sirup rosela yang dipanaskan pada suhu 100°C selama 15 menit adalah sebesar 188,64 mg/L. Jadi proses pengolahan yang menggunakan pemanasan menurunkan kandungan vitamin C sekitar 60 mg/L. Sedangkan kandungan vitamin D bunga rosela segar yang dianalisis menggunakan HPLC sebelum diproses menjadi sirup sebesar 2,51  $\mu$ g/100g, setelah diproses menjadi sirup kandungan vitamin D nya tidak terdeteksi, ini dikarenakan ada proses pemanasan yang dilakukan untuk tujuan pasteurisasi atau sterilisasi. Kandungan vitamin B kelopak bunga rosela sebelum dan sesudah diproses menjadi sirup tidak terdeteksi, mungkin karena kemampuan alat yang digunakan untuk menganalisis terbatas atau bisa juga jenis rosela yang dipakai memang tidak mengandung vitamin B. Menurut literatur menyebutkan bahwa bunga rosela mengandung vitamin B1 dan B2 (<http://www.rileks.com>).

#### 3.1.2 Variasi Konsentrasi Vitamin C Terhadap Ketahanan Simpan Sirup Rosela

Daya tahan simpan sirup rosela yang ditambahkan 3 macam konsentrasi vitamin C dapat dilihat pada Tabel 1 berikut. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa penambahan asam askorbat kedalam sirup rosela untuk konsentrasi asam askorbat 0,1% dan lama penyimpanan 1 minggu sudah terlihat warna putih pada bagian atas sirup artinya sirup sudah ditumbuhi jamur. Pada konsentrasi asam askorbat 0,3% dan 0,5% sirup tidak ditumbuhi jamur, karena sirup terlihat bersih dan bening. Penambahan vitamin C 0,1% masih belum bisa mencegah oksidasi sirup rosela karena terjadi perubahan warna sirup. Oleh karena itu, untuk penelitian lanjutan dilakukan penambahan konsentarsi asam askorbat 0,1% lebih kecil dari 0,3% dan 0,1 % lebih besar dari 0,3%.

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi vitamin C pada penyimpanan 1 bulan

Konsentrasi	Kandungan TPC			
	1 minggu	2 minggu	3 minggu	4 minggu
0,1%	tumbuh jamur, dan warna memudar	tumbuh jamur, dan warna memudar	tumbuh jamur, dan warna memudar	tumbuh jamur, dan warna memudar
0,3%	Normal	Normal	Normal	Normal
0,5%	Normal	Normal	Normal	Normal

### 3.1.3 Pengaruh Bahan Baku Rosela (Kelopak Bunga Kering atau Basah)

Pada penelitian ini dicoba pembuatan sirup menggunakan kelopak bunga kering atau basah dengan tujuan untuk mengetahui keberterimaan panelis terhadap rasa sirup. Hasilnya yaitu kelopak bunga kering menghasilkan sirup rosela yang lebih disukai daripada kelopak bunga segar, karena sirup yang dibuat dari kelopak bunga segar menghasilkan rasa sedikit pahit siujung lidah setelah diminum.

Pengaruh kelopak bunga kering dan bunga segar dan suhu sterilisasi terhadap nilai total padatan terlarut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Nilai total padatan terlarut (°Brix) sirup rosela

Bahan/ Metode	Pasteurisasi 70°C	Pasteurisasi 100°C
Rosela segar	52,30	52,48
Rosela kering	49,10	49,35

Pada Tabel 2 dapat dilihat nilai total padatan terlarut (°Brix) sirup rosela yang dibuat dari kelopak bunga rosela kering dan kelopak bunga segar dan suhu sterilisasi 70°C dan 100°C tidak berbeda nyata.

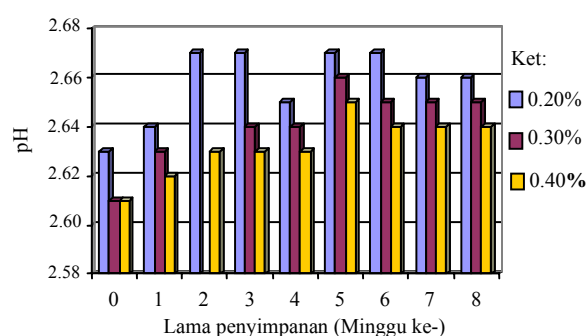
## 3.2 Hasil Penelitian Utama

Pada Penelitian ini parameter uji yang diamati meliputi analisis pH, total padatan terlarut (°Brix), dan total mikroba (TPC), intensitas warna dengan alat kromameter dan uji organoleptik terhadap rasa, aroma dan warna.

### 3.2.1 Nilai pH

Pengukuran pH merupakan salah satu parameter yang penting karena nilai pH yang

stabil dari larutan menunjukkan bahwa proses distribusi dari bahan dasar dalam sediaan merata. Nilai pH ini juga dihubungkan dengan kualitas produk yang berkaitan dengan pengolahan maupun pengawetan bahan makanan. Produk dengan keasaman tinggi akan lebih awet, karena pada umumnya mikroba akan sulit tumbuh pada media dalam suasana asam. Perubahan nilai pH yang signifikan dapat merubah rasa suatu produk pangan. Nilai pH pada penelitian ini adalah antara 2,61-2,67. Dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



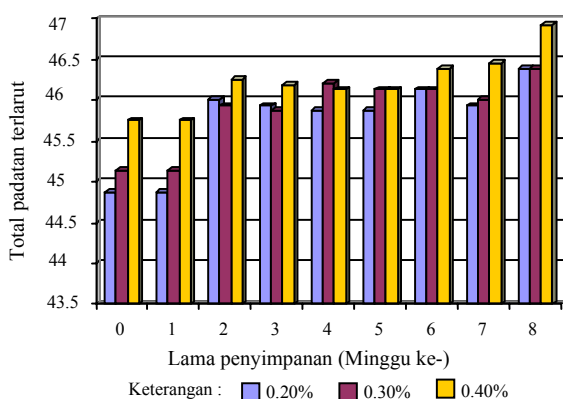
Gambar 2. Pengaruh lama penyimpanan dan konsentrasi asam askorbat terhadap derajat keasaman (pH)

Pada Gambar 2 diatas, dapat dilihat bahwa nilai pH sirup rosela sangat bervariasi. Hal ini mungkin selama proses pengadukan yang dilakukan kurang homogen. Menurut Lachman *et al*, 1994 Pengadukan yang tidak homogen dapat menyebabkan pH yang bervariasi. Nilai pH yang diperoleh selama penyimpanan tetap stabil karena masih berada pada kisaran yang tidak jauh berbeda dengan nilai pH pada awal pengukuran. Hal ini dapat juga menunjukkan bahwa sirup rosella tidak mengalami kerusakan. Nilai pH pada penelitian ini tidak memenuhi persyaratan SNI yaitu antara 3,5-40 (SNI, 1992). Hal ini disebabkan oleh kandungan asam rosela yang

tinggi (berkisar 2,61-2,67) sehingga pH menjadi rendah. Fasoyiro *et al.* (2005) dari Nigeria melakukan penelitian tentang kualitas *sensory* dari minuman rosela pada pengukuran pH ekstrak rosella mendapati nilainya sebesar 3,1.

### 3.2.2 Total Padatan Terlarut (°Brix)

Pada penelitian ini, nilai total padatan terlarut berkisar antara 44,88-46,93. Nilai total padatan terlarut tertinggi sebesar 46,93 °Brix adalah sirup dengan konsentrasi asam askorbat 0,4% pada minggu ke-8, sedangkan nilai total padatan terlarut terendah adalah 44,88 °Brix, sirup dengan konsentrasi asam askorbat 0,2% pada minggu ke-0 dan ke-1. Perubahan nilai total padatan terlarut dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Pengaruh lama penyimpanan dan konsentrasi asam askorbat terhadap nilai total padatan terlarut

Pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh lama penyimpanan dan konsentrasi asam askorbat terhadap nilai total padatan terlarut. Tinggi rendahnya nilai total padatan terlarut disebabkan terjadinya kesetimbangan antara rasa manis dari gula dengan jumlah kandungan asam yang terdapat pada kelopak rosela yang digunakan pada pembuatan sirup. Nilai total padatan terlarut sampai minggu ke 8 masih baik, dari grafik terlihat ada peningkatan nilai total padatan terlarut, hal mungkin terjadi pembentukan gula disakarida karena gula berada pada suasana asam. Menurut De Man (1997) jika gula pada

konsentrasi tinggi pada suasana asam dan suhu kamar akan terjadi reaksi pembentukan disakarida dengan ikatan yang menonjol adalah  $\alpha$ -D-1-6 dan  $\beta$ -D-1-6.

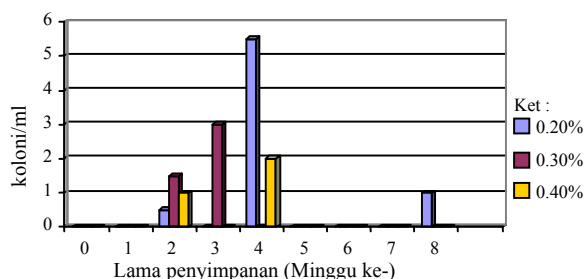
### 3.2.3 Uji Mikrobiologi

Hasil uji mikrobiologis dapat menentukan apakah suatu produk dapat diterima konsumen atau tidak, karena masalah ini berhubungan dengan keamanan pangan. Selama penyimpanan produk dapat mengalami perubahan mutu atau kerusakan karena adanya mikroorganisme.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi asam askorbat pada sirup rosela tidak memberikan pengaruh yang beda nyata, dan lama penyimpanan memberikan pengaruh yang sangat beda nyata sedangkan interaksi keduanya memberikan pengaruh yang beda nyata terhadap total bakteri dalam sirup rosela. Kontaminasi total bakteri yang jarang terjadi pada sirup rosela yaitu dengan penambahan konsentrasi asam askorbat 0,4% sehingga hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi yang paling efektif digunakan sebagai antioksidan dan dapat memberikan daya simpan yang paling lama. Tetapi sampai penyimpanan 2 bulan sirup rosela masih mengandung total mikroba yang sangat sedikit yang diperbolehkan menurut persyaratan SNI artinya sirup rosela masih dalam kondisi yang aman selama penyimpanan 2 bulan.

Konsentrasi asam yang tinggi pada sirup rosela berperan dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Akan tetapi bakteri-bakteri yang tahan asam seperti bakteri asam laktat, asam asetat, asam butirat merupakan bakteri yang dominan sebagai penyebab kerusakan sirup. Namun demikian, bakteri-bakteri tahan asam tersebut mudah terbunuh dengan pemanasan atau dengan pasteurisasi. Pasteurisasi dilakukan untuk membunuh mikroba patogen dalam makanan, dan dapat menggunakan suhu diatas 100°C atau dibawah 100°C (Winarno, 2007). Pengaruh lama penyimpanan dan konsentrasi asam askorbat

terhadap total mikroba (Angka Lempeng Total) dapat dilihat Pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh lama penyimpanan dan konsentrasi asam askorbat terhadap total mikroba (Angka Lempeng Total).

Berdasarkan grafik total mikroba pada Gambar 4 diatas analisis mikrobiologi sirup rosela yang dilakukan setiap 1 minggu sekali selama 2 bulan menunjukkan bahwa total mikroba yang dikandung maksimum dari semua perlakuan sebesar 10 koloni/mL. Nilai ini masih berada dalam kisaran yang diperbolehkan oleh persyaratan SNI sirup tahun 1992. Menurut SNI (1992) secara umum total mikroba pada sirup boleh sampai 500 koloni/mL.

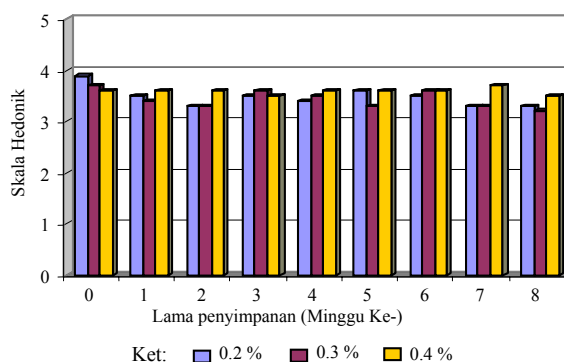
### 3.2.4 Uji Organoleptik

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi asam askorbat dan waktu penyimpanan pada sirup rosela tidak memberikan pengaruh yang nyata ( $P>0,05$ ) terhadap tingkat kesukaan rasa, aroma dan warna sirup rosela.

#### a. Rasa

Menurut responden pada uji organoleptik untuk rasa sirup rosela dari skala hedonik pada parameter rasa dari ketiga formula sirup pada Gambar 5 berada pada kisaran 3,2-3,9, artinya berada pada kisaran agak suka sampai suka (dengan urutan 1 sangat tidak suka, 2 tidak suka, 3 agak suka, 4 suka, dan 5 sangat suka) dengan skor tertinggi dimiliki sirup dengan konsentrasi asam askorbat 0,2%, yaitu skor rata-rata 3,9 pada minggu ke-0. Sedangkan skor terendah dimiliki sirup dengan konsentrasi asam

askorbat 0,3%, yaitu sebesar 3,2 pada minggu ke-8. Artinya sirup masih dalam kondisi baik karena nilai rata-rata responden berkisar agak suka sampai suka. Apabila dikaitkan dengan hasil pengamatan jumlah total mikroba (TPC) pada Gambar 5 skor rasa sirup rosela sesuai dengan hasil analisis TPC artinya sirup masih segar.



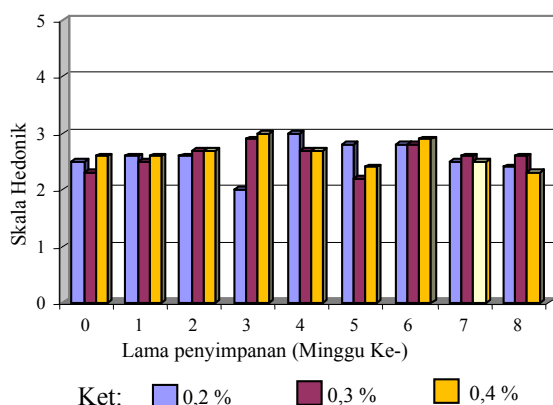
Gambar 5. Pengaruh penambahan asam askorbat dan waktu penyimpanan terhadap organoleptik rasa

Keseimbangan antara gula dan asam sangat mempengaruhi rasa produk. Proses pemanasan dan penyimpanan sangat memungkinkan terjadinya perubahan rasa. Perubahan rasa ini dapat disebabkan oleh hilangnya rasa alami baik yang volatil maupun yang non-volatil, dan melalui pembentukan rasa baru karena adanya gula.

#### b. Aroma Sirup Rosela

Menurut responden pada uji organoleptik untuk aroma sirup rosela dari skala hedonik pada parameter aroma ketiga formula sirup berada pada kisaran 2,3-3,0, yaitu antara tidak suka dan agak suka. Skor tertinggi sebesar 3,0 didapati pada sirup dengan konsentrasi asam askorbat 0,4% pada minggu ke-3. Sedangkan skor terendah 2,3 dimiliki sirup dengan konsentrasi asam askorbat 0,2% pada minggu ke-4. Skor rata-rata penerimaan terhadap aroma dapat dilihat pada Gambar 5. Panelis tidak suka dengan aroma sirup bukan karena sirup sudah rusak tetapi karena aroma khas yang ditimbulkan dari rosela. Pengaruh penambahan asam askorbat dan waktu penyimpanan terhadap

organoleptik aroma dapat dilihat pada Gambar 6 berikut:

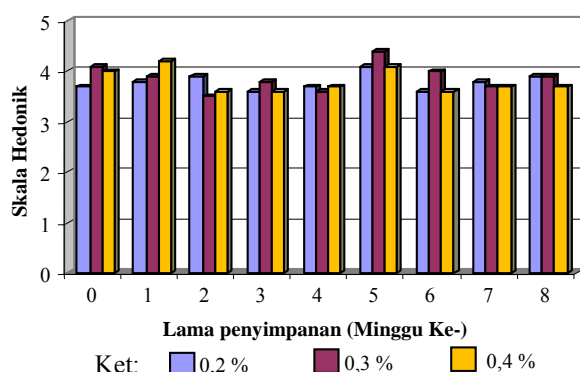


Gambar 6. Pengaruh penambahan asam askorbat dan waktu penyimpanan terhadap organoleptik aroma.

Pada Gambar 6 dapat dilihat selama penyimpanan aroma dari sirup rosela tidak berubah nyata. Aroma sirup rosela dapat ditimbulkan oleh aroma khas rosela, dan dapat juga dari aroma gula

### c. Warna Sirup Rosela

Menurut responden pada uji organoleptik untuk penerimaan warna sirup rosela dari skala hedonik pada parameter warna ketiga formula sirup berada pada kisaran 3,6-4,2, artinya secara umum penerimaan responden terhadap sirup rosela berkisar dari agak suka sampai suka, grafiknya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh penambahan asam askorbat dan waktu penyimpanan terhadap organoleptik warna

Pada Gambar 7 dapat dilihat skor tertinggi warna sirup rosela sebesar 4,2 di

dapati pada sirup dengan konsentrasi asam askorbat 0,3% pada minggu ke-5, sedangkan skor terendah 3,6 didapatkan pada sirup dengan konsentrasi 0,3% pada minggu ke 2. Pengukuran warna berdasarkan uji organoleptik hasilnya tidak optimal karena bergantung pada kondisi orang yang mencoba, hasil yang akurat adalah berdasarkan uji warna dengan alat kromameter. Dapat dilihat pada pembahasan berikut.

### 3.2.5 Pengukuran Warna

Pengukuran warna dilakukan secara subjektif dan objektif. Pengukuran warna secara subjektif adalah berdasarkan kesukaan konsumen terhadap produk melalui uji organoleptik yang telah dipaparkan sebelumnya. Sedangkan pengukuran warna secara objektif dilakukan menggunakan kromameter. Pengujian ini berprinsip mendapatkan warna berdasarkan daya pantul sampel terhadap cahaya yang diberikan oleh kromameter. Hasil pengujian kromameter ditunjukkan oleh nilai °Hue yang didefinisikan sebagai warna-warna yang terlihat seperti merah, kuning, hijau, biru atau yang lain, baik terdiri dari satu warna maupun campuran.

Dari hasil pengujian warna sirup menggunakan kromameter, untuk 3 formula sirup dengan perbedaan konsentrasi (0,2; 0,3; dan 0,4%) pada penyimpanan minggu ke-0 (*fresh sirup*) mempunyai kisaran nilai °Hue 28,08-33,78. Sedangkan untuk 3 formula sirup dengan perbedaan konsentrasi (0,2; 0,3 dan 0,4%) pada penyimpanan minggu ke-8 (akhir penyimpanan) mempunyai kisaran nilai °Hue 33,21-35,75. Nilai °Hue 18°-54° untuk minuman termasuk ke dalam kategori produk berwarna merah. Jadi, selama penyimpanan warna sirup rosela tidak berubah (warna merah).

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Uji organoleptik terhadap rasa, aroma dan warna dari semua formula sirup

- rosela selama penyimpanan tidak memberikan pengaruh yang nyata.
2. Nilai pH sirup rosela lebih rendah dan belum memenuhi standar minimum SNI sirup, 1992.
  3. Warna sirup rosela selama penyimpanan tetap stabil berwarna merah.
  4. Jumlah total mikroba (angka Lempeng Total) sirup rosela memenuhi persyaratan mutu SNI.
  5. Penambahan konsentrasi asam askorbat 0,2%-0,4% dapat digunakan untuk sirup tanpa pengawet seperti benzoat sampai masa simpan 2 bulan.

#### 4.2 Saran

1. Penambahan konsentrasi sukrosa yang lebih banyak perlu dilakukan agar diperoleh pH yang sesuai dengan persyaratan SNI 1992 dan °Brix untuk sirup.
2. Pada pembuatan sirup rosela, perlu dilakukan penambahan jumlah bunga rosela agar kadar vitamin B dan D dapat terdeteksi, dan sterilisasi dilakukan pada suhu tinggi dengan waktu sangat singkat (beberapa detik).
3. Uji farmakologi terhadap hewan percobaan perlu dilakukan untuk melihat efektivitas sirup rosela.
4. Untuk aplikasi pembuatan sirup rosela supaya punya daya tahan simpan yang lebih lama mungkin bisa ditambah gula sehingga °Brix mencapai 60-70, penggunaan kombinasi vitamin C dan pengawet benzoat sesuai persyaratan yang ditentukan oleh BPOM RI.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Pipih Sopiah, mahasiswa Universitas Pakuan Fakultas MIPA Jurusan Farmasi, atas bantuannya dalam melakukan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Astawan, M. dan A.L. Kasih, *Khasiat Warna Warni Makanan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2008.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 01-2891-1992, *Cara Uji Makanan dan Minuman*, Pusat Standardisasi Industri Departemen Perindustrian, Jakarta, 1992.
- \_\_\_\_\_, SNI 01-3544-1995. *Sirup*, Pusat Standardisasi Industri Departemen Perindustrian, Jakarta, 1995.
- Cisse, M., F. Vaillant, O. Acosta, C. D. Mayer, and M. Dornier, Thermal Degradation Kinetics of Anthocyanins from Blood Orange, Blackberry, and Roselle Using The Arrhenius, Eyring, and Ball Models, *J. Agric. Food Chem.*, 57:6285-6291, 2009.
- Chewonarin, T., Kinouchi, T., Kataoka, L., Arimachi, H., Kuwahara, T., Initkekumnuen, u., dan Ohnishi, Y., Effect of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn), a Thai medicinal plant, on the mutagenicity of various known mutagens in *Salmonella typhimurium* and on formation of Aberrant Crypt Foci induced by the colon carcinogens azoxymethane and 2-Amino-1-methyl-6-phenylimidazo (4,5-b) pyridine in F34 rats, *Food Chemical and Toxicology*, 37: 591-601, 1999.
- D. Dahiru, O. J. Obi and H. Umaru, Effect of *Hibiscus sabdariffa* calyx extract on carbon tetrachloride induced liver damage, *Biokemistri Nigerian Society for Experimental Biology*, 15 (1): 27-33, 2003.
- Depkes R.I., *Farmakope Indonesia*, Edisi keempat, Depkes R.I., Jakarta, 1995.
- Fasiyoro, S.B., S.O Babalola, and T. Owosibo, Chemical Composition and Sensory

- Quality of Fruit-Flavoured Roselle (*Hibiscus sabdarifa*) drinks, *World Journal of Agricultural Science*, 2: 161-164, 2005.
- Halliwell, B. and Gutteridge, CMJ., *Free Radicals in Biology and Medicine*, 2<sup>nd</sup> edition, Clarendon Press, Oxford, 1989.
- Lachman, L., Lieberman, H.A., Kanig., J.L., *Teori dan Praktik Farmasi Industri II*, Edisi ketiga, terjemahan Siti Suyatmi, Universitas Indonesia, Jakarta, 1994.
- Maryani, Herti dan Kristiana, *Khasiat dan Manfaat Rosela*, CV. Yasaguna, Jakarta, 2005.
- Moeljohardjo, Djoko S., *Vitamin dan Peran Metaboliknya*, FMIPA Universitas Pakuan, Bogor, 1998.
- Prawira I., *Bunga Merah Rosela Kaya Manfaat*, Tabloid Agrina, 2008
- Provital, *Hibiscus Eco*, [www.centerchem.com](http://www.centerchem.com), Diakses tanggal 21 April 2009.
- Purwono, *Penentuan Rendemen Gula Tebu Secara Cepat*, [http://www.purwono\\_ipb.yahoo.com](http://www.purwono_ipb.yahoo.com), Diakses pada tanggal 24 Januari 2008.
- Puspita, *Pasteurisasi*, <http://ptp2007.wordpress.com/2007/10/2003/pasteurisasi>, Diakses pada tanggal 3 Oktober 2007.
- Rahayu, W. P., *Penuntun Praktikum Penilaian Organoleptik*, IPB, Bogor, 2001.
- Soekarto, S. T., *Penilaian Organoleptik*, Angkasa Bhatara Karya, Jakarta, 1985.
- Tsai, P.J., Pearce, P., Camden, B., Jordan, B.R., Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) extract, *Food Research International*, 35: 351-356, 2002.
- Winarno, F.G. dan Rahayu T.S., *Bahan Tambahan untuk Makanan dan Kontaminan*, Pustaka Sinar Harapan, Jakarta, 1994.
- Winarno, F.G., *Teknobiologi Pangan*, MBrio Press, Jakarta, 2007.



# **PROSES BIOAKUMULASI LOGAM KHROMIUM DALAM BIOREAKTOR AEROBIK SECARA KONTINYU OLEH YEAST (*Saccharomyces cerevisiae*)**

## **BIOACCUMULATION PROCESS OF CHROMIUM ON AEROBIC CONTINUOUS BIOREACTOR USING YEAST (*Saccharomyces cerevisiae*)**

**Suhendrayatna<sup>1</sup>, Said Nurdin<sup>1</sup>, Fauzi Redha<sup>2</sup> dan Nazlul<sup>1</sup>**

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam – B. Aceh

<sup>2)</sup> Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh, Jln. Cut Nyak Dhien No. 377

**INTISARI.** Penelitian proses akumulasi logam khromium telah sukses dilakukan dengan menggunakan Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dalam usaha pengembangan bioakumulasi yang bertujuan untuk mempelajari variabel rancangan proses pengolahan limbah khromium dengan menggunakan mikroorganisme Yeast, *Saccharomyces cerevisiae* pada sebuah bioreaktor aerobik secara kontinyu dengan berbasiskan daya tahan mikroorganisme dan kemampuan akumulasi logam kromium. Penelitian dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah kulturisasi sel *Saccharomyces cerevisiae* di dalam media YPD (yeast, peptone, dextrose) dan tahap kedua adalah proses utama yaitu pengambilan logam khromium oleh Yeast, *Saccharomyces cerevisiae* di dalam bioreaktor dengan melakukan variasi terhadap beberapa variabel seperti Hydraulic Retention Time (HRT), laju aerasi yang diberikan ke dalam bioreaktor, dan juga konsentrasi logam khromium pada aliran umpan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sel *Saccharomyces cerevisiae* mampu hidup di dalam bioreaktor dengan konsentrasi umpan khromium 200 hingga 1000 ppm. Pada batasan hingga laju aerasi 3 L/menit, semakin tinggi laju aerasi yang diberikan ke dalam bioreaktor, maka semakin banyak jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat hidup dan variasi HRT 4 jam memberikan waktu operasi yang paling lama dari variasi HRT yang lain yaitu sebesar 46 jam. Kondisi operasi bioreaktor terbaik pada penelitian ini terjadi pada HRT 4 jam, dengan laju aerasi 3 L/menit dan konsentrasi pada aliran umpan sebesar 200 ppm.

**Kata Kunci :** Bioakumulasi, Khromium, Bioreaktor, *Saccharomyces cerevisiae*

**ABSTRACT.** The bioaccumulation of chromium was done successfully by using Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*. This research is continuation research in effort of developing bioaccumulation with aim to evaluate variable process of chromium waste treatment by using Yeast microorganism (*Saccharomyces Cerevisiae*) in a continous aerobic bioreactor based on resistant of microorganism and its ability of chromium accumulation. This research is done in two phases. In the first phase, cell *Saccharomyces cerevisiae* cultured in YPD (yeast, peptone, dextrose) media and in the second phase, chromium uptaken by Yeast, *Saccharomyces Cerevisiae* in bioreactor using several variations such as Hydraulic Retention Time (HRT), aeration flow rate which gave into bioreactor, as well as metal concentration of chromium at influent. Result shows that *Saccharomyces cerevisiae* able to live in bioreactor with chromium concentration at influent between 200 and 1000 ppm. With boundary up to 3 L/minute, the increasing of aeration flow rate into bioreactor, hence more cells amounts of *Saccharomyces cerevisiae* which is able to live, variation of 4 hour HRT give operation time as long as 46 hours which is the longest operation time from other variation HRT. We obtained best condition for bioreactor operation at 4 hours HRT, 3 L /minute of aeration flow rate, and 200 ppm of chromium concentration at influent stream.

**Keywords :** Bioaccumulation, Chromium, Bioreactor, *Saccharomyces cerevisiae*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Khromium termasuk logam berat yang mempunyai daya racun tinggi bagi sebagian hewan, tumbuh-tumbuhan dan bahkan manusia (Darmono, 1995). Seperti logam-logam berat lainnya, tingkat toksisitasnya sangat tergantung pada valensi ionnya. Ion  $\text{Cr}^{6+}$  merupakan bentuk logam khromium yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dibandingkan dengan ion khromium lainnya seperti  $\text{Cr}^{2+}$  dan  $\text{Cr}^{3+}$  (Palar, 1994).

Proses alam seperti erosi batuan mineral, debu-debu dan partikel khromium yang ada di udara yang dibawa turun oleh air hujan memberikan kontribusi yang besar terhadap kontaminasi logam ini ke lingkungan. Selain itu, masuknya khromium ke lingkungan dapat juga berasal dari sumber-sumber lainnya seperti: pertambangan, peleburan besi, industri batu bara dan pabrik-pabrik berbahan bakar fosil. Khromium banyak digunakan juga untuk membuat baja anti karat, alloy dan pigmen (Cornel dan Miller, 1995). Kontaminasi ini akan terus berkembang sejalan dengan meningkatnya usaha pengeksploasian berbagai sumber daya alam dimana khromium terdapat di dalamnya.

Pencemaran lingkungan oleh logam-logam berat memberikan dampak yang sangat membahayakan bagi kesehatan masyarakat di lingkungan, sehingga masalah pengelolaan limbah logam berat merupakan masalah yang besar dan harus ditangani secara serius agar tidak menimbulkan dampak bagi lingkungan. Wujud perhatian dari pemerintah dilakukan dengan menerapkan peraturan-peraturan pengendalian pencemaran, salah satunya dengan menetapkan standar (baku mutu) *effluent* dari limbah yang diperkenankan untuk dibuang ke lingkungan, baik itu limbah cair, padat maupun gas.

Besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pengolahan limbah dan juga sikap dari masyarakat industri yang menolak pengelolaan limbah logam berat dilakukan di lingkungannya dikarenakan dampak bagi lingkungan yang sangat berbahaya dapat

menyebabkan meningkatnya pengelolaan limbah secara ilegal.

### 1.2 Perumusan Masalah

Teknologi yang digunakan dalam mengatasi permasalahan kontaminasi dan pengolahan limbah logam berat masih dalam pengembangan dan masih banyak penelitian-penelitian yang dibutuhkan ke arah itu. Penelitian-penelitian yang berkesinambungan akan dapat menentukan proses terbaik untuk menjawab permasalahan logam berat di lingkungan.

Dewasa ini, penelitian yang melibatkan mikroorganisme dalam proses bioakumulasi dan biomagnifikasi telah menjadi subjek yang sangat menarik dalam upaya pengolahan logam berat, khususnya *Yeast, S. cerevisiae* yang memiliki kemampuan tinggi dalam mengakumulasi dan memiliki daya tahan terhadap logam berat, sehingga dapat diaplikasikan dalam proses bioremoval logam berat. (Suhendrayatna, dkk, 2004; Faukes, 1971; Jong, dkk, 1998; Suhendrayatna, dkk, 2002). Suhendrayatna, dkk (2004) melaporkan bahwa *Yeast, S. cerevisiae* mampu mengakumulasi logam kromium sebesar  $2,218 \mu\text{g Cr/g-sel}$  kering dalam masa 2 jam inkubasi. Sementara Faukes (1971) melaporkan bahwa *Yeast, S. cerevisiae* mampu hidup pada media yang kaya dengan kromium. Berdasarkan hasil penelitian beberapa peneliti di atas, *Yeast, S. cerevisiae* dapat direkomendasikan untuk digunakan dalam mereduksi logam kromium di lingkungan tercemar.

### 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### 1.3.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari variabel rancangan proses pengolahan limbah khromium dengan menggunakan mikroorganisme *Yeast, Saccharomyces cerevisiae* pada sebuah bioreaktor aerobik secara kontinyu dengan berbasiskan daya tahan mikroorganisme dan akumulasi logam kromium.

### 1.3.2 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pemikiran mengembangkan metode pengolahan limbah logam berat dengan menggunakan mikroorganisme di dalam suatu bioreaktor khusus untuk logam kromium.

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah kulturisasi sel *Saccharomyces cerevisiae* di dalam media YPD (*yeast*, peptone, dextrose). Tahap kedua adalah proses utama yaitu pengambilan logam khromium oleh Yeast, *Saccharomyces cerevisiae* di dalam bioreaktor.

### 2.1 Pembuatan Media

Media tumbuh yang digunakan pada penelitian ini adalah media YPD (*yeast*, peptone, dextrose) yang mengacu kepada metode yang dikembangkan oleh Difco Laboratories, Detroit, USA dengan komposisi *yeast* : 10 mg/mL, peptone : 20 mg/mL, dextrose 20 mg/mL.

### 2.2 Kultorisasi *Saccharomyces cerevisiae*

*Saccharomyces cerevisiae* (*Bakers Yeast*, Type II) dihidupkan pada medium YPD dengan komposisi *yeast* : 10 mg/mL, peptone 20 mg/mL, dextrose 20 mg/mL dengan pH sebesar 5,5 selama 1 hari pada sebuah *bioshaker* (30 °C, 120 rpm, pH 5,5). Setelah *Saccharomyces cerevisiae* tumbuh dengan baik, sel dipindahkan ke dalam bioreaktor yang dirancang untuk penelitian selanjutnya.

### 2.3 Pengujian Variabel-Variabel yang Berpengaruh pada Proses Bioremoval Logam Khromium

Sel *Saccharomyces cerevisiae* yang telah tumbuh dimasukkan ke dalam bioreaktor. Kemudian bioreaktor dioperasikan dengan

melakukan variasi dari variabel-variabel bebas antara lain seperti penjelasan berikut ini:

- (a) *Hydraulic Retention Time* (HRT)  
Cairan limbah yang mengandung khromium diumpankan ke dalam bioreaktor dengan tiga variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) sebesar 2 jam, 4 jam, 6 jam. Pengaturan besarnya HRT dilakukan dengan mengatur laju alir umpan.
- (b) Konsentrasi khromium pada air umpan  
Konsentrasi khromium di dalam air umpan divariasikan pada konsentrasi 200 ppm, 500 ppm, dan 1000 ppm.
- (c) Laju aerasi  
Besarnya laju aerasi yang diberikan ke dalam bioreaktor divariasikan sebanyak tiga variasi yaitu pada 0,5 L/menit, 1,5 L/menit, dan 3 L/menit.

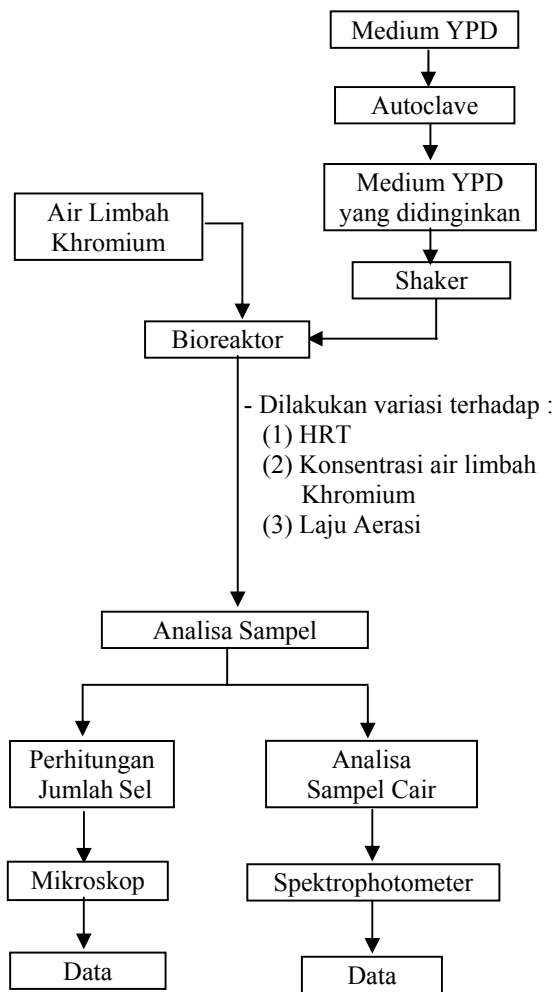
### 2.4 Analisa Kadar Khromium dalam Air

Analisa kadar khromium dalam air pada aliran keluar (*effluent*) dilakukan dengan menggunakan alat spektrophotometer HACH-DR/2010. Data diambil dalam selang waktu 2 jam hingga perubahan konsentrasi khromium pada *effluent* menunjukkan perubahan yang tidak berarti lagi.

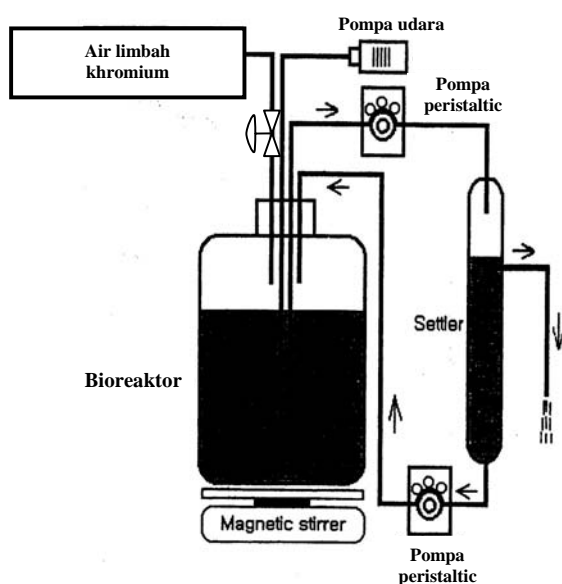
### 2.5 Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* di dalam Bioreaktor

Untuk melihat toleransi *Saccharomyces cerevisiae* di dalam bioreaktor, maka dilakukan penghitungan jumlah sel di dalam bioreaktor. Perhitungan dilakukan setiap selang waktu 2 jam dengan mengambil cairan di dalam bioreaktor sebanyak 2 ml, dan kemudian dilihat jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* dengan menggunakan mikroskop Olympus B-7210

## 2.6 Skema Penelitian



Gambar 1. Bagan proses penelitian



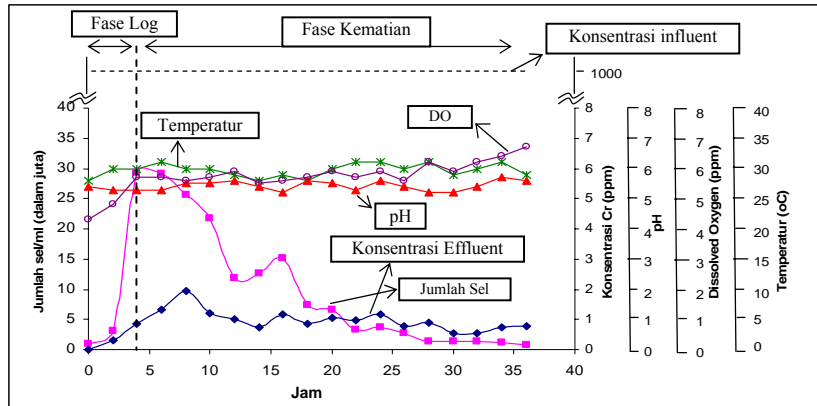
Gambar 2. Rangkaian bioreaktor

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

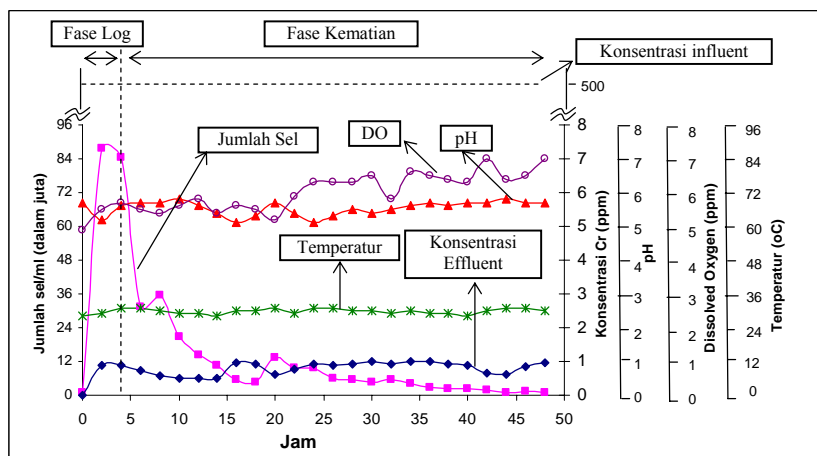
### 3.1 Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap Unjuk Kerja Bioreaktor

Unjuk kerja sel *Saccharomyces cerevisiae* di dalam bioreaktor dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi khromium pada aliran umpan. Variasi konsentrasi yang digunakan adalah 200; 500; dan 1000 ppm. Variasi ini diambil berdasarkan hasil penelitian pendahuluan (Suhendrayatna, dkk, 2004) yang menyatakan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* mampu hidup di dalam lingkungan yang mengandung logam khromium dengan konsentrasi antara 20 hingga 2000 ppm.

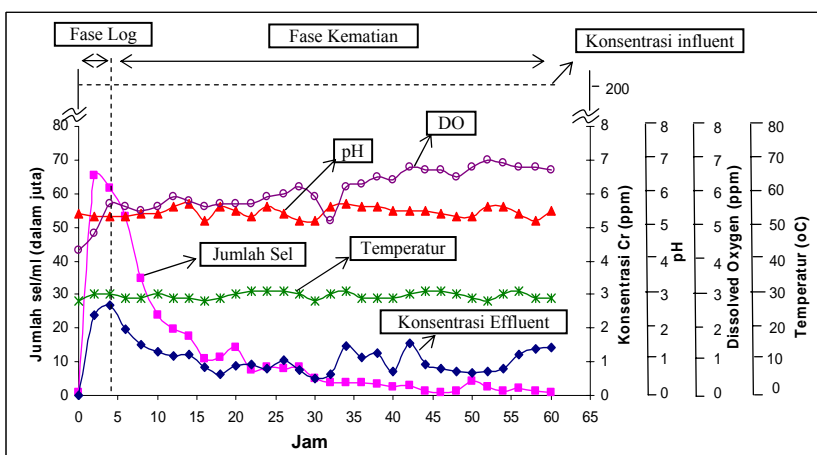
Hasil penelitian menunjukkan bahwa sel *Saccharomyces cerevisiae* mampu hidup pada semua variasi konsentrasi yang dilakukan. Namun pada kondisi konsentrasi umpan sebesar 200 ppm menunjukkan waktu operasi paling lama yakni selama 60 jam jika dibandingkan dengan variasi konsentrasi umpan yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 200 ppm, sel *Saccharomyces cerevisiae* mampu bertahan lebih lama di dalam bioreaktor. Gambar 3, 4 dan 5 memperlihatkan pengaruh dari variasi konsentrasi umpan khromium terhadap jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* di dalam bioreaktor. Dari gambar tersebut juga dapat dijelaskan bahwa jumlah sel yang tertinggi terjadi pada waktu 2 jam setelah bioreaktor dioperasikan, dan lambat laun jumlah sel yang ada dalam bioreaktor semakin berkurang. Hal ini dapat disebabkan karena sel tersebut mulai mati dan juga banyak sel yang terikut ke dalam aliran keluar (*effluent*) dari bioreaktor. Hal ini mendukung dari hasil penelitian dari Suhendrayatna, dkk (2004) yang menyebutkan bahwa akumulasi logam khromium di dalam sel *Saccharomyces cerevisiae* terjadi pada waktu 2 jam pada saat pertumbuhan sel berada pada fase eksponensial



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi umpan khromium 1000 ppm terhadap unjuk kerja bioreaktor (kec. pengaduk 200 rpm; HRT : 2 jam, laju aerasi 0,5 L/menit)



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi umpan khromium 500 ppm terhadap unjuk kerja bioreaktor (kec. pengaduk 200 rpm; HRT : 2 jam, laju aerasi 0,5 L/menit)



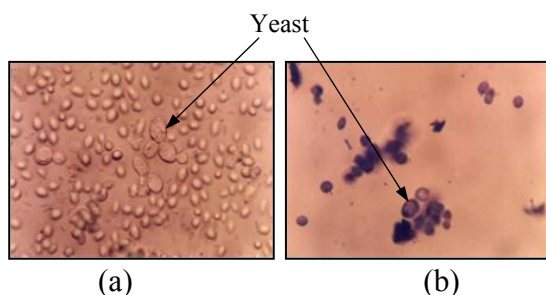
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi umpan khromium 200 ppm terhadap unjuk kerja bioreaktor (kec. pengaduk 200 rpm; HRT : 2 jam, laju aerasi 0,5 L/menit)

Pada 2 jam pertama tersebut, untuk konsentrasi Cr pada umpan 200 ppm, jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* yang masih hidup adalah sebesar 65,28 juta sel/ml. Sedangkan jumlah sel tertinggi yang diperoleh

dari hasil perhitungan yakni sebesar 87,92 juta sel/ml diperoleh pada konsentrasi Cr umpan 500 ppm. Setelah 2 jam masa operasi, jumlah sel mulai berkurang, hal ini dapat disebabkan karena adanya sel *Saccharomyces cerevisiae*

yang terikut ke dalam aliran *effluent* bioreaktor, dan pada akhirnya jumlah sel akan semakin berkurang karena sel tersebut mulai memasuki fase kematian. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3, 4, dan Gambar 5, dimana konsentrasi logam khromium pada aliran *effluent* mulai meningkat.

Berdasarkan teori pertumbuhan mikroorganisme, pertumbuhan mikroorganisme akan mengalami beberapa fasa yang berurutan, dimana setelah fasa pertumbuhan logaritmik, maka pertumbuhan mikroorganisme akan memasuki fase stasioner dan selanjutnya fase kematian. Pada penelitian ini, fasa stasioner tidak dapat diperoleh, hal ini disebabkan karena banyak sel yang terikut dalam aliran *effluent* dan selang waktu analisa yang jauh.



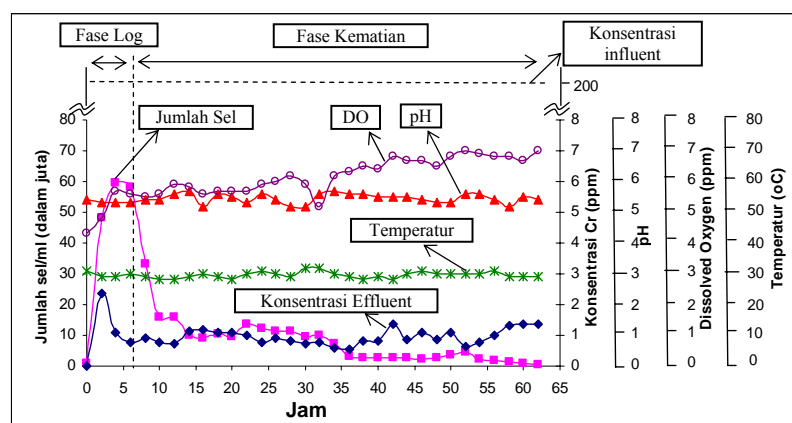
Gambar 6. (a) *Saccharomyces cerevisiae* murni; (b) *Saccharomyces cerevisiae* setelah mengakumulasi logam Cr (Ukuran Pembesaran = 100 x)

Gambar 6 (a) memperlihatkan *Saccharomyces cerevisiae* yang tidak mengakumulasi logam khromium (kultur murni). Cr tidak terdapat pada permukaan sel dan juga di dalam sitoplasma.

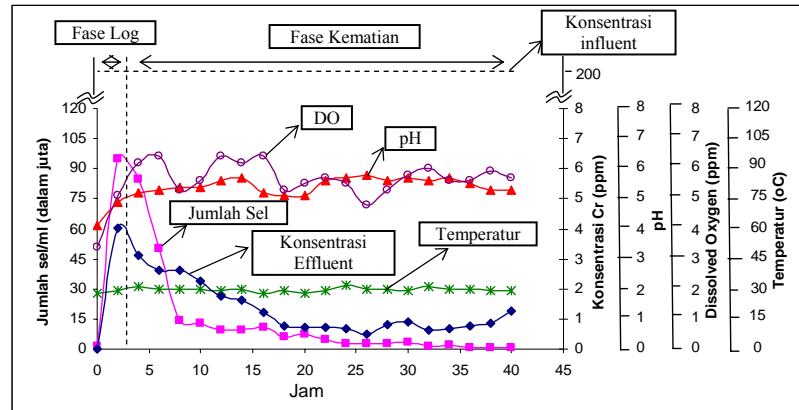
Hal ini dijelaskan juga oleh Jung Ho Suh (1998) dan Suhendrayatna, dkk (2004) yang menyatakan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* yang tidak mengakumulasi logam berat lebih besar dibandingkan dengan yang telah mengakumulasi logam berat. Hal ini diakibatkan khromium yang bersifat racun bagi *Saccharomyces cerevisiae* sehingga mengakibatkan perubahan fisiologis (mengganggu perkembangan) dari sel *Saccharomyces cerevisiae* itu sendiri. Gambar 6 (b) menunjukkan *Saccharomyces cerevisiae* setelah mengakumulasi logam Cr.

### 3.2 Pengaruh Laju Aerasi Terhadap Unjuk Kerja Bioreaktor

Unjuk kerja *Saccharomyces cerevisiae* dalam pengambilan logam khromium juga dilakukan dengan memvariasikan laju aerasi yang diberikan ke dalam bioreaktor. Variasi yang dilakukan sebanyak 3 variasi yakni 0,5; 1,5; dan 3 L/menit. Mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* merupakan mikroba yang bersifat aerobik. Jadi diperlukan pemberian udara ke dalam bioreaktor untuk menunjang metabolisme *Saccharomyces cerevisiae*. Pada tahap variasi ini, dilakukan dengan mengambil konsentrasi khromium pada larutan umpan sebesar 200 ppm untuk semua variasi laju aerasi, karena pada konsentrasi umpan 200 ppm menunjukkan waktu operasi yang paling lama. Hasil penelitian (Gambar 7 dan 8) menunjukkan pertumbuhan sel *Saccharomyces cerevisiae* tertinggi terjadi pada laju aerasi 3 L/menit.



Gambar 7. Pengaruh laju aerasi 1,5 L/menit terhadap unjuk kerja bioreaktor (Kecepatan Pengaduk 200 rpm; HRT : 2 jam; konsentrasi umpan 200 ppm)



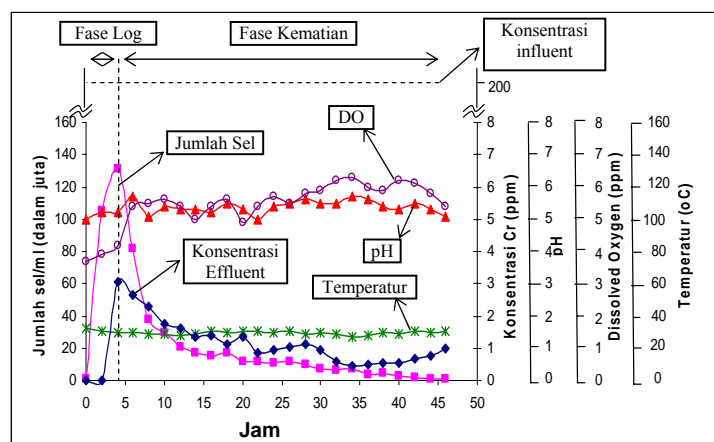
Gambar 8. Pengaruh laju aerasi 3 L/menit terhadap unjuk kerja bioreaktor (Kecepatan Pengaduk 200 rpm; HRT : 2 jam; konsentrasi umpan 200 ppm)

Hal ini ditunjukkan oleh jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* di dalam bioreaktor pada laju aerasi 3 L/menit lebih banyak dibandingkan jumlah sel yang terdapat pada bioreaktor dengan variasi laju aerasi yang lain. Sedangkan untuk konsentrasi khromiun pada effluent, dari ketiga variasi laju aerasi dapat dikatakan relatif sama, dimana pada saat sel memasuki fase kematian, konsentrasi khromiun pada effluent cenderung meningkat.

Untuk penentuan variabel laju aerasi yang memberikan unjuk kerja bioreaktor aerobik kontinyu yang terbaik dilihat dari jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* yang hidup dalam bioreaktor. Hasil analisis menunjukkan jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* yang paling banyak terjadi pada 2 jam pertama pada laju aerasi 3 L/menit.

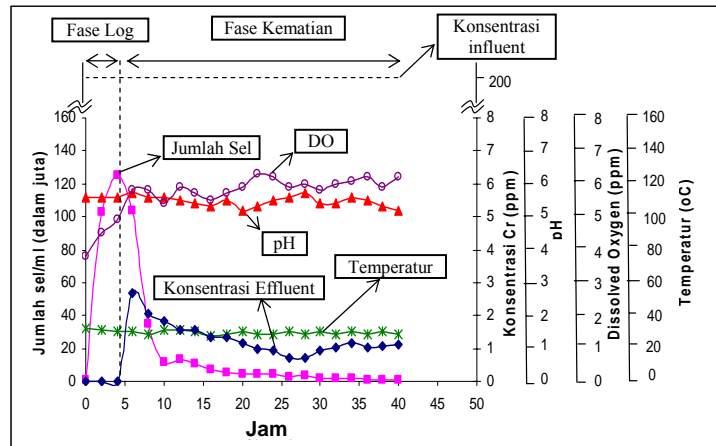
### 3.3 Pengaruh Waktu Tinggal Cairan (*Hydraulic Retention Time*) Terhadap Unjuk Kerja Bioreaktor

*Hydraulic Retention Time* (HRT) adalah lamanya waktu tinggal cairan didalam bioreaktor. Variasi dari HRT dilakukan sebanyak 3 variasi yaitu 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Pada tahap variasi ini, dilakukan dengan mengambil konsentrasi khromiun pada larutan umpan sebesar 200 ppm, karena pada konsentrasi umpan 200 ppm menunjukkan waktu operasi yang paling lama, dan laju aerasi sebesar 3 L/menit, karena pada laju aerasi ini pertumbuhan sel *Saccharomyces cerevisiae* lebih tinggi daripada laju aerasi yang lain.



Gambar 9. Pengaruh HRT 4 jam terhadap unjuk kerja bioreaktor (Kec. Pengaduk 200 rpm; laju aerasi 3 L/menit; konsentrasi umpan 200 ppm)





Gambar 10. Pengaruh HRT 6 jam terhadap unjuk kerja bioreaktor (kec. pengaduk 200 rpm; laju aerasi 3 L/menit; konsentrasi umpan 200 ppm)

Hasil penelitian (Gambar 9 dan 10) menunjukkan bahwa pertumbuhan sel *Saccharomyces cerevisiae* yang baik terjadi pada variasi HRT 4 jam dan 6 jam, bila dibandingkan pada HRT 2 jam. Apabila ditinjau terhadap waktu operasi, waktu operasi yang terlama diperoleh pada variasi HRT 4 jam yakni selama 46 jam

jam memberikan waktu operasi yang paling lama dari variasi HRT yang lain yaitu sebesar 46 jam.

4. Unjuk kerja terbaik dari bioreaktor aerobik kontinyu tersebut terjadi pada HRT 4 jam, konsentrasi khromium pada aliran umpan 200 ppm dan laju aerasi yang diberikan sebesar 3 L/menit.

## 4. KESIMPULAN

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang unjuk kerja bioreaktor aerobik kontinyu pada proses pengambilan logam khromium oleh Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, kesimpulan yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Sel *Saccharomyces cerevisiae* mampu hidup di dalam bioreaktor dengan konsentrasi umpan khromium 200 hingga 1000 ppm, dan pada konsentrasi umpan khromium 200 ppm, sel *Saccharomyces cerevisiae* mampu hidup lebih lama hingga 60 jam.
2. Semakin tinggi laju aerasi yang diberikan ke dalam bioreaktor, maka semakin banyak jumlah sel *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat hidup. Jumlah sel yang terbanyak diperoleh pada laju aerasi 3 L/menit.
3. Lamanya waktu tinggal cairan dalam bioreaktor yang divariasikan sebesar 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Variasi HRT 4

### 4.2 Saran

Proses bioakumulasi logam berat khususnya khromium oleh *Saccharomyces cerevisiae* dapat dilakukan di dalam bioreaktor aerobik kontinyu, namun belum semua variabel dapat teramati pada penelitian ini. Oleh karena itu, saran yang dapat diberikan adalah melakukan penelitian dengan variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja bioreaktor dan juga menemukan cara untuk meng-immobilisasi sel *Saccharomyces cerevisiae* agar tidak keluar bersama aliran *effluent* dari bioreaktor

## DAFTAR PUSTAKA

- Blanch, H.W., *Biochemical Engineering*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1996.
- Connel, M., dan Miller, S., (Penterjemah: Yanti K), *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, Universitas Indonesia Press, Jakarta, 1995.

- Darmono, *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1995.
- Emilia, B., Biosorption of Cadmium Ions by Different Yeast Species, *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung*, hal 634 – 639, 2002.
- Faukes, F. M., *Encyclopedia of Science and Technology*, McGraw Hill Book Company, New York, 1971.
- Jung Ho Suh, Dong Seong Kim, Jong Won Yun, Seung Koo Song, Process of  $Pb^{2+}$  accumulation in *Saccharomyces cerevisiae*, *Biotechnology Letters*, Vol 20. No 2. hal. 153 – 156, 1998.
- Lu, F. C., *Toksikologi Dasar, Asas, Organ Sasaran dan Penilaian Resiko*, Edisi I, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1994.
- Palar, H., *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta, 1994.
- Rismayati, *Bioakumulasi Logam Berat Khromium oleh Yeast, Saccharomyces cerevisiae*, Jurusan Teknik Kimia, Unsyiah, Banda Aceh, 2004.
- Rusmandiansyah, E., *Biosorpsi Logam Berat Timbal oleh Yeast (Saccharomyces cerevisiae dan Saccharomyces sp)*, Jurusan Teknik Kimia, Unsyiah, Banda Aceh, 2005.
- Suhendrayatna., Ohki A., dan Muhammad Zaki., Bioakumulasi Senyawa Arsen oleh Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Vol. I, 2002.
- Suhendrayatna, Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikro-organisme: Suatu Kajian Kepustakaan, *Seminar on Air*
- Bioteknologi Untuk Indonesia Abad 21*, 2001.
- Vlatka, Chromium Uptake by *Saccharomyces Cerevisiae* and Isolation of Glucose Tolerance Factor from Yeast Biomass, *Biology Chemical Journal*, Vol. 26, No. 2, hal. 217 – 233, 2001.

# MODEL PERTUMBUHAN BIOKONTROL *TRICHODERMA HARZIANUM* DALAM MEDIA CAIR (MODELLING THE GROWTH OF BIOCONTROL AGENT *TRICHODERMA HARZIANUM* IN LIQUID CULTURE)

**Syahiddin Dahlan Said**

Laboratorium Bioproses, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala,  
Darussalam-Banda Aceh

**INTISARI.** Untuk merancang dan melakukan *scale-up* suatu bioreaktor serta memperkirakan tingkah laku dan pertumbuhan mikroorganisme dalam merespon perubahan kondisi proses yang terjadi di dalam bioreaktor maka suatu model matematik pertumbuhan sangat membantu dan sangat diperlukan. Dari hasil-hasil penelitian kami sebelumnya, menunjukkan biokontrol *Trichoderma harzianum* tumbuh dan berkembang di dalam media cair glukosa-yeast ekstrak dalam bentuk pellet. Berdasarkan kekhasan pertumbuhannya, maka diperlukan suatu model yang dapat menjelaskan mekanisme pertumbuhan biokontrol tersebut. Menurut beberapa laporan penelitian (Hubbard et al. 1994; Lejeune and Baron, 1998), pertumbuhan fungi filamentous yang membentuk pellet saat perkembangannya dapat dijelaskan dengan model pertumbuhan kubik (*cubic growth model*). Pertanyaannya apakah model tersebut dapat juga menjelaskan pertumbuhan biokontrol *Trichoderma harzianum*, untuk mendapatkan jawabannya dilakukan pengujian terhadap model dengan mempelajari pertumbuhan biokontrol tersebut di dalam media glukosa-yeast ekstrak di dalam bioreaktor dengan kultur curah (*bath culture*). Pada penelitian ini, konsentrasi glukosa, rasio C/N, dan kecepatan pengadukan divariasikan masing-masing sebagai berikut: 10, 30, atau 50 g l<sup>-1</sup>; 24, 44, atau 64; 300, 400, 500, 600, atau 700 rpm. Sedangkan pH, temperature, dan laju aerasi dipertahankan konstan selama eksperimen berlangsung, masing-masing pada 7, 30°C, dan 1.0 vvm. Validitas model diuji dengan menggunakan data respirasi. Hasil-hasil pengujian menunjukkan model tersebut dapat mewakili atau menjelaskan pertumbuhan biokontrol *Trichoderma harzianum* UPM 29 dengan cukup baik. Dengan model tersebut dan dengan data pertumbuhan ditentukan parameter-parameter model (*q* and *Y<sub>x/s</sub>*).

**Kata kunci:** *T. harzianum*, biokontrol, biopestisida, biofungisida, model pertumbuhan kubik,

**ABSTRACT.** In designing and scaling up bioreactors, and in predicting how microorganism will respond to change in growth conditions, the mathematical models of organism growth is needed. Previous experiments showed that the biocontrol agent of *Trichoderma harzianum* UPM 29 grow in pellet form at medium contained glucose-yeast extract. Some papers reported that the growth of filamentous fungi which form pellets as they grow, can be modeled using a cubic growth model (Hubbard et al. 1994; Lejeune and Baron, 1995). This model was tested by studying the growth of biocontrol agent of *Trichoderma harzianum* UPM 29 in glucose-yeast extract medium in bath culture. The glucose concentration, C/N ratio and agitation speed were controlled respectively at 10, 30, or 50 g l<sup>-1</sup>; 24, 44, or 64; 300, 400, 500, 600, or 700 rpm. The pH, temperature, and aeration rate were maintained respectively at 7, 30°C, and 1.0 vvm. The growth data were used to evaluate the model parameters (*q* and *Y<sub>x/s</sub>*). The validity of the model was checked with respiration data. The validity results showed that the model can describe adequately the biocontrol agent of *Trichoderma harzianum* growth in medium at all condition process.

**Keywords:** *Trichoderma harzianum*, biocontrol agent, biopesticide, biofungicide, cubic growth model

## 1. PENDAHULUAN

Agensia biokontrol (*biocontrol agent*) atau disebut juga sebagai biopestisida merupakan mikroorganisme yang bersifat antagonis yang memiliki kemampuan untuk mengendalikan dan membunuh mikroorganisme patogenik perusak tana-man. Selama ini pestisida kimia telah digunakan untuk mengatasi berbagai hama penyakit tanaman yang sangat merugikan petani, namun residu dan perembesan bahan tersebut ke dalam tanah atau ke badan air berpotensi menurunkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Sejalan dengan berkembangnya kesadaran akan pentingnya menjaga kelestarian lingkungan, gagasan atau implementasi penggunaan biopestisida sebagai alternatif terhadap penggunaan pestisida kimia semakin mendapat perhatian yang pesat di berbagai negara dewasa ini.

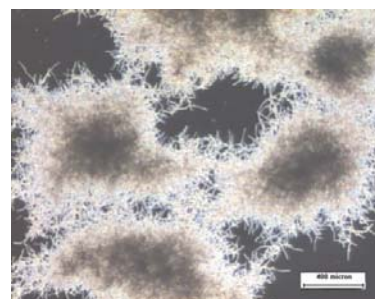
Berbagai laporan hasil studi dan penelitian menyebutkan bahwa biomassa dari agensia biokontrol *Trichoderma harzianum* dapat digunakan sebagai biofungisida yang efektif untuk mengu rangi dan juga membasmi bermacam penyakit tanaman yang disebabkan oleh fungi-fungi patogenik di dalam tanah seperti *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotium rolfsi*, *Rhizoctoni*, *Bataticola* (Ruano Rosa and López Herrera, 2009; Dubey dkk., 2009; Jackson, dkk., 1991).

Untuk merealisasikan penggunaan biopestisida sebagai pengganti pestisida kimia, diperlukan suatu industri yang dapat mensuplai produk biopestisida ke pasaran. Untuk itu diperlukan suatu pengembangan rancangan bioreaktor yang sesuai untuk pertumbuhan biomassa suatu agensia biokontrol yang selanjutnya dapat digunakan untuk memproduksi biopestisida secara massal dan komersial.

Untuk merancang suatu bioreaktor diperlukan data kondisi proses dan model matematik pertumbuhan sebagai dasar untuk menentukan dimensi bioreaktor yang ekonomis. Beberapa informasi berkenaan dengan kondisi proses fermentasi agensia biokontrol *Trichoderma harzianum* telah

dilaporkan oleh beberapa peneliti (Said dkk., 2003; Jackson, dkk., 1991; Agosin dkk., 1997; Jin dkk., 1996). Namun masih sangat sedikit yang melaporkan tentang model matematik pertumbuhannya. Model pertumbuhan eksponensial telah sering digunakan dan memuaskan untuk menjelaskan pertumbuhan *filamentous* fungi (Borrow et al., 1964; Brown dan Halsted, 1975). Namun model pertumbuhan tersebut yang didasarkan pada asumsi pertumbuhan berbanding lurus dengan konsentrasi biomassa tidaklah dapat digunakan untuk mewakili pertumbuhan fungi dalam media cair yang berkembang atau tumbuh berbentuk pellet. Lejeune and Baron (1998), telah menguji model kinetika pertumbuhan kubik (*cubic growth model*) untuk fungi *Trichoderma reesei* yang berbentuk pellet di dalam media cair, dan telah membuktikan model tersebut dapat mewakili dengan memuaskan kinetika pertumbuhan fungi tersebut pada periode eksponensial.

Hasil penelitian sebelumnya diketahui agensia biokontrol *Trichoderma harzianum* UPM 29 tumbuh dan berkembang berbentuk pellet (Gambar 1).



Gambar 1. Pellet *Trichoderma harziaianum* UPM 29

Sehubungan dengan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menguji apakah model pertumbuhan kubik (*cubic growth model*) dapat menjelaskan dan mewakili pertumbuhan agensia biokontrol *T. harzianum* pada periode pertumbuhan cepat atau eksponensial di dalam media cair dengan sumber karbon glukosa dan sumber nitrogen yeast ekstrak. Juga dievaluasi apakah model tersebut dapat mewakili pertumbuhan *T. harzianum* pada media dengan rentang

tertentu dari konsentrasi substrat, rasio C/N dan kecepatan pengadukan.

Goudar dan Strevett (1998), menjelaskan, model kinetika tentang pertumbuhan fungi secara umum dapat dikelompokkan atas model terstruktur dan model tidak terstruktur. Model terstruktur mengasumsikan biomassa terdiri dari sejumlah komponen yang diklasifikasikan atas dasar fungsi-fungsi morfologi dan fisiologi. Model-model terstruktur bersifat komprehensif dan dapat menjelaskan pertumbuhan mikroba pada kondisi transient. Umumnya, model-model itu melibatkan sejumlah tertentu parameter, dan pemakaiannya sering membutuhkan karakterisasi yang rinci dari morfologi mikroorganisme. Sebaliknya, model-model tidak-terstruktur menyatukan semua komponen sel dalam variabel konsentrasi biomassa dan perubahan komposisi dalam biomassa diabaikan. Model-model tersebut tidak membutuhkan informasi tentang morfologi mikroba dan bersifat sederhana. Selain itu, model-model tidak-terstruktur dapat menjelaskan pertumbuhan mikroba pada keadaan tunak (*steady state*) secara memuaskan, dan karenanya sering digunakan untuk permodelan proses fermentasi di industri (Goudar and Strevett, 1998).

### 1.1 Model Pertumbuhan Kubik (*Cubic Growth Model*)

Model pertumbuhan yang mengikuti model persamaan kubik untuk sel mycelia didefinisikan sebagai persamaan yang menghubungkan antara konsentrasi biomassa sel mycelia dengan waktu inkubasi. Model pertumbuhan kubik didasarkan pada asumsi berikut (Lejeune and Baron, 1998):

1. Sel mycelia/fungi tumbuh dengan struktur pellet atau berbentuk bola.
2. Radius bola meningkat dengan laju yang konstan seperti dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\frac{dR}{dt} = k \quad (1)$$

3. Jumlah sel tidak berubah selama pertumbuhan.

4. Pertumbuhan satu sel (berbentuk pellet) dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\frac{dM_1}{dt} = \rho \frac{d\left(\frac{4}{3}\pi R_1^3\right)}{dt} = k(36\pi\rho)^{1/3}(M_1)^{2/3} \quad (2)$$

Dengan  $M_1$  = konsentrasi berat kering untuk sebuah pellet (kg).  $R_1$  = radius sebuah pellet (m) dan  $\rho$  = massa jenis sel kering ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

Oleh karena jumlah pellet per satuan volume,  $n$ , adalah konstan, maka  $M_1$  dapat diganti dengan  $M/n$  hal ini bertujuan untuk mendapatkan suatu persamaan diferensial yang mengungkapkan suatu pertumbuhan yang mengikuti persamaan kubik sebagai berikut:

$$\frac{dM}{dt} = qM^{2/3} \quad (3)$$

Dengan  $M$  = konsentrasi berat kering pellet ( $\text{kg berat kering m}^{-3}$ ) dan  $q = k(36\pi\rho n)^{1/3}$  [ $(\text{kg m}^{-3})^{1/3} \text{ h}^{-1}$ ].

Menurut Lejeune and Baron (1995), asumsi-asumsi yang digunakan untuk persamaan-persamaan di atas tersebut dapat diterima untuk periode pertumbuhan yang pertama, namun untuk periode pertumbuhan yang kedua asumsi-asumsi itu tidak dapat lagi digunakan. Pada pertumbuhan periode kedua ukuran pelletnya yang tidak berubah, sedangkan jumlah pelletnya terus bertambah sehingga tidak dapat lagi diasumsikan konstan. Hal ini disebabkan oleh beberapa fenomena, yaitu pecahnya pellet-pellet akibat tekanan dinamik yang lebih besar dibandingkan tegangan permukaan pellet. Pada kedua kasus tersebut, keadaan kesetimbangan dicapai ketika pertumbuhan pellet-pellet diimbangi dengan pecahnya pellet-pellet dengan radius tertentu akibat pengadukan. Dengan demikian, pertumbuhan dapat diukur atas dasar peningkatan jumlah pellet, bila sebuah pellet pecah maka akan terbentuk satu atau lebih pellet-pellet yang baru. Berdasarkan atas kondisi ukuran pellet

rata-rata yang konstan maka model pertumbuhan kubik dapat diperoleh dengan asumsi-asumsi berikut:

- Radius setiap pellet bertambah dengan laju sebagai berikut:

$$\frac{dR}{dt} = k' \cdot M^{-1/3} \quad (4)$$

Dengan  $M$  = konsentrasi biomassa ( $\text{kg m}^{-3}$ ) dan  $k'$  = laju pembesaran ukuran [ $\text{ms}^{-1}(\text{kg m}^{-3})^{1/3}$ ].

Faktor  $M^{-1/3}$  dapat dianggap sebagai hambatan pertumbuhan (antara lain akibat dari akumulasi produk-produk yang bersifat inhibitor).

- Bentuk pellet yang menyerupai bola.
- Radius rata-rata setiap pellet konstan, dan dengan demikian berat kering rata-rata pellet juga konstan.
- Distribusi ukuran pellet cukup rapat, sehingga berat kering rata-rata berbagai pellet dapat diasumsikan sama dengan berat kering sebuah pellet dengan radius rata-rata.

Jika radius pada persamaan dieliminasi, maka pertumbuhan sebuah pellet dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dM_i}{dt} = k' \cdot (36\pi\rho)^{1/3} \cdot M_i^{2/3} \cdot M^{-1/3} \quad (5)$$

dengan  $M$  = konsentrasi berat kering ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $M_i$  = berat kering sebuah pellet (kg), dan  $\rho$  = massa jenis biomassa (kg berat kering  $\text{m}^{-3}$ ). Jika  $n$  jumlah total pellet per satuan volume, dan  $(M_i)_{av}$  adalah berat kering rata-rata sebuah pellet, maka,

$$\frac{dM}{dt} = (M_i)_{av} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (6)$$

Dengan mengasumsikan perbedaan atau distribusi antar radius pellet cukup dekat, maka pertambahan jumlah pellet spesifik dapat dinyatakan sama dengan laju pertumbuhan spesifik sebuah pellet:

$$\frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{1}{(M_i)_{av}} \frac{dM_i}{dt} \Big|_{M_i=(M_i)_{av}} \quad (7)$$

Penyusunan kembali Persamaan 7, dan menyisipkan persamaan tersebut ke dalam persamaan 6 menghasilkan persamaan differensial pertumbuhan kubik sebagai berikut:

$$\frac{dM}{dt} = q \cdot M^{2/3} \quad (8)$$

dengan

$$q = \frac{3k'}{(R_i)_{av}} \quad (9)$$

Integrasikan Persamaan 8 menghasilkan

$$M^{1/3} - M_o^{1/3} = \frac{1}{3} q \cdot (t - t_o) \quad (10)$$

Dengan cara yang sama seperti yang dilakukan pada model pertumbuhan eksponensial, validitas model dapat dilakukan dengan menggunakan data respirasi. Jika mengasumsikan laju pelepasan karbon volumetrik (volumetric carbon evolution rate, *VCER*) berbanding dengan laju pertumbuhan, maka dapat dibuat persamaan berikut (Lejeune and Baron, 1998):

$$VCER = \frac{1}{Y_{x/c}} \frac{dM}{dt} \quad (11)$$

$$VCER = \frac{1}{Y_{x/c}} q \cdot \left[ \frac{1}{3} \cdot q \cdot (t - t_o) + M_o^{1/3} \right]^2 \quad (12)$$

Dengan cara yang sama, dapat dibuat hubungan antara laju konsumsi oksigen volumetrik  $O_2$  (*volumetric  $O_2$  uptake rate,  $VOUR$* ) dengan laju pertumbuhan biomassa sel sebagai berikut:

$$VOUR = \frac{1}{Y_{x/o}} q \cdot \left[ \frac{1}{3} \cdot q \cdot (t - t_o) + M_o^{1/3} \right]^2 \quad (13)$$

Dengan  $Y_{x/c}$  dan  $Y_{x/o}$  masing-masing adalah koefisien yield biomassa terhadap evolusi  $CO_2$  dan koefisien yield biomassa terhadap konsumsi  $O_2$ . Satuan koefisien yield adalah berat kering biomassa/mmol  $CO_2$  atau berat kering biomassa/mmol  $O_2$ .

## 2. BAHAN DAN METODA

### 2.1 Mikroorganisme

Mikroorganisme yang digunakan adalah agensia biokontrol *Trichoderma harzianum* (UPM 29) dari Universiti Putra Malaysia. Fungi tersebut secara periodik disubkulturkan (subcultured) pada agar dektros kentang (*potato dextrose agar*) dalam petridish.

### 2.2 Media

Media yang digunakan untuk inokulum dan untuk fermentasi terdiri dari campuran glukosa, yeast ekstrak dan mineral Czapek. Konsentrasi masing masing bahan tersebut adalah sebagai berikut: glukosa, 30  $\text{gl}^{-1}$  dan ekstrak yeast, 2.8 g/l. Komposisi mineral Czapek terdiri dari:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 1.0  $\text{gl}^{-1}$ ;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.5  $\text{gl}^{-1}$ ;  $\text{KCl}$ , 0.5  $\text{gl}^{-1}$ ;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.01  $\text{gl}^{-1}$ ;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.01  $\text{gl}^{-1}$ ;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0.005  $\text{gl}^{-1}$ .

### 2.3 Pembuatan Inokulum

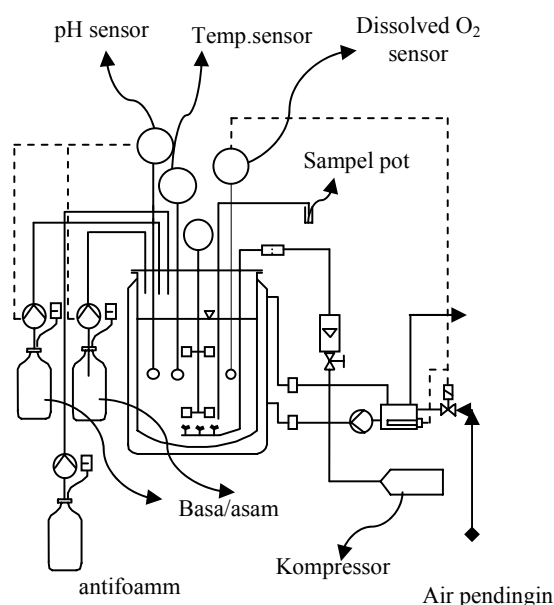
Pembuatan inokulum terdiri atas dua langkah, yaitu penyediaan suspensi spora atau konidia dan diikuti dengan pengisian inokulum ke dalam media.

Suspensi konidia (spora) *T. harzianum* diperoleh dari koloni *T. harzianum* yang ditumbuhkan di atas agar (*potato dextrose agar*) yang berumur 20 hari. Pemisahan konidia dilakukan dengan cara membasahi koloni dengan air garam 1% (w/v) sebanyak 10 ml, kemudian digerus dengan spatula. Suspensi konidia yang diperoleh diencerkan dengan larutan garam 1% untuk mendapatkan konsentrasi konidia yang diinginkan sekitar  $10^6$  konidia  $\text{ml}^{-1}$ . Konsentrasi konidia dihitung dengan menggunakan alat *hemacytometer*.

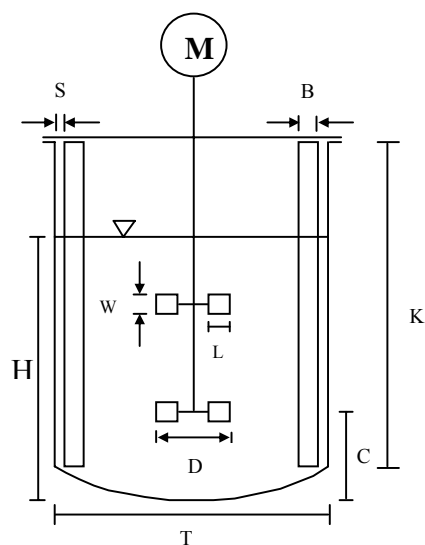
Suspensi konidia sebanyak 2 ml dimasukkan ke dalam media cair dengan volume 200 ml dalam labu Erlenmeyer berukuran 500 ml. Labu Erlenmeyer kemudian diinkubasi dalam *orbital shaker* pada temperatur  $30^\circ\text{C}$  dan dengan kecepatan rotasi 200 rpm selama 60 jam. Biomassa yang dihasilkan digunakan sebagai inokulum pada bioreaktor.

### 2.4 Bioreaktor dan Kondisi Fermentasi

Fermentasi agensia biokontrol *T. harzianum* dilakukan dalam bioreaktor dengan total volume sebesar 5 L (Biostat B, B. Braun). Bioreaktor ini (Gambar 2 dan 3.) dilengkapi dengan: empat *baffle*; dua *impeller* tipe turbin Rushton dengan empat daun; pipa penyalur gas dengan sparger berbentuk lingkaran; pipa pengambil sampel; kondenser; *probe* temperature; elektroda pH; elektroda  $\text{pO}_2$  dan *probe* antifoam.



Gambar 2. Bioreaktor dan sistim pengendalian



Gambar 3. Dimensi bioreaktor dan impeller



Keterangan:

T (diameter bioreaktor) = 160 mm; H (tinggi cairan) = 120 mm; C (tinggi impeller dari dasar) = 40 mm; K (tinggi bioreaktor) = 200 mm; B (lebar *baffle*) = 13 mm; S (gap antara *baffle* dan sisi bioreaktor) = 1,3 mm. D (jarak antara ujung daun *impeller*) = 64 mm; W (tinggi daun *impeller*) = 12 mm; L (lebar daun *impeller*) = 16 mm

Bioreaktor juga dilengkapi dengan sistim pengukuran digital dan sistim pengendali. Sistim pengendali (*controller*) berfungsi untuk mengatur agar harga-harga temperatur, pH, kecepatan pengadukan, dan antifoam berada pada set point yang ditetapkan. Elektroda-elektroda pH dan pO<sub>2</sub> masing-masing dikalibrasi sebelum proses fermentasi berlangsung.

Kalibrasi elektoda pO<sub>2</sub> dilakukan dengan cara sebagai berikut: labu Erlenmeyer yang berisi air dimasukkan elektroda pO<sub>2</sub>, selanjutnya gas nitrogen dialirkan ke dalam air untuk mengusir O<sub>2</sub> yang terlarut di dalamnya, kemudian indikator pO<sub>2</sub> pada *controller* diatur menunjukkan angka 0%. Selanjutnya, air dalam labu Erlenmeyer tersebut dialirkan udara sampai jenuh, kemudian indikator pO<sub>2</sub> pada *controller* diatur menunjukkan angka 100%. Setelah bioreaktor diseterilisasi, elektroda pO<sub>2</sub> kembali dikalibrasi pada posisi 0%. Elektroda pH dikalibrasi sebelum dilakukan seterilisasi bioreaktor. pH medium dikendalikan pada harga set point dengan menggunakan larutan NaOH 2M dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M Selama berlangsung fermentasi.

Setelah sterilisasi dan pendinginan medium ke suhu 30°C, inokulum sebanyak 400 ml ditambahkan ke dalam 3600 ml media, sehingga jumlah volume total kultur di dalam bioreaktor menjadi 4000 ml (*working volume*). Kajian fermentasi dilakukan selama 72 jam.

Untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi glukosa dan rasio C/N terhadap pertumbuhan agensia biokontrol, sejumlah eksperimen dilakukan dengan level konsentrasi yang berbeda-beda, yaitu: 10, 30, 50 g/l<sup>-1</sup> dengan rasio C/N dipertahankan konstan sebesar 44. Pengaruh rasio C/N dipelajari pada level 24, 44, dan 64 dengan konsentrasi glukosa dipertahankan konstan

sebesar 30 g/l. Harga rasio C/N dihitung berdasarkan kandungan karbon dalam glukosa sebesar 40%, kandungan karbon dan nitrogen dalam yeast ekstrak masing-masing adalah 70% dan 11%. Seluruh eksperimen dilakukan dengan menjaga konstan peubah-peubah berikut: temperatur medium 30°C, kecepatan pengadukan 400 rpm, pH media sebesar 7, dan laju aerasi sebesar 1.0 vvm.

Untuk kajian pengaruh kecepatan pengadukan terhadap laju pertumbuhan, maka divariasikan kecepatan pengadukan sebagai berikut, 300, 400, 500, 600, dan 700 rpm. Dengan nilai konsentrasi glukosa, 30 g/l<sup>-1</sup>; rasio C/N, 44; pH, 7; temperatur 30°C; dan laju aerasi sebesar 1 vvm.

## 2.5 Pengukuran Laju Konsumsi O<sub>2</sub> atau Laju Pelepasan CO<sub>2</sub>

Laju konsumsi oksigen (*volumetric O<sub>2</sub> uptake rate, VOUR*) dalam bioreaktor ditentukan dengan jalan mengukur laju aliran gas masuk  $V_G^a$ , volume media  $V_L$ , dan komposisi gas  $y$  (masuk dan keluar). Berdasarkan neraca massa O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> masuk dan keluar bioreaktor, *OUR* dapat dihitung dengan rumus berikut (Reuß, et al., 1982):

$$OUR = \frac{V_G^a}{V_L} \left[ y_{O_2}^a - y_{O_2}^w \left( \frac{1 - y_{O_2}^a - y_{CO_2}^a}{1 - y_{O_2}^w - y_{CO_2}^w} \right) \right] \quad 14$$

Laju alir udara masuk ke dalam bioreaktor diukur dengan menggunakan *flow meter*, dan komposisi udara atau gas masuk dan keluar bioreaktor diukur dengan *exhaust gas monitoring*. Dengan cara yang sama dilakukan untuk volumetric carbon evolution rate, *VCER*.

## 2.6 Penentuan Berat Kering Biomasa

Pertumbuhan sel dievaluasi dengan jalan mengukur konsentrasi biomasa sel di dalam kaldu (*broth*). Sampel diambil sebanyak 20 ml kemudian disaring dengan menggunakan kertas whatman filter paper no. 1. Biomasa kemudian dicuci dengan larutan garam 1% (w/v). Biomasa yang telah dicuci dikeringkan pada temperatur 80°C selama 48 jam di dalam oven, kemudian ditimbang. Pengambilan

sampel dilakukan setiap 6 jam sekali untuk rentang waktu antara 0-36 jam, dan dilanjutkan untuk setiap 12 jam antara rentang waktu 36-72 jam.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Validasi Model Pertumbuhan Kubik

Untuk membuktikan apakah model pertumbuhan kubik mewakili pertumbuhan biokontrol *T. harzianum* pada fasa eksponensial, maka dilakukan beberapa langkah berikut:

- Penentuan harga-harga konstanta pertumbuhan agensia biokontrol *T. harzianum* ( $q$ ). Harga konstanta laju pertumbuhan biomassa ( $q$ ) dievaluasi dari Persamaan 10, dengan memplot data konsentrasi biomassa dalam media kultur terhadap waktu fermentasi. Dari hasil plot data diperoleh sebuah grafik yang dapat digunakan untuk menghitung harga konstanta ( $q$ ), yaitu berdasarkan nilai kemiringan kurva. Harga-harga konstanta ( $q$ ) untuk berbagai kondisi proses fermentasi ditunjukkan pada Tabel 1.
- Pembuatan grafik hubungan  $VCER$  atau  $VOUR$  dengan laju pertumbuhan biomassa sel. Grafik-grafik hubungan  $VCER$  atau  $VOUR$  dengan konstanta pertumbuhan  $q$  disajikan oleh Gambar 4 sampai Gambar 14.
- Pengujian kelinieran. Model pertumbuhan kubik dapat dikatakan mewakili pertumbuhan biokontrol *T. harzianum* pada fasa eksponensial bila dihasilkan suatu garis yang linear dari plot antara data  $VCER$  atau data  $VOUR$  terhadap  $q$  berdasarkan Persamaan 12 atau 13. Derajat kelinearan garis diuji berdasarkan koefisien korelasi ( $R^2$ ). Suatu kurva dinyatakan sebagai garis lurus jika nilai  $R^2 = 1$ . Nilai-nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) untuk seluruh grafik ditampilkan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 4. Semua nilai  $R^2$  menunjukkan angka-angka yang mendekati 1, hal ini menjelaskan bahwa pertumbuhan biokontrol *Trichoderma harzianum* dapat diwakili oleh

model pertumbuhan kubik (*cubic growth model*) untuk media cair yang digunakan dan untuk berbagai kondisi fermentasi yang diuji

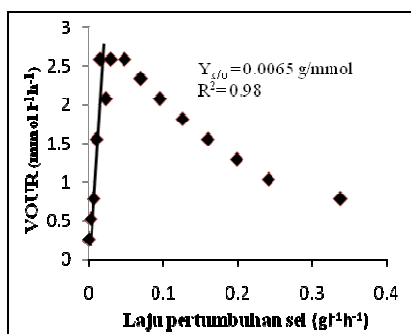
Tabel 1. Harga konstanta  $q$  pada berbagai kondisi fermentasi.

Variasi $q$ terhadap konsentrasi glukosa		Variasi $q$ terhadap rasio C/N		Variasi $q$ terhadap Kecepatan pengadukan	
C g/l <sup>-1</sup>	$q$	Rasio	$q$	RPM	$q$
10	0,08	24	0,17	300	0,15
30	0,13	44	0,13	400	0,13
50	0,16	64	0,12	500	0,14
-	-	-	-	600	0,14
-	-	-	-	700	0,10

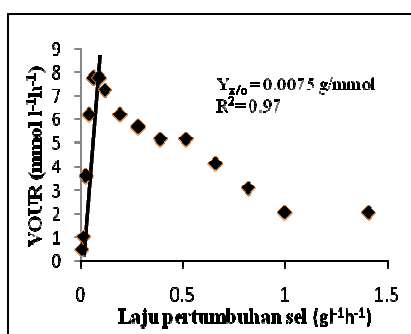
Ket.: C = Konsentrasi

#### 3.2 Pengaruh Konsentrasi Glukosa

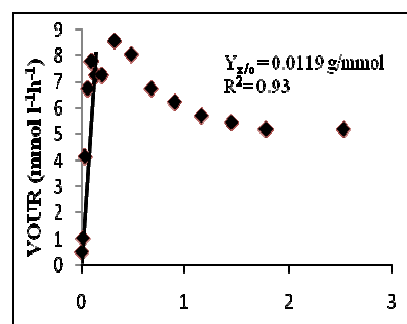
Dari Tabel 1 dapat diketahui pengaruh konsentrasi glukosa terhadap harga-harga konstanta pertumbuhan  $q$  yang meningkat dengan meningkatnya level glukosa dari 10 ke 50 g/l. Peningkatan harga  $q$  bermakna peningkatan konsentrasi biomassa. Data tersebut juga menjelaskan kemampuan biokontrol *T. harzianum* untuk tumbuh dengan baik pada konsentrasi gula yang relatif tinggi. Gambar 4 sampai dengan Gambar 6, memperlihatkan *slope*  $Y_{x/o}$  untuk masing-masing harga konsentrasi glukosa. Berdasarkan harga *slope* dapat dihitung harga-harga koefisien yield untuk  $CO_2$  ( $Y_{x/c}$ ), atau koefisien yield untuk  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ). Harga-harga tersebut pada berbagai konsentrasi glukosa disajikan pada Tabel 2. Seperti untuk harga  $q$ , koefisien yield meningkat dengan meningkatnya level glukosa dari 10 ke 50 g/l. Evaluasi data koefisien yield memberikan informasi tentang perbedaan peningkatan biomassa sel dengan laju konsumsi oksigen. Pada media dengan konsentrasi glukosa 50 g/l, sel lebih cepat berkembang dengan laju konsumsi oksigen yang sama dengan konsentrasi glukosa yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi oksigen pada konsentrasi glukosa yang lebih tinggi lebih digunakan untuk pembentukan sel.



Gambar 4. Koefisien yield  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ) pada konsentrasi glukosa 10 g/l



Gambar 5. Koefisien yield  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ) pada konsentrasi glukosa 30 g/l



Gambar 6. Koefisien yield  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ) pada konsentrasi glukosa 50 g/l

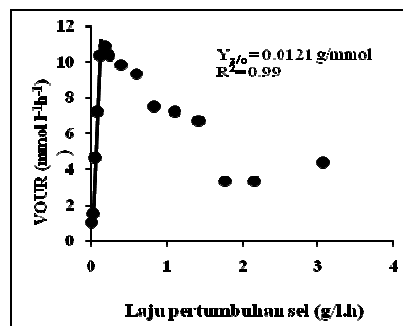
Tabel 2. Harga koefisien yield untuk berbagai level glukosa.

Konsent. glukosa (g l <sup>-1</sup> )	$Y_{x/o}$ g mmol <sup>-1</sup> $O_2$	$Y_{x/c}$ g mmol <sup>-1</sup> $CO_2$	$R^2$
10	0.0065	0.0064	0.99
30	0.0075	0.0074	0.97
50	0.0119	0.0118	0.93

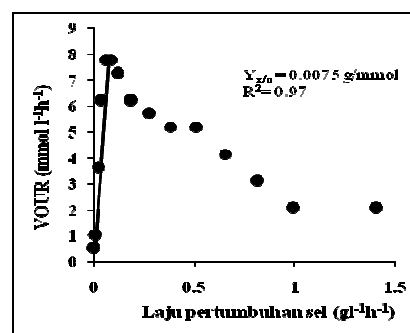
### 3.3 Pengaruh Rasio C/N

Rasio C/N juga mempengaruhi harga-harga konstanta pertumbuhan biomassa  $q$ . Berbeda dengan glukosa, peningkatan rasio C/N menurunkan harga konstanta  $q$ .

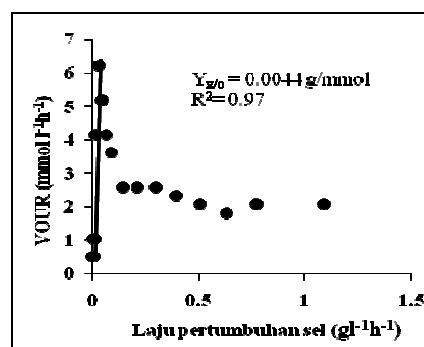
Sebagaimana telah diketahui, peningkatan harga rasio C/N sama halnya menurunkan kadar sumber nitrogen dalam kultur media. Penurunan harga-harga  $q$  menandakan pertumbuhan biomassa sel menurun, hal ini menunjukkan biokontrol *T. harzianum* lebih suka atau berkembang dengan baik pada komposisi nitrogen yang lebih tinggi. Gambar 7 sampai dengan Gambar 9 memperlihatkan slope kurva untuk  $Y_{x/o}$



Gambar 7. Koefisien yield  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ) pada Rasio C/N 24



Gambar 8. Koefisien yield  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ) pada Rasio C/N 44



Gambar 9. Koefisien yield  $O_2$  ( $Y_{x/o}$ ) pada Rasio C/N 64

Harga-harga koefisien yield untuk berbagai rasio C/N yang dihitung dari harga slope diperlihatkan pada Tabel 3. Harga-harga

yield tersebut memberikan suatu informasi tentang pemanfaatan oksigen pada fase pertumbuhan cepat. Dengan konsentrasi nitrogen yang lebih tinggi dalam media, biokontrol *T. harzianum* mengkonsumsi oksigen dalam jumlah yang sama tapi menghasilkan lebih banyak biomassa. Dengan demikian koefisien yield dapat digunakan untuk memonitor unjuk kerja dan untuk perhitungan neraca massa pada bioreaktor.

Tabel 3. Harga koefisien yield untuk berbagai rasio C/N.

CN ratio	$Y_{x/o}$ g mmol <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	$Y_{x/c}$ g mmol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
24	0.0121	0.0121	0.99
44	0.0075	0.0074	0.97
64	0.0044	0.0038	0.97

### 3.2 Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Berdasarkan harga konstanta  $q$  yang disajikan pada Tabel 1, dapat dijelaskan bahwa kecepatan pengadukan tidak terlalu berpengaruh terhadap pertumbuhan sel biokontrol *T. harzianum*. Hal ini dapat dijelaskan dengan menghubungkan tujuan pengadukan dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam media. Seperti diketahui, peningkatan kecepatan pengadukan dapat meningkatkan konsentrasi oksigen dalam media kultur. Kecepatan pengadukan ditingkatkan dari 300 sampai dengan 600 rpm, namun hal itu tidak meningkat pertumbuhan sel. Alasan yang mungkin untuk hal ini adalah laju ditransfer oksigen oleh pengaduk ke dalam media dengan kecepatan 300 rpm sudah mencukupi kebutuhan oksigen terlarut yang diperlukan sel untuk berkembang. Namun pada kecepatan pengadukan sebesar 700 rpm, harga konstanta  $q$  menurun, hal ini kemungkinan disebabkan oleh laju kematian sel akibat rusaknya dinding sel disebabkan oleh *shear stress* yang begitu besar yang ditimbulkan oleh kecepatan pengaduk.

Harga-harga koefisien yield untuk berbagai kecepatan di sajikan pada Tabel 4. Variasi harga-harga tersebut tidak memiliki

kecenderungan dan tidak terlalu signifikan. Hal ini menjelaskan, bahwa variasi kecepatan pada rentang 300 sampai 700 rpm tidak terlalu mempengaruhi pada peningkatan pertumbuhan biomassa sel.

Tabel 4. Harga koefisien yield untuk berbagai kecepatan pengadukan.

Kecepatan pengadukan (rpm)	$Y_{x/o}$ g mmol <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	$Y_{x/c}$ g mmol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
300	0.0135	0.0129	0.96
400	0.0075	0.0074	0.97
500	0.0091	0.0079	0.97
600	0.0099	0.0088	0.99
700	0.0116	0.0089	0.97

## 4. KESIMPULAN

Penerapan model pertumbuhan kubik (*cubic growth model*) pada pertumbuhan agensia biokontrol *T. harzianum* UPM 29 di dalam media cair glukosa dan yeast ekstrak pada berbagai kondisi eksperimen (berbagai konsentrasi glukosa, rasio C/N dan kecepatan pengadukan) adalah valid. Hal ini di dasarkan pada uji kelinieran *slope* dari semua kurva yang memberikan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) > 0.9 atau mendekati 1.

Peningkatan konsentrasi glukosa atau penurunan rasio C/N pada media akan meningkatkan harga-harga konstanta  $q$ . Peningkatan kecepatan pengadukan pada rentang 300 sampai 600 rpm tidak meningkatkan harga  $q$ .

Nilai tertinggi dari Yield koefisien untuk oksigen ( $Y_{o/x}$ ) adalah 0,0135 g (dry weight) mmol<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>. Nilai ini dihasilkan oleh sel biokontrol *Trichoderma harzianum* pada kondisi glukosa 30 g/l, rasio C/N 44 dan kecepatan pengadukan 300 rpm.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada Prof. Sariah Meon (Center for Biological Control of Tropical Pest, Universiti Putra Malaysia) atas kebaikannya memberikan isolate (agensia biokontrol *T. harzianum* UPM 29).

## DAFTAR PUSTAKA

- Agosin, E., D. Volpe, G. Munoz, R. San Martin and A. Crawford, Effect of Culture Conditions on Spore Shelf Life of The Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum*, *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, **13**, 225-232, 1997.
- Borrow, A., S. Brown, E. G. Jefferys, R. H. J. Kessell, E. C. Lloyd, P. B. Lloyd, A. Rothwell, B. Rothwell, and J. C. Swait, The kinetics of Metabolism of *Gibberella Fujikuroi* in Stirred Culture, *Canadian Journal of Microbiology*, **10**, 407-466, 1964.
- Brown D. E., and D. J. Halsted, The Effect of Acid pH on The Growth Kinetics of *Trichoderma viride*, *Biotechnology and Bioengineering*, **17**, 1199-1210, 1975.
- Dubey, S.C., Bhavani, R., Singh, B., Development of Pusa 5SD for seed dressing and Pusa Biopellet 10G for soil application formulations of *Trichoderma harzianum* and their evaluation for integrated management of dry root rot of mungbean (*Vigna radiata*), *Biological Control*, **50**, 231-242, 2009.
- Goudar, C. T., and K. A. Strevett, Estimating Growth Kinetics of *Penicillium chrysogenum* by nonlinear regression, *Biochemical Engineering Journal*, **1**, 191-199, 1998.
- Hubbard, D. W., Co, T.B., Murthy, P.P.P., and Mandalam R., Modeling the growth of *Acidothermus cellulolyticus*, In Galindo, E., and O. T. Ramirez (eds), *Advance in Bioprocess Engineering*, Netherlands, Kluwer Academic Publ. 241-245, 1994.
- Jackson, A. M., J. M. Whipps, J. M. Lynch and M. J. Bazin, Effects of Some Carbon and Nitrogen Sources on Spore Germination, Production of Biomass and Antifungal Metabolite by Species of *Trichoderma* and *Gliocladium virens* Antagonistic to *Sclerotium cepivorum*, *Biocontrol Science and Technology*, **1**, 43-51, 1991.
- Jin, X, A. G. Taylor, and G. E. Harman, Development of Media and automated liquid fermentation methods to produce desiccation-tolerant propagules of *Trichoderma harzianum*, *Biological Control*, **7**, 267-274, 1996.
- Lejeune, R. and G. V. Baron, Modeling the Exponential Growth of Filamentous Fungi During Batch Cultivation, *Biotechnology and Bioengineering*, **60**, 169-179, 1998.
- Reuß, M., R. K. Bajpai, and W. Berke, Effective Oxygen-consumption Rates in Fermentation Broth with Filamentous Organisms, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **32**, 81-91, 1982.
- Ruano Rosa, D., and López Herrera, C.J., Evaluation of *Trichoderma* spp. as biocontrol agents against avocado white root rot, *Biological Control*, **51**, 66-71, 2009.
- Said, S. D., Masitah Hasan, and K.B. Ramachandran, Effect of pH on Growth, Spore Production and Spore Viability of Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* in Submerged Fermentation. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, Vol. 3, No. 1, 14-18, 2003.

# **PENGARUH SERAT BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI CAMPURAN DARI LEMBARAN SERAT SEMEN TERHADAP BOBOT ISI, KEKUATAN LENTUR PENYERAPAN DAN KERAPATAN AIR**

## ***EFFECT OF OIL PALM STEM FIBRE AS ADMIXTURE FIBRE CEMENT SHEETS AGAINST CONTENT WEIGHT, BENDING STRENGTH, ABSORPTION AND WATER TIGHTEN***

**Zainal Abidin Nasution dan Siti Masriani Rambe**

Baristand Industri Medan, Jl. Sisingamangaraja 24, Medan

Email : Masriani@depperin.go.id

**INTISARI.** Lembaran serat semen, menurut SNI 15 – 0233 - 1998 adalah suatu campuran serat tumbuh-tumbuhan dan semen Portland ataupun sejenis ditambah dengan air tanpa ataupun dengan bahan tambahan lainnya, dengan bobot isi lebih dari 1,2 gr/cm<sup>3</sup>. Batang kelapa sawit adalah merupakan limbah perkebunan kelapa sawit yang kaya dengan serat. Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dengan memvariasikan tekanan pencetakan (40 kgf/cm<sup>2</sup>, 60 kgf/cm<sup>2</sup> dan 80 kgf/cm<sup>2</sup>), diketahui bahwa serat batang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai campuran pada pembuatan lembaran serat semen. Pada percobaan pembuatan contoh lembaran serat semen, diperoleh hasil yang maksimal yaitu rancangan berat contoh 1 kg semen Portland pozolan dan 0,1 kg serat batang kelapa sawit kering udara, dengan tekanan pencetakan 80 kgf/cm<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian contoh diketahui bobot isi = 1,69 gr/cm<sup>3</sup>, kekuatan lentur = 110,75 kgf/cm<sup>2</sup>, penyerapan air = 19,31% dan kerapatan air adalah tidak terjadi tetesan air. Sesuai dengan persyaratan yang diinginkan oleh SNI. 15 – 0233 - 1989, tentang lembaran serat semen, maka contoh percobaan lembaran serat semen dapat memenuhi persyaratan.

**Kata kunci :** Lembaran serat semen, serat batang kelapa sawit, tekanan pencetakan

**ABSTRACT.** Fibre cement sheets, according to SNI 15-0233 - 1998 was a mixed fibre plant and Portland cement combined with water, without or with other additives, the weight content of more than 1.2 g/cm<sup>3</sup>. Palm stem are a waste of oil palm plantations are rich with fibre. Based research has been conducted varying the molding pressure (40 kgf/cm<sup>2</sup>, 60 kgf/cm<sup>2</sup> and 80 kgf/cm<sup>2</sup>), note that palm stem fibre could be used as a mixture in the manufacture of fibre cement sheets. From experiments making fibre cement sheet samples, obtained results of the design maximum weight of 1 kg of Portland Pozolan and 0.1 kg of oil palm stem fibre dry air, with molding pressure 80 kgf/cm<sup>2</sup>. The results of testing samples known weight of content = 1.69 g/cm<sup>3</sup>, bending strength = 110,75 kgf/cm<sup>2</sup>, the absorption of water = 19.31% and the density of water is not happening dripping water. The accordance with the requirements desired by SNI. 15-0233 - 1989, of fibre cement sheets, then the experiment samples of fibre cement sheets can meet the requirements.

**Keywords:** Fibre cement sheets, oil palm stem fibre, molding pressure

### **1. PENDAHULUAN**

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis Guinensis* Jacq) merupakan tanaman budidaya perkebunan, baik itu yang dikelola oleh perusahaan swasta nasional, PTPN maupun

perkebunan rakyat. Di Negara Kesatuan Republik Indonesia, pada tahun 2008 mempunyai luas lahan 3,1 juta Ha perkebunan rakyat, 796.695 Ha perkebunan PTPN dan 3,7 juta Ha perkebunan swasta nasional. (BPS, 2008).

Pohon kelapa sawit sudah tua bila mencapai umur lebih dari 20 tahun, dapat mencapai tinggi 9 m sampai dengan 12 m dan harus diremajakan kembali (replanting), dimana batang kelapa sawit sampai saat sekarang ini merupakan limbah padat yang cukup banyak (Supriadi, 1999).

Karakteristik kayu kelapa sawit adalah sebagai berikut:

- a. Komposisi volume rata-rata dolok kayu kelapa sawit :
  - Bagian kulit = 17 %
  - Bagian keras = 56 %
  - Bagian medium = 17 %
  - Bagian lunak = 10 %
- b. Persentase hasil gergajian rata-rata kayu kelapa sawit :
  - Bagian keras = 31 %
  - Bagian medium = 9 %
  - Bagian lunak = 4 %
  - Limbah penggergajian = 56 %

(Sumber : Supriadi, 1999).

Pada umumnya kalangan industri memanfaatkan tanaman kelapa sawit buahnya saja sebagai bahan baku minyak kelapa sawit hanya memanen *Crude Palm Oil* (CPO). Pohon kelapa sawit pada dasarnya semua dapat dimanfaatkan, seperti batang daun untuk sapu lidi, buah sawit sebagai CPO, batang kelapa sawit sebagai sumber pulp, cangkang sebagai arang aktif dan lain sebagainya. Batang kelapa sawit selain dapat digunakan sebagai bahan baku industri pulp dapat juga digunakan sebagai sumber serat pada industri penghasil lembaran semen. Industri lembaran semen biasanya menggunakan serat alam untuk bahan baku produksinya yang bersumber dari serat kayu hutan. Saat ini serat kayu hutan sudah langka diperoleh karena banyaknya penebangan hutan secara liar dan juga kebutuhan industri perkayuan seperti meubel dan lain sebagainya yang semakin meningkat.

Sumber serat yang digunakan pada industri lembaran semen yang sudah semakin langka, sehingga akan meningkatkan biaya produksi. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu kajian dan penelitian untuk

menggunakan sumber-sumber serat lainnya, yang belum dimanfaatkan antara lain adalah sumber serat yang berasal dari batang kelapa sawit.

Lembaran serat semen, dibuat dari campuran serat dan semen, biasanya dalam bentuk lembaran dan dipakai untuk interior permukaan bagian atas dari suatu ruangan rumah/bangunan yang digunakan untuk menutupi bagian bawah dari konstruksi atap, agar tidak terlihat (Shidiq, 1997). Lembaran serat semen (non-asbes) adalah suatu campuran serat tanaman dan semen Portland ataupun semen sejenis ditambah dengan air tanpa atau dengan bahan tambahan lainnya, dengan bobot isi lebih dari 1,2 gram/cm<sup>3</sup>.

Bobot isi adalah berat persatuan volume yang didalamnya termasuk juga rongga-rongga ataupun pori-pori.

Menurut SNI.15 – 0233 – 1989, lembaran serat semen harus memenuhi syarat :

- a. **Bentuk/pandangan luar**, lembaran serat semen harus mempunyai tepi potong yang lurus, rata dan tidak mengkerut, sama tebalnya, bersuara nyaring jika di ketuk dengan benda keras yang menunjukkan lembaran serat semen tidak pecah atau retak.

Permukaan lembaran, serat semen tidak menampakkan retak rambut atau retak seribu, kerutan-kerutan, ataupun cacat lainnya yang dapat mempengaruhi sifat pemakaiannya.

Bidang potongan lembaran serat semen, harus menampakkan campuran yang merata, tidak berlobang-lobang ataupun tidak terbelah-belah. Lembaran harus mudah dipotong, digergaji, dibor, dan dipaku tanpa menunjukkan terjadinya cacat ataupun retakan.

- b. **Ukuran dan sifat-sifat fisik**, tebal minimum adalah 4 mm, dengan penyimpangan maksimum 10%, penyimpangan ukuran panjang dan lebar maksimum 1%, penyerapan air maksimum 35%, kerapatan air harus baik (tidak terjadi tetesan air) dan kuat lentur minimum adalah 100 kgf/cm<sup>2</sup>.



Sifat-sifat fisik lembaran serat semen sangat dipengaruhi oleh karakter campuran dalam hal ini adalah serat dari batang kelapa sawit.

Untuk mendapatkan beton (concrete), maka kualitas campuran (semen, agregat dan air), dan cara pembuatannya perlu diteliti. Perawatan (curing) adalah merupakan suatu cara untuk membuat semen menjadi keras. Menjaga agar beton selalu dalam keadaan jenuh air, hingga butir semen yang ada dalam beton tersebut mengeras sempurna. Semakin sempurna pengerasan butir semen (terhidrasi) maka beton akan semakin kuat. Proses curing dilakukan dengan membasahi beton dengan air selama 3 sampai dengan 7 hari setelah beton dicetak (Trimulyono, 2004).

## 1.1 Hipotesa

Perlu dilakukan suatu penelitian, untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh serat batang kelapa sawit sebagai campuran, sesuai dengan yang disyaratkan oleh standar untuk lembaran serat semen.

## 1.2 Maksud dan Tujuan

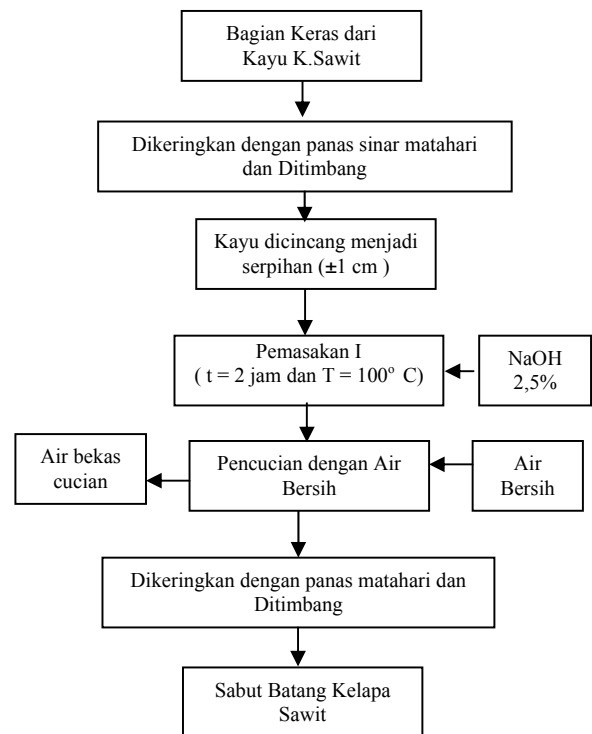
Untuk mengetahui sifat-sifat fisik lembaran serat semen yang menggunakan campuran serat dari batang kelapa sawit, untuk diketahui bobot isi, kekuatan lentur penyerapan air dan kerapatan airnya hingga sesuai dengan persyaratan standar yang telah ditetapkan.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian Bahan

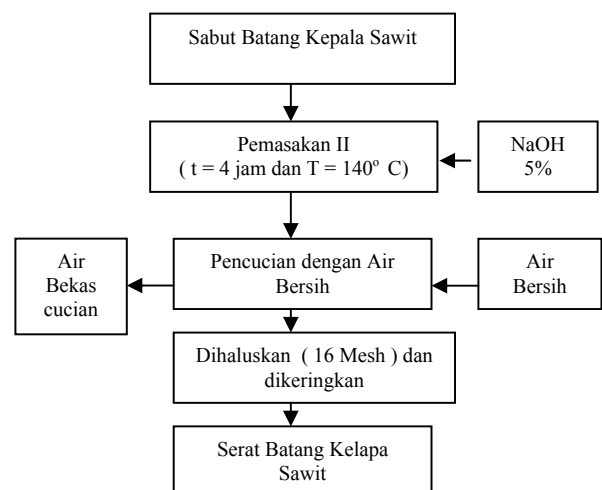
Bahan-bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk membuat contoh lembaran serat semen adalah batang kelapa sawit, soda api teknis, ketel pemasak, semen Portland Pozolan, timbangan, blender, cetakan besi untuk membuat lembaran serat semen, mesin press hidrolik, wadah-wadah, alat-alat bantu lainnya, mesin uji lentur dan lain sebagainya.

## 2.1 Metode Penelitian

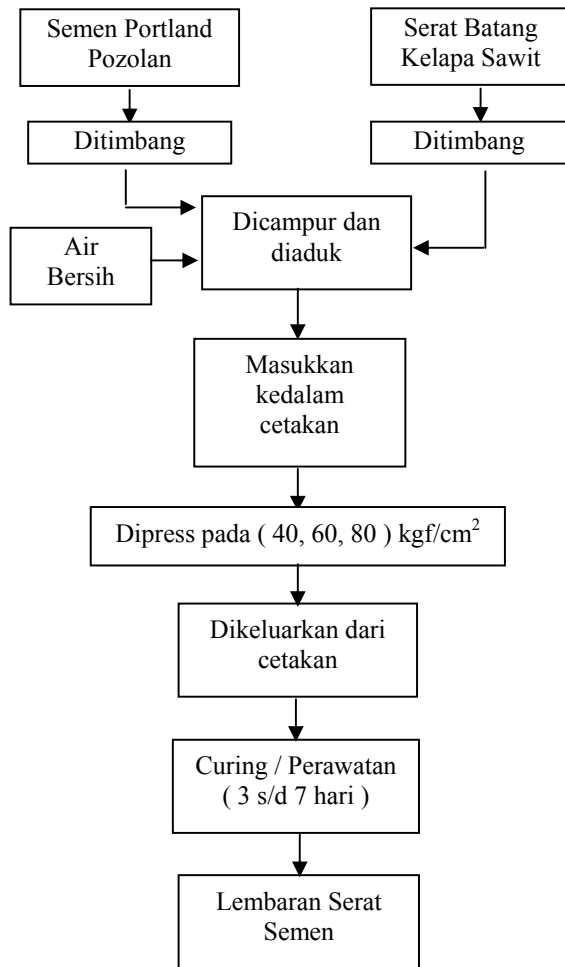
### 2.1.1 Langkah-Langkah Untuk Pembuatan Contoh Lembaran Serat Semen dengan Bahan Pengisi Serat Batang Kelapa Sawit



Gambar 1. Diagram alir pembuatan serat dari batang kelapa sawit



Gambar 2. Diagram alir pembuatan sabut batang kelapa sawit



Gambar 3. Diagram pembuatan contoh lembaran serat semen dari serat batang kelapa sawit.

## 2.2.2 Rancangan Percobaan Pembuatan Lembaran Serat Semen (Perbandingan dalam Berat Kering)

Tabel 1. Rancangan Percobaan Pembuatan Lembaran Serat Semen (Berat kering)

No	Kode Contoh	Tekanan Cetak (kgf/cm)	Serat Batang Kelapa sawit Kering (kg)	Semen Portland pozolan (Kg )
1	A-I	40	0.1	1
2	A-II	40	0.2	1
3	A-III	40	0.3	1
4	A-IV	40	0.4	1
5	A-V	40	0.5	1
6	B-I	60	0.1	1

No	Kode Contoh	Tekanan Cetak (kgf/cm)	Serat Batang Kelapa sawit Kering (kg)	Semen Portland pozolan (Kg )
7	B-II	60	0.2	1
8	B-III	60	0.3	1
9	B-IV	60	0.4	1
10	B-V	60	0.5	1
11	C-I	80	0.1	1
12	C-II	80	0.2	1
13	C-III	80	0.3	1
14	C-IV	80	0.4	1
15	C-V	80	0.5	1

## 2.2.3 Rancangan Pembuatan Contoh

Ukuran contoh (Volume Contoh) =  
 $P \times L \times T = 25 \times 10 \times 0,4 = 100 \text{ cm}^3$

Rancangan Massa Jenis =  $1,2 \text{ gr/cm}^3$

Rancangan berat contoh =  $1,2 \text{ gr/cm}^3 \times 100 \text{ cm}^3 = 120 \text{ gr}$ , Maka persentase berat contoh adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Persentase Berat Kering dan Berat dari Semen Portland pozoland dan Serat Batang Kelapa Sawit untuk Pembuatan Contoh

No	Perla- kuan Contoh	Kode Contoh	Persentase (%)		Berat Contoh	
			Semen Portland Pozolan	Serat batang Kelapa sawit	Semen Portland Pozolan	Serat batang Kelapa sawit
1	I	AI, BI, CI	90.91	9.09	109.09	10.91
2	II	AII, BII, CII	83.33	16.67	100	20.00
3	III	AIII, BIII, CIII	76.92	23.08	92.3	27.7
4	IV	AIV, BIV, CIV	71.43	28.57	85.72	34.28
5	V	AV, BV, CV	66.67	33.33	80.00	40.00

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Hasil Penelitian

Tabel 3. Hasil pemasakan Batang Kelapa Sawit

No	Percobaan	Berat Batang Kelapa Sawit sebelum pemasakan (kering udara) (gr)	Konsentrasi larutan pemasak NaOH (%)	Lama Pemasakan (Jam)	Rendemen Pemasakan (Kering udara) (%)
1	Pemasakan I	1000	2,5	2	78
2	Pemasakan II	7000	5	4	72,5

Tabel 4. Hasil Pengujian Contoh Lembaran Semen Dengan Bahan Pengisi Serat Batang Kelapa Sawit

No	Kode Contoh	Tekanan Cetak (kgf/cm <sup>3</sup> )	Bobot Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuat Lentur ( kgf/cm <sup>2</sup> )	Penyerapan Air (%)	Rapat Air (Keadaan)
1	A – I	40	1,46	58,66	26,17	Tidak Menetes
2	A – II	40	1,39	32,45	33,71	Menetes
3	A – III	40	1,28	32,21	44,47	Menetes
4	A – IV	40	1,20	24,26	48,31	Menetes
5	A – V	40	0,95	24,61	67,07	Menetes
6	B – I	60	1,58	64,48	22,81	Tidak menetes
7	B – II	60	1,45	50,85	29,93	Tidak menetes
8	B – III	60	1,33	50,42	34,55	Menetes
9	B – IV	60	1,22	49,74	45,92	Menetes
10	B – V	60	0,98	37,87	56,68	Menetes
11	C – I	80	1,69	110,75	19,31	Tidak menetes
12	C – II	80	1,51	60,07	23,06	Tidak menetes
13	C – III	80	1,39	57,32	28,08	Tidak menetes
14	C – IV	80	1,29	52,32	34,03	Tidak menetes
15	C – V	80	1,17	35,16	48,29	Menetes

#### 3.2 PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh dilakukan pembahasan sebagai berikut :

##### 3.2.1 Serat Tumbuh-tumbuhan sebagai Bahan Pengisi Lembaran Serat Semen

Tumbuh – tumbuhan, baik itu tanaman kayu (wood) ataupun tanaman bukan kayu (non wood), merupakan sumber serat yang terdiri atas gabungan senyawa – senyawa kimia, yaitu selulosa yang merupakan komponen penyusun utama, lignin yang berfungsi sebagai bahan perekat antara kelompok selulosa, zat ekstraktif yaitu senyawa-senyawa organik yang mempunyai berat molekul rendah dan zat – zat anorganik

(mineral) dalam jumlah yang kecil. Serat-serat pada tumbuh-tumbuhan berfungsi sebagai penguat dan penegak batang, berkelompok menjadi berkas serat yang dikelilingi oleh jaringan parenkim. Lignin merupakan senyawa organik polimer yang banyak dan penting bagi tumbuh – tumbuhan. Lignin merupakan bahan perekat bagi serat-serat, menaikkan sifat-sifat kekuatan mekanik sedemikian rupa, sehingga tumbuh-tumbuhan dapat tegak berdiri. Lignin merupakan senyawa amorph yang terdapat didalam lamella tengah majemuk maupun didalam dinding sekunder. Lignin membuat serat menjadi kaku dan menolak air (hydropholic). Apabila lignin diisolasi maka serat akan mengalami daya swelling (mengembang) dan membuat terjadinya ikatan serat (Harun, 1998).

Pada proses pemasakan material kayu (wood) ataupun bukan kayu (non wood) dengan bahan kimia pemasak, misal: larutan NaOH, maka lignin, zat – zat ekstraktif dan zat-zat an organik akan larut didalam bahan kimia pemasak sehingga dapat diperoleh serat (Tjahjono, 1998).

Serat itu terdiri dari satu serat gula, yaitu glukosa yang digabung- gabung yang disebut dengan selulosa. Rumus molekul selulosa adalah  $(C_6H_{10}O_5)_n$  dengan berat molekul 250.000 samapi dengan 1.000.000 atau lebih dan umumnya tiap molekul selulosa sekurang-kurangnya terdiri dari 1.500 satuan glukosa. Selulosa adalah polimer alam, yang dapat menyerap air ataupun melepaskan air.

Rantai selulosa mengandung gugusan OH disepanjang rantainya, yang menyebabkan secara keseluruhan selulosa bermuatan negative. Gugusan OH ini dapat mengikat air, sehingga kemampuan membentuk ikatan ini disebut ikatan hydrogen. Sifat-sifat ini sangat diperlukan dan penting, karena untuk pembuatan barang-barang semen, maka air sangat dibutuhkan proses hidrasi pembentukan senyawa semen (Sugesty, 1998).

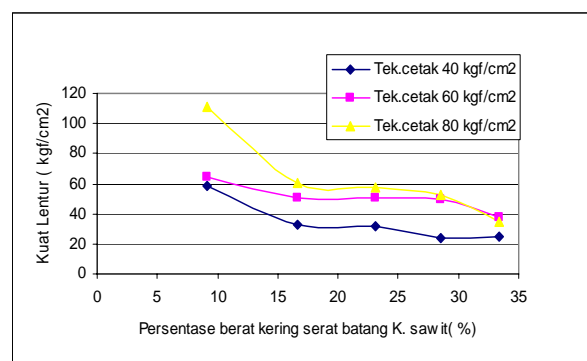
### 3.2.2 Pengaruh Tekanan Pencetakan Terhadap Kekuatan Lentur, Bobot Isi dan Penyerapan Air

Pada persyaratan standar sudah dijelaskan bahwa lembaran serat semen bila diketuk oleh benda keras akan bersuara nyaring. Oleh karena itu untuk mendapatkannya maka lembaran serat semen harus rata dan padat. Selain itu juga ketebalan lembaran serat semen relatif tipis (tebal minimum 4 mm). Sehingga untuk mendapatkan kekutan lentur yang tinggi, maka tidak dapat diharapkan dari hidrasi semen dengan variasi semen, serat dengan bahan tambahan lainnya dan ditekan secara manual ataupun roll proses saja. Untuk mendapatkan lembaran serat semen yang rata dan padat agar mempunyai kekuatan lentur yang tinggi, maka harus diberikan tekanan pencetakan. Manfaat yang diberikan oleh tekanan pencetakan adalah :

- Udara yang terperangkap didalam adukan lembaran serat semen akan keluar.
- Air berlebihan akan terperas keluar dari adukan lembaran serat semen.

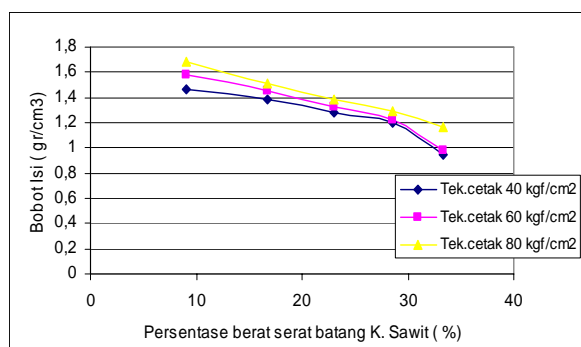
Akibat dari udara dan air keluar dari adukan lembaran serat semen, maka serat-serat akan saling merapat bersentuhan satu dengan lainnya yang mana diantara serat-serat itu semen berada. Oleh karena serat alami dapat menyimpan air, maka proses hidrasi dapat berlangsung. Untuk menghindari kekurangan air akibat terperas selama proses pencetakan, maka dalam perawatannya (curing time), agar proses hidrasi dapat berlangsung, setelah 24 jam pada permukaan lembaran serat semen dari contoh, disiram air. Dan kemudian dibiarkan selama 21 hari disuatu tempat yang terlindung dari terpaan sinar matahari.

Dari Gambar 5 di bawah ini, dapat dilihat bahwa perbandingan persentase berat kering dari serat batang kelapa sawit dan semen dengan melakukan variasi tekanan pencetakan akan memberikan kekuatan lentur yang menurun. Pada perlakuan sampel C-I yang memberikan hasil lembaran serat semen dapat mencapai kekuatan lentur minimum, seperti yang dipersyaratkan dalam standar yaitu  $100 \text{ kgf/cm}^2$ . Sedangkan pada perlakuan sampel lainnya, variasi tekanan cetak tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekuatan lentur dari contoh lembaran serat semen.



Gambar 4. Pengaruh tekanan pencetakan terhadap kuat lentur

Pada percobaan sampel C - I (tekanan cetak 80 kgf/cm<sup>2</sup>, persentase semen portland pozalan 90,91% dan serat batang kelapa sawit 9,09%), memberikan kekuatan lentur 110,75 kgf/cm<sup>2</sup>. Pada kondisi percobaan sampel C - I, kekuatan lenturnya sudah melebihi kekuatan lentur minimum lembaran serat semen, seperti yang dipersyaratkan oleh standar.

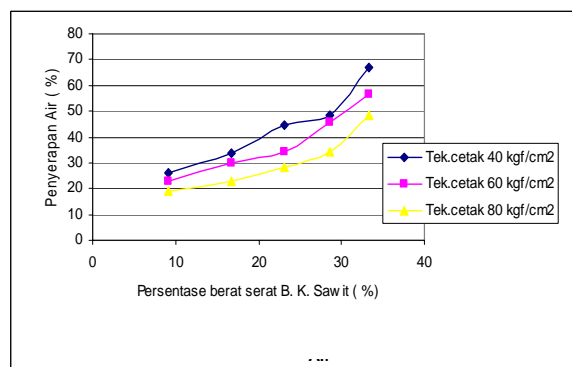


Gambar 5. Pengaruh tekanan pencetakan terhadap bobot isi

Dari Gambar-5 dilihat, bahwa perbandingan persentase berat kering dari serat batang kelapa sawit dan semen dengan melakukan variasi tekanan pencetakan akan memberikan bobot isi yang menurun. Semakin tinggi tekanan cetak, maka lembaran serat semennya semakin padat, artinya bobot isinya semakin tinggi (dapat dilihat pada Tabel 2).

Dari hasil percobaan, bahwa perlakuan sampel A - V, B - V dan C - V, bobot isinya berada dibawah 1,2 gr/cm<sup>3</sup>. Meskipun telah dilakukan variasi tekanan pencetakan, ternyata bobot isinya tidak dapat melebihi dari 1,2 gr/cm<sup>3</sup>. Artinya, disinilah batas semen sebagai perekat hidrolis tidak dapat lagi berfungsi untuk mengikat serat sedemikian rupa. Penyerapan air maksimum yaitu 35% seperti yang dipersyaratkan oleh standar. Semakin tinggi persentase berat kering dari serat menyebabkan meningkatnya penyerapan air dari contoh percobaan. Contoh - contoh yang mempunyai daya serap air melebihi maksimum adalah A-III, A-IV, A-V, B-IV, B-V dan C-V.

Pada Gambar 6, dapat dilihat, bahwa peningkatan tekanan pencetakan tidak akan memberikan pengaruh terhadap daya penyerapan air dari lembaran serat semen hasil percobaan.



Gambar 6. Pengaruh tekanan pencetakan terhadap penyerapan air

### 3.2.3 Pengaruh Tekanan Pencetakan Terhadap Kemampuan Digergaji, Kemampuan Dipaku dan Kerapatan Air

Pada persyaratan standar lembaran serat semen, adalah uji pengamatan saja. Mampu digergaji dan mampu dipaku artinya contoh selama di uji tidak menimbulkan cacat (retak/pecah). Kemudian kerapatan air adalah uji rapat air dari contoh, bahwa pada bagian bawah contoh tempat uji rapat air tidak terjadi tetesan air.

Untuk uji gergaji sampel dengan jumlah 20 gigi/inci, semua sampel dilakukan dengan pengujian dengan cara digergaji dan hasilnya pada daerah pinggirnya utuh. Tetapi untuk gergaji dengan jumlah 6 gigi/inci, sampel A-IV, A-V, B-IV, B-V, C-IV dan C-V pada pinggirnya sudah tidak utuh lagi. Ini membuktikan bahwa serat pada sampel tidak semuanya diikat lagi oleh semen.

Untuk uji dipaku dengan paku (panjang = 28 mm, lebar kepala = 3 mm dan diameter = 1,8 mm) semua sampel tidak mengalami cacat/retak. Paku yang dipergunakan adalah paku triplek dan biasa digunakan untuk memaku lembaran serat semen.

Untuk uji kerapatan air, sampel yang mengalami tetesan air adalah A-II, A-III, A-IV, A-V, B-III, B-IV, B-V dan CV. Selain itu semua sampel lainnya tidak mengalami tetesan air, yang mana pengujian kerapatan air dilaksanakan sesuai seperti yang diisyaratkan oleh SNI 15-0233-1989.

### 3.2.4 Pengaruh Tebal Terhadap Berat Lembaran Serat Semen

Dalam persyaratan ditetapkan tebal minimum 4 mm, dan tidak menetapkan batas maksimum. Dari hasil perbandingan contoh lembaran serat semen yang berasal dari pasar dapat diketahui, seperti berikut: tebal = 2,9 mm, bobot isi = 1,63 gr/cm<sup>3</sup> dan kekuatan lenturnya = 121,62 kgf/cm<sup>2</sup>. Dari perhitungan dapat diketahui bahwa perlembar (100 cm x 100 cm), beratnya adalah 4,7 kg/lembar. Bila tebal = 4,0 mm, dengan bobot isi yang sama maka berat perlembar adalah 6,5 kg, ada selisih berat 1,8 kg/lembar.

Tebal lembaran serat semen mempengaruhi pembebanan pada konstruksi dari bangunan dan biaya produksi lembaran serat semen. Lembaran serat semen yang diperdagangkan, taraf kualitasnya adalah kekuatan lenturnya. Apabila kekuatan lenturnya sudah melebihi kekuatan lentur minimum seperti yang dipersyaratkan dan bobot isinya melebihi 1,2 gr/cm<sup>3</sup> (adukannya baik), meskipun tebal minimum tidak tercapai, pada kenyataannya lembaran serat semen tersebut telah diperjualbelikan di pasar.

Parameter utama dari pada lembaran serat semen adalah kekuatan lenturnya. Bobot isi berpengaruh terhadap kekuatan lentur, penyerapan air dan rapat air. Sedangkan bobot isi sangat dipengaruhi oleh komposisi serat batang kelapa sawit dengan semen dan besarnya tekanan pencetakan. Tidak berarti apabila semakin kecil komposisi serat batang kelapa sawit terhadap semen, cenderung akan memberikan bobot isi yang tinggi.

Apabila adukan dengan komposisi serat batang kelapa sawit terhadap semen sudah demikian kecilnya, maka sewaktu proses pencetakan, serat batang kelapa sawit tidak lagi berfungsi sebagai bahan campuran, antara lain serat batang kelapa sawit tidak lagi dapat menahan adukan tidak keluar dari cetakan. Intinya proses pemadatan adukan tidak lagi dapat dilakukan. Tidak akan diperoleh lembaran serat semen, karena semua adukan akan terperas keluar dari cetakan.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa contoh percobaan C-I, sudah memberikan hasil yang memenuhi persyaratan. Pada rancangan percobaan 0,1 kg serat batang kelapa sawit kering udara dengan 1 kg semen Portland Pozolan lembaran serat semen diperoleh adalah: kekuatan lentur 110,75 kgf/cm<sup>2</sup>, bobot isi = 1,69 gr/cm<sup>3</sup>, penyerapan air = 19,31%, keadaan rapat air adalah tidak menetes, kemampuan dipaku adalah baik. Sesuai dengan persyaratan yang diinginkan oleh SNI 15-0233-1989, tentang lembaran serat semen contoh lembaran serat semen dapat memenuhi persyaratan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa serat batang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran untuk membuat lembaran serat semen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, *Data Perkebunan Kelapa Sawit*, BPS, 2008.
- Duggal, S.K., *Building Material*, Second Edition Reprint, New Age International (P) Limited Pubsliher, New Delhi, pp. 141-145, 2006.
- Gupta, and Santosh Kumar, *Material Sciences for Engineers*, First Edition, CBS Publisher & Distributrion, New Delhi, pp. 340-343, 2004.
- Harun, HWK., *Diklat Pelatihan Sifat Fisik dan Morfologi Bahan Baku*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Selulosa, Bandung, hal. 1-38, 1998.
- Hornbostel, *Construction Materials : Types, Uses anad Applications*, John Willey & Sons, New York, pp. 498-515, 1982.
- Khurmi, R.S, *Strenght of Materials*, S. Chand & Company Ltd, New Delhi, pp. 378-385, 1982.

- Miller, J and J. E. Freud, *Probability and Statistics for Engineers*, Prentice Hall Inc., New York, pp. 226-334, 1965.
- Shidiq, H., *Ensiklopedi Umum*, Penerbit Jaya Kamus, Jakarta, hal.315, 1997.
- Sugesty, S., *Diklat Pelatihan Sifat dan Kualitas Pulp*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Selulosa Bandung, hal. 1-18, 1998.
- Supriadi, A., O. Rahman dan E. Sarwono, *Karakteristik Dolok dan Sifat Penggergajian Kayu Sawit (Elaeis Guinensis Jacq)*, Buletin Penelitian Hasil Hutan, Vol. 17 No. 1, Bogor, hal 1-20, 1999.
- Tjahjono, H.Y., *Diklat Pelatihan Proses Pembuatan Pulp*, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Selulosa, Bandung, hal. 1-38, 1998.
- Trimulyono, *Teknologi Beton*, Penerbit Ardi, Yogyakarta, hal. 310-316, 2004.
- Vries, J.D, *Winkler Prins Algemene Encyclopedie*, Zevende Deel, nv. Uitgevers Maatschappy Elsevier, Amsterdam, page. 186, 1935.
- Standar Nasional Indonesia, 15-0233-1989, *Mutu dan Cara Uji Lembaran Serat Semen*, BSN, Jakarta, 1989.
- ANSI/ASTM (220-77), *Standard Specification for Flate Asbestos Cement Sheets*, Vol. 16, pp. 129-131.
- ANSI/ASTM (459-63 Reapproved 1976, *Sampling and Testing Asbestos Cement Flat Sheets, Roafing anad Siding Shingles and Clapboand*, Vol. 16,pp. 298-230.



# PEDOMAN PENULISAN NASKAH

- Naskah atau artikel yang diajukan merupakan hasil penelitian, ulasan ilmiah dan catatan penelitian (research notes), yang belum pernah diterbitkan dan tidak direncanakan diterbitkan dalam penerbitan-penerbitan lain.
- Naskah atau artikel diketik di atas kertas putih A4 (210 x 297 mm) pada satu permukaan dengan 2 (dua) spasi dan tidak lebih dari 15 (lima belas) halaman. Naskah disampaikan rangkap 2 (dua) termasuk asli dengan disertai *softcopy* program “Ms Word”.
- Sistematika penulisan artikel terdiri atas judul, nama penulis, instansi, intisari dan kata kunci (bahasa Indonesia dan bahasa Inggris), pendahuluan, metodologi, hasil dan pembahasan, kesimpulan, ucapan terima kasih (bila ada) dan daftar pustaka.
- Format penulisan artikel :
  1. **Judul** ditulis dalam 2 bahasa, Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris, memuat maksimum 20 kata.
  2. **Nama penulis** ditulis di bawah judul dengan ketentuan jika penulisnya lebih dari satu dan intansinya berbeda maka ditandai dengan <sup>1)</sup>, <sup>2)</sup> dan seterusnya.
  3. **Instansi/alamat + Email** ditulis di bawah Nama penulis.
  4. **Intisari/Abstrak** ditulis dalam 2 bahasa, Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris, memuat maksimum 500 kata dalam Bahasa Indonesia. Untuk artikel yang ditulis dalam Bahasa Inggris, **Intisari/Abstrak** tidak perlu ditulis dalam Bahasa Indonesia. **Intisari/Abstrak** berisikan tujuan, ruang lingkup, metodologi, hasil dan kesimpulan.
  5. **Kata Kunci/Keywords** disesuaikan dengan bahasa yang digunakan.
  6. **Pendahuluan**, berisi: Latar belakang/permasalahan, teori yang mendukung, tujuan dan ruang lingkup.
  7. **Metodologi**, dapat berisi: bahan, peralatan, desain eksperimen/rancangan penelitian dan prosedur penelitian.
  8. **Hasil dan Pembahasan**.
  9. **Kesimpulan** (dapat memuat *saran* bila ada).
  10. **Ucapan Terima Kasih** (bila ada).
  11. **Daftar Pustaka**.

Daftar pustaka yang dipakai dan tercantum dalam tulisan yang dimasukkan, disusun menurut abjad, nama pengarang, judul, penerbit, kota, volume, nomor dan halamannya serta tahun terbit.
- Tabel diberi nomor dan ditulis singkat serta jelas dibagian atasnya.
- Grafik dan gambar harus jelas dan kontras. Setiap gambar diberi nomor, judul dan keterangan yang jelas dibawahnya.
- Foto harus mempunyai ketajaman yang baik, diberi nomor, judul dan keterangan seperti pada gambar.

