

Prosiding

TEMU PAKAR & BIOTEKNOLOGI 2012

“Tanaman Hasil Rekayasa Genetika
versus Tantangan Ketahanan Pangan”



2012
10
Juli

IPB International Covention Center, Bogor

Diterbitkan oleh:

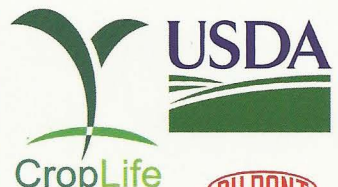


DEPARTEMEN AGRONOMI DAN HORTIKULTURA
FAKULTAS PERTANIAN-IPB

Didukung oleh:

syngenta

MONSANTO



CropLife



Dit. RKS-IPB



IndoBiC



PIONEER.

visit us at: <http://pakarbiotek.wordpress.com>

Prosiding

Temu Pakar Bioteknologi 2012

Tanaman Hasil Rekayasa Genetika versus
Katahanan Pangan

Organisasi
Masyarakat Internasional
Crop Life International
Sipgana
Diponegoro
USDA - PAS
Indo-BIC
Indonesian RCO, IPB

Saran untuk penyitiran :

Sudarsono, Dewi Sukma, Megayani S. Rahayu, Bambang Purwoko, Diny Dinarti, M. Syukur. 2012. Prosiding - Temu Pakar Bioteknologi 2012 – Departemen Agronomi dan Hortikultura, Faperta, IPB. Bogor – INDONESIA

368, xx halaman. 18.2 x 25.7 cm

ISBN 978-979-15649-7-7

Temu Pakar Bioteknologi 2012

“Tanaman Hasil Rekayasa Genetika versus
Ketahanan Pangan”

Tim Editor :

Prof. Dr. Ir. Sudarsono, MSc.
Dr. Dewi Sukma, SP, MS.
Ir. Megayani Sri Rahayu, MS.
Prof. Dr. Ir. Bambang Purwoko, MSc.
Dr. Ir. Diny Dinarti, MS.
Dr. M. Syukur, MS.

Desain Sampul :

Syaiful Anwar

Tata Letak :

Nita Ekana'ul
Shalati Febjislami
Syhabuddin Al Tapsi

Diterbitkan oleh:

Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian,
Institut Pertanian Bogor

E-mail : temu.pakar@gmail.com

Website : <http://pakarbiotek.wordpress.com>

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
SAMBUTAN KETUA DEPARTEMEN	vii
SAMBUTAN REKTOR INSTITUT PERTANIAN BOGOR	ix
KEYNOTE SPEECH OF THE VICE MINISTER OF AGRICULTURE	xiii
DAFTAR ISI	xvii
SUSUNAN ACARA TEMUPAKAR BIOTEKNOLOGI 2012	xix
TEMU PAKAR BIOTEKNOLOGI 2012	1
PROFIL INSTITUSI	5
Institut Pertanian Bogor	5
Donald Danforth Plant Science Center	11
SEAMEO For Tropical Biology (BIOTROP)	13
Universitas Jember	15
Pusat Penelitian Bioteknologi, LIPI	17
Balai Besar Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian (BB Biogen)	21
Balai Besar Padi (BB Padi)	25
PROFIL INVITED SPEAKER	27
MAKALAH UTAMA	33
MAKALAH POSTER	123
LAMPIRAN	355
SUSUNAN PANITIA TEMU PAKAR BIOTEKNOLOGI 2012	355
DAFTAR PESERTA	357
INDEKS PENULIS	365
INDEKS KOMODITAS	367

MAKALAH POSTER

Daftar Makalah Poster yang makalah lengkapnya disajikan dalam buku prosiding Temu Pakar Bioteknologi 2012:

- 1 **Atra Romeida**, Surjono Hadi Sutjahjo, Agus Purwito, Dewi Sukma, Rustikawati : *Induksi Mutasi Plantlet Anggrek Spathoglottis Plicata Blume. Menggunakan Irradiasi Sinar Gamma Dan Karakterisasi Berdasarkan Karakter Vegetatif Dan Generatif Di Rumah Kawat*
- 2 **Eka Fibrianty**, Dewi Sukma : *Pengaruh Konsentrasi Auksin Dan Sitokinin Terhadap Kemampuan Dan Kecepatan Tumbuh Meriklon Anggrek Phalaenopsis*
- 3 **Elizabeth Handini**, R. Vitri Garvita : *Pengaruh Media Knudson'sc Terhadap Uji Daya Simpan Biji Anggrek Paphiopedilum supardii Secara In Vitro*
- 4 **Hasrat Enggal Prayogi**, Megayani Sri Rahayu : *Kondisi Awal Kultur Tanaman Krisan (Chrysanthemum Grandiflora Tzvelve) Secara In Vitro Yang Ditumbuhkan Pada Media Bahan Organik*
- 5 **Muhammad Ridhwan**, Hadisunarso, Ence Darmono Jaya Supena : *Kombinasi Teknik Mutagenesis Dan Kultur Antera Untuk Percepatan Perbaikan Genetik Cabai Kultivar Lokal*
- 6 **Mulyorini Rahayuningsih**, Devi Aryati : *Kajian Peningkatan Skala Produksi Bioinsektisida Bacillus Thuringiensis Aizawai Untuk Ulat Tanaman Kubis Menggunakan Substrat Limbah Cair Tahu Dan Air Kelapa*
- 7 **Dewi Sukma**, Roedhy Poerwanto, Sudarsono, Nurul Khumaida, I Made Artika, Suryo Wiyono : *Aktivitas Kitinase dan Peroksidase dari Ekstrak Kasar Protein Asal Kalus dan Berbagai Jaringan Tanaman Trichosanthes Cucumerina var. Anguina*
- 8 **Aida Wulansari**, Agus Purwito, Ali Husni : *Kemampuan Regenerasi Kalus Jeruk Siam Hasil Perlakuan EMS*
- 9 **Karyanti**, Agus Purwito, Ali Husni : *Pengaruh Lama Perendaman Mutagen EMS (Etil Metan Sulfonat) Terhadap Regenerasi Kalus Embriogenik Jeruk Keprok Garut Dan Keprok Batu (Citrus reticulata L.)*
- 10 **Emi Budiayati**, Hardiyanto, Oka Ardiana Banati, Suhariyono : *Evaluasi Penampilan Hasil Irisan Melintang Pada Pertautan Mata Tunas Varietas Keprok Soe Hasil Mutasi Pada 6 Varietas Batang Bawah*
- 11 **Samanhudi**, Ahmad Yunus, Amalia Tetrani Sakya, Muji Rahayu : *Pengembangan Jeruk Keprok Tawangmangu Melalui Perbanyakan Cepat Secara In Vitro*
- 12 **Agus Sutanto**, Sudarsono, Dewi Sukma, Catur Hermanto : *Isolasi Resistance Gene Analogue (RGA) Pada Tiga Aksesori Pisang Tahan Terhadap Layu Fusarium*

- 13 **Anis Shofiyani**, Gayuh Prasetyobudi, Aman Suyadi : *Efektifitas Penggunaan NAA Dan BAP Terhadap Kemampuan Induksi Tunas Dan Multiplikasi Tunas Pada Kultur Meristem Tanaman Pisang Mas (Musa Paradisiaca L)*
- 14 **Reni Indrayanti**, Nurhajati A. Mattjik, Sudarsono : *Fenotipe Buah Pisang Ampyang (Musa Acuminata, AAA) Hasil Mutasi Induksi Secara In Vitro*
- 15 **Panca Jarot Santoso**, Adi Pancoro, I Nyoman P. Aryantha : *Isolasi Motif Mikrosatelit Dari Pustaka Genom Durian (Durio Zibethinus Murr. Var Matahari): Hasil Penelitian Awal*
- 16 **Endang Pudjihartati**, Maria Marina Herawati : *Induksi Variasi Somaklonal Toleran Salinitas Menggunakan Embrio Somatik Dari Embrio Dewasa Gandum (Triticum Aestivum L.)*
- 17 **Agus Rachmat**, Satya Nugroho, Dewi Sukma, Sudarsono, H. Aswidinnoor : *Transformasi Padi Indica Dengan Gen Regulator Osnac6 Untuk Perakitan Padi Toleran Kekeringan*
- 18 **Kristamtini**, Taryono, Panjisakti Basunanda, Rudi Hari Murti , Supriyanta, Setyorini Widyayanti, Sutarno : *Keterpautan Marka Mikrosatelit Untuk Sifat Warna Beras Dengan Kandungan Antosianin Pada Padi Beras Hitam*
- 19 **Supriyanta**, Taryono, Panjisakti Basunanda, Kristamtini, Rudi Hari Murti, Bambang Sutaryo, Setyorini Widyayanti, Sutarno : *Keterpautan Sifat Warna Beras Dengan Kandungan Antosianin Pada Padi Beras Hitam*
- 20 **Adisyahputra**, Nurwita Dewi : *Penapisan Sifat Toleran Terhadap Cekaman Kekeringan Dan Ph Rendah Untuk Meningkatkan Produktivitas Kacang Hijau (Vigna Radiata)*
- 21 **Fetrina Oktavia**, Kuswanhadi : *Perkembangan Rekayasa Genetika Dalam Mendukung Program Pemuliaan Tanaman Karet*
- 22 **Ismail Maskromo**, Sudarsono, Hengky Novarianto, Sukendah, Dewi Sukma : *Studi Mekanisme Kendali Genetik Sifat Kopyor pada Kelapa dan Pemetaan Genetik Awal Genom Kelapa Kopyor*
- 23 **Siti Halimah Larekeng**, Nurhayati AA. Mattjik, Agus Purwito, Sudarsono : *Penggunaan 2,4 D Dan Picloram Untuk Induksi Kalus Embriogenik Tanaman Kelapa Kopyor Secara In Vitro*
- 24 **Helen Hetharie**, Gustav A. Wattimena, Maggy T. Suhartono, Hajrial Aswidinnoor, Nurita Toruan-Mathius : *Suatu Tinjauan Abnormalitas Bunga Pada Kelapa Sawit Berdasarkan Morfologi Bunga Dan Karakterisasi RAPD*
- 25 **Ajambang W**, Sudarsono, Ngando E, Koona P : *Contribution Of Cameroon's Wild Oil Palm Population To The Development Of The World Palm Oil Industry And A Molecular Genetic Evidence For This Widespread Use.*

- 26 **Juwartina Ida Royani, Dudi Hardianto, Sri Wahyuni, Ma'mun** : *Profil Fitokimia Kadar Andrographolide Pada 25 Aksesori Sambiloto (Andrographis Paniculata (Burm.F.) Wallich Ex Ness) Di Sumatera Utara, Jambi Dan Nusa Tenggara Barat*
- 27 **Dudi Hardianto dan Juwartina Ida Royani**: *Produksi Dan Uji Aktivitas Carboxymethyl Cellulase Dari Galur Lokal Aspergillus Niger.*
- 28 **Nur Ajjah, Sudarsono, Dewi Sukma dan Rubiyo** : *Pemanfaatan Keragaman Somaklonal Untuk Perbaikan Sifat Ketahanan Kakao (Theobroma Cacao L.) Terhadap Busuk Buah Akibat Infeksi Phytophthora Palmivora Butl.*

KAJIAN PENINGKATAN SKALA PRODUKSI BIOINSEKTISIDA *Bacillus thuringiensis aizawai* UNTUK ULAT TANAMAN KUBIS MENGGUNAKAN SUBSTRAT LIMBAH CAIR TAHU DAN AIR KELAPA
(Scale Up Study on *Bacillus thuringiensis aizawai* Bioinsecticides Production for Cabbage Crop Using Waste of Tofu Industry and Coconut Water)

Mulyorini Rahayuningsih^{1,*} dan Devi Aryati²

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

² Alumni Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor

*Corresponding author: mulyorinir@yahoo.com

Abstrak

Bacillus thuringiensis aizawai merupakan salah satu jenis bakteri yang sering digunakan dalam produksi bioinsektisida mikrobial karena patotipe ini sangat efektif mengendalikan larva ordo *Lepidoptera* dan *Diptera*. Penggunaan biopestisida di Indonesia masih jarang karena sebagian besar produk bioinsektisida yang beredar di pasar Indonesia merupakan produk impor sehingga harganya relatif mahal. Permasalahan ini dapat diatasi dengan memproduksi bioinsektisida dengan bahan aktif *Bacillus thuringiensis aizawai* menggunakan bahan baku lokal seperti limbah cair industri tahu dan air kelapa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari peningkatan skala produksi bioinsektisida dari *Bacillus thuringiensis aizawai* menggunakan limbah cair tahu dan air kelapa untuk membasmi ulat kubis (*Crociodolomia pavonana*). Peningkatan skala produksi laboratorium ke skala pilot dilakukan berdasarkan pendekatan kebutuhan daya per volume (Pg/V) tetap menggunakan fermentor 3 dan 40 liter dengan kondisi pertumbuhan optimum seperti C/N rasio 7:1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai toksisitas tertinggi dihasilkan pada waktu fermentasi 48 jam dengan nilai LC₅₀ yaitu 0.01 mg /L. Hasil perhitungan peningkatan skala berdasarkan kebutuhan daya per volume pada fermentor skala industri 10 000 liter menunjukkan bahwa kebutuhan dari Pg/V adalah 0.0256 HP/m³ per detik, laju aerasi: 0.27 vvm dan kecepatan agitasi: 0.47 rps. Berdasarkan persamaan geometri, fermentor 10 000 liter memiliki diameter tangki: 2.09 m dan diameter impeller: 0.85 m dengan volume kerja 7 000 liter.

Kata kunci: *Bacillusthuringiensisaizawai*, bioinsektisida, Peningkatan skala, Pg/v

Abstract

Bacillus thuringiensis aizawai is one type of bacteria which often used in the production of microbial bioinsecticide due to its effectiveness to control larvae of *Lepidoptera* and *Diptera*. The use of bioinsecticides in Indonesia is still rarely because bio insecticide marketed in Indonesia is an import product so that the price is relatively expensive. This problem can be overcome with producing bioinsecticide contain active *Bacillus thuringiensis aizawai* using local raw materials such as liquid waste industrial tofu and coconut water. The objective of this research was to study the scaling up of bioinsecticide production from *Bacillus thuringiensis aizawai* using liquid waste industrial tofu and coconut water to eradicate cabbage crop caterpillar (*Crociodolomia*

pavonana). Scaling up from laboratory to pilot plant was performed by using Pg/V (constant agitation power per unit volume) method 3 l fermenter to 40 l. The bioinsecticides produced was bioassayed using *Crocidolomia pavonana* (cabbage worm). The result showed that the highest toxicity level was at 48 hours fermentation with LC₅₀ value of 0.01 mg/L. The calculation of the scale up on industrial scale fermentor 10 000 L based on the similarity of Pg/V showed that Pg/V needed was 0, .0256 HP/m³ per second, aeration rate was 0.27 vvm and agitation speed was 0.47 rps. Based on the similarity of fermentor geometry, for scaling upon 10 000 litres, fermentor, the dimension of fermenter was: diameter of tank was 2.09 m and impeller diameter: was 0.85 m with a working volume of 7 000 litres.

Keyword : Bacillusthuringiensissubsp aizawai, bioinsecticide, Pg/V, scale up

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bioinsektisida merupakan bahan yang mengandung senyawa toksik yang berfungsi untuk membunuh atau menghambat perkembangan spesies insekta. Senyawa ini dapat dihasilkan oleh tumbuhan maupun yang menggunakan organisme hidup seperti virus, bakteri, dan jamur. Sifat insektisida ini aman terhadap organisme non-target, manusia dan lingkungan. Penggunaan bioinsektisida ini diharapkan dapat menggantikan penggunaan insektisida kimia yang telah banyak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan penggunanya. Sampai saat ini telah banyak penelitian untuk memperoleh bioinsektisida yang ampuh dan ramah lingkungan, salah satunya bioinsektisida mikrobial yang diperoleh dari *Bacillus thuringiensis* (Bt) yang bersifat aman karena memiliki derajat spesifisitas yang tinggi dan relatif kecil terjadinya resistensi (kekebalan) pada serangga hama.

Bacillus thuringiensis aizawai merupakan salah satu jenis bakteri yang banyak dimanfaatkan dalam produksi bioinsektisida mikrobial. *Bacillus thuringiensis aizawai* sangat efektif mengendalikan larva *Lepidoptera* dan *Diptera*. Menurut Uhan (1993) serangan larva *Lepidoptera* seperti *C. pavonana* dapat menyebabkan kehilangan hasil kubis sebesar 65%. *Bacillus thuringiensis aizawai* inimehasilkan protein yang bersifat insektisida yaitu δ -endotoksin atau kristal protein yang akan berikatan dengan reseptor spesifik dalam sel larva *Crocidolomia pavonana* Zell, sehingga terjadi lisis sel yang dapat menyebabkan kematian pada serangga target.

Beberapa produk berbahan aktif *Bacillus thuringiensisaizawai* telah beredar di Indonesia dengan merek dagang xentari, certain, clobac, design WSP, florbac, quark, selectzin, turex (Glare *et al.*, 2000). Namun demikian, penggunaan biopestisida tersebut masih jarang karena bioinsektisida yang ada di Indonesia masih merupakan produk impor sehingga harganya relatif mahal. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memproduksi bioinsektisida berbahan aktif *Bacillus thuringiensis* dengan menggunakan bahan baku lokal seperti air kelapa serta limbah cair tahu yang selama ini belum banyak dimanfaatkan dan hanya mencemari lingkungan.

Saat ini, telah banyak penelitian yang mengembangkan bioinsektisida mikrobial menggunakan *Bacillus thuringiensisaizawai* yang efektif untuk mengendalikan hama

pertanian, diantaranya adalah hasil penelitian Syarfah (2010) bahwa komposisi formulasi media dari ampas tahu dan limbah cair tahu yang menghasilkan tingkat toksisitas tertinggi adalah 20:80 dengan waktu kultivasi 30 jam. Sedangkan Rachmawati (2011) menyatakan bahwa komposisi formulasi media dari limbah cair tahu dan air kelapa yang menghasilkan tingkat toksisitas tertinggi adalah 80:20 dengan waktu kultivasi 48 jam dengan rasio C/N adalah 7:1 yaitu dengan nilai $LC_{50}=0.01$ mg/L.

Tujuan akhir produksi skala laboratorium ini adalah teknik produksi skala komersial yang mampu menghasilkan produk yang secara ekonomis, layak dan efektif. Pada penelitian penggandaan skala ini, kondisi-kondisi optimal mulai diterapkan bagi optimasi pertumbuhan mikroba dalam fermentor dengan memasok sumber energi dan nutrisi penting untuk memenuhi semua kebutuhan biosintesa, inokulum yang baik, serta kondisi fisika-kimiawi yang optimal dalam produksi bioinsektisida mikrobial sehingga dapat diaplikasikan dalam skala industri. Peningkatan skala adalah suatu studi yang mengolah dan mentransfer data penelitian skala laboratorium ke skala yang lebih besar menyangkut desain proses operasi atau dan perancangan bangunan peralatan.

Teknik fermentasi produksi bioinsektisida dapat dilakukan dengan fermentasi terendam dengan sistem tertutup pada fermentor. Pada umumnya, jenis fermentor yang digunakan adalah fermentor tangki berpengaduk karena merupakan jenis fermentor yang paling sederhana. Bernhard dan Utz (1993) menyatakan bahwa produksi bioinsektisida *Bacillus thuringiensis* pada umumnya dilakukan dengan fermentasi sistem tertutup karena hasil akhir yang diharapkan adalah spora dan kristal protein yang dibentuk selama proses sporulasi. Afrianto (2006) menyatakan bahwa pemberian agitasi dan aerasi dapat mengoptimalkan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis* dalam fermentor, dimana kecepatan agitasi 200 rpm dengan laju aerasi 1 vvm pada fermentor tangki berpengaduk menghasilkan tingkat toksisitas tertinggi.

Pengembangan industri umumnya dilakukan dengan menggunakan tahapan skala laboratorium, skala *pilot plant*, dan skala industri. Skala laboratorium merupakan tahap penyeleksian mikroba yang digunakan, skala *pilot plant* merupakan tahap penerapan kondisi operasi yang optimum dan skala industri merupakan tahap yang prosesnya akan dilaksanakan dengan mempertimbangan perhitungan ekonomi. Translasi skala laboratorium ke skala pilot atau industri memerlukan patokan perhitungan peningkatan skala yang tepat.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam penggandaan skala. Mengingat fermentasi bioinsektisida *B.thuringiensis* bersifat aerobik, maka digunakan patokan penggandaan skala yang berhubungan dan mengacu pada perpindahan oksigen. Hasil penelitian Purnawati (2006), menyatakan bahwa efisiensi penggunaan substrat berdasarkan hasil *scale up* skala laboratorium ke skala *pilot plant* berbasis Pg/V memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan peningkatan skala berbasis K_La yang menunjukkan bahwa metabolisme *Bacillus thuringiensis* berlangsung baik. Sehingga metode yang digunakan pada penelitian ini adalah berdasarkan Pg/V (tenaga pengadukan per volume fermentor) tetap.

Tujuan Penelitian

1. Pemanfaatan limbah cair tahu dan air kelapa untuk media pertumbuhan *Bacillus thuringiensis* dalam produksi bioinsektisida yang digunakan untuk membasmi hama ulat kubis.

2. Mengetahui pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* dengan menggunakan substrat limbah cair tahu dan air kelapa pada skala fermentor 3 dan 40 liter.
3. Mengkaji peningkatan skala fermentor berdasarkan kondisi optimum pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* pada skala *pilot* 40 liter dan skala industri 10 000 liter dalam produksi bioinsektisida menggunakan limbah cair tahu dan air kelapa.

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Menerapkan parameter-parameter yang berpengaruh bagi optimalisasi produksi bioinsektisida mikrobial dari *Bacillus thuringiensis aizawai* meliputi konsentrasi media, rasio C/N, agitasi, dan aerasi.
2. Menentukan pertumbuhan dan daya toksisitas bioinsektisida yang dihasilkan dari *Bacillus thuringiensis aizawai* pada skala fermentor 3 dan 40 liter.
3. Perhitungan peningkatan skala fermentor produksi bioinsektisida mikrobial pada fermentor 10,000 liter berdasarkan kebutuhan Pg/V.

METODE PENELITIAN

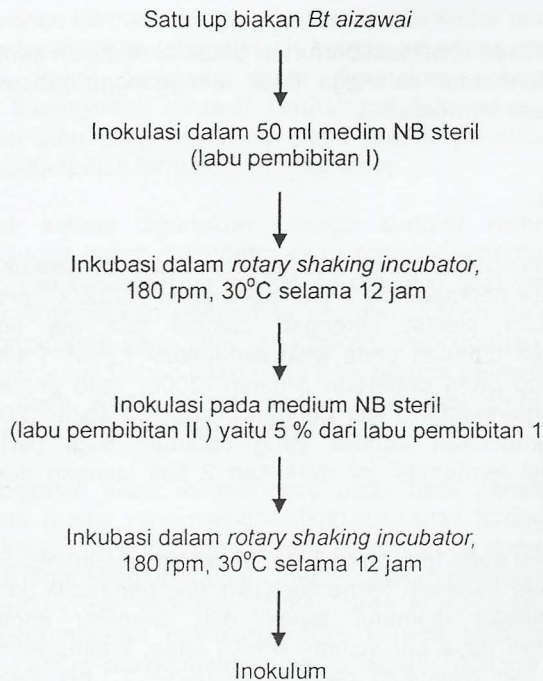
Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah fermentor tangki berpengaduk volume 3 dan 40 liter, *rotary shaking incubator*, autoklaf, pH-meter, spektrofotometer, inkubator, neraca analitik, penangas, oven, desikator, *sentrifuse*, lemari es, *freezer*, loop inokulasi, tabung reaksi, pipet, cawan petri, gelas piala, labu Erlenmeyer, tabung *eppendorf*, kertas saring dan bunsen.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kultur *Bacillus thuringiensis aizawai* pada agar miring, limbah cair tahu Yun-Yi, air kelapa, larva ulat *Crocidolomia pavonana*, *nutrient agar* (NA), *nutrient broth* (NB), NaOH, CaCO₃, urea, H₂SO₄ pekat, fenol, garam fisiologis, etanol 95%, aquades, spirtus, MgSO₄.7 H₂O, MnSO₄.7 H₂O, ZnSO₄.7 H₂O, FeSO₄.7 H₂O.

Persiapan Inokulum

Inokulum atau kultur bibit untuk menginokulasi medium fermentasi disiapkan secara bertahap mengikuti metode Vandekar dan Dulmage (1982) (Gambar 1). Penelitian utama dilakukan dengan mentranslasikan kondisi fermentasi yang optimal bagi pertumbuhan *Bacillus thuringiensis* dari skala laboratorium hasil penelitian sebelumnya yaitu rasio C/N= 7:1 pada fermentor 3 liter yang kemudian ditingkatkan menjadi skala *pilot* 40 liter melalui kesamaan geometri fermentor. Penelitian penggandaan skala ini dilakukan dengan memperhitungkan kebutuhan tenaga per unit volume (Pg/V) tetap sebagai dasar penggandaan skala pada skala industri menggunakan fermentor berkapasitas 10 000 liter.



Gambar 1. Diagram alir persiapan inokulum (Vandekar dan Dulmage 1982)

Tabel 1. Komposisi medium fermentasi

Komponen Medium	Konsentrasi
Campuran limbah cair tahu, air kelapa, dan urea	C:N = 7:1
CaCO ₃	1.0 g/l ^a
MgSO ₄ .7 H ₂ O	0.3 g/l ^a
MnSO ₄ .7 H ₂ O	0.02 g/l ^a
ZnSO ₄ .7 H ₂ O	0.02 g/l ^a
FeSO ₄ .7 H ₂ O	0.02 g/l ^a

Sumber: ^a Dulmage dan Rhodes (1971)

Persiapan Medium Fermentasi

Medium fermentasi yang digunakan adalah limbah cair serta air kelapa yang telah dianalisa kadar air, kadar abu, kadar nitrogen serta kadar karbonnya dengan komposisi medium fermentasi yang terdapat pada Tabel 1. Perbandingan C/N rasio juga mengacu pada pernyataan Dulmage *et al.* (1990) yaitu konsentrasi C/N adalah 7:1 dengan penambahan mineral untuk membantu pertumbuhan dan sporulasi *Bacillus thuringiensis* berdasarkan Dulmage dan Rhodes (1971).

Medium fermentasi berupa air kelapa dan limbah cair tahu dicampur dengan CaCO₃, urea dan *trace element* dan disterilisasi pada suhu 121 °C pada tekanan 1 atm selama 15 menit, kemudian dimasukkan dalam fermentor kapasitas 3 dan 40 liter yang

telah disterilisasi. Proses sterilisasi berfungsi untuk mematikan semua mikroorganisme pada media dan fermentor sehingga tidak mengganggu proses pertumbuhan *Bt. aizawai* selama proses fermentasi.

Proses Fermentasi

Proses fermentasi *Bacillus thuringiensis aizawai* dilakukan dengan sistem curah pada fermentor berkapasitas 3 liter pada suhu 28-32 °C, pH awal medium 6.8-7.2, volume medium sekitar setengah sampai dua per tiga dari kapasitas volume fermentor, dan dipanen pada waktu fermentasi 72 jam. Pemberian agitasi dan aerasi yang mengacu pada penelitian Afrianto (2006) yaitu proses fermentasi pada fermentor tangki berpengaduk 3 liter dengan kecepatan agitasi 200 rpm dengan laju aerasi 1 vvm memberikan kondisi yang optimum bagi pertumbuhan *Bacillus thuringiensis*. Kondisi fermentasi ini dilakukan 2 kali ulangan dengan penambahan starter 10% (v/v).

Hasil fermentasi pada fermentor 3 liter ini ditingkatkan menjadi skala *pilot plant* 40 liter melalui kesamaan geometri fermentor yakni tipe pengaduk dan jumlah pengaduk (N) serta perbandingan diameter tangki dan diameter impeller. Berdasarkan perhitungan kebutuhan daya per volume (Pg/V) tetap, proses fermentasi *Bt. aizawai* pada fermentor 40 liter dilakukan pada suhu 28-32 °C, pH awal medium 6.8-7.2, volume medium sekitar setengah sampai dua per tiga dari kapasitas volume fermentor, dan dipanen pada waktu fermentasi 72 jam dengan kecepatan agitasi 104 rpm dengan laju aerasi 0.9 vvm. Kesamaan geometri fermentor skala *pilot* 40 liter dijadikan dasar penggandaan skala yang meliputi bangun reaktor skala industri dengan fermentasi skala 10 000 liter dengan perhitungan secara teoritis berdasarkan perhitungan kebutuhan tenaga per unit volume (Pg/V) tetap.

Analisis Parameter

Parameter yang dianalisa pada penelitian ini meliputi analisa kandungan kimia yang terdapat pada air kelapa dan limbah cair tahu serta analisa selama fermentasi meliputi: densitas media, viskositas media, pengukuran pH cairan fermentasi, *optical density* (OD), pengukuran bobot kering biomassa, analisis kadar gula total sisa dengan metode fenol, pengukuran pertumbuhan sel menggunakan metode TPC (*Total Plate Count*), dan pengukuran pembentukan spora dengan menentukan jumlah spora hidup dengan metode VSC (*viable spore count*). Analisa toksisitas produk bioinsektisida dilakukan melalui metode *bioassay* dengan pengujian terhadap larva ulat *Crocidolomia pavonana* yang dinyatakan dalam LC₅₀. Nilai LC₅₀ ini ditentukan dengan menggunakan analisis program *Probit Quant*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Bahan Baku

Media merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada proses fermentasi *Bacillus thuringiensis* diantaranya limbah cair tahu dan air kelapa karena mengandung sumber karbon dan nitrogen. Limbah cair tahu dan air kelapa terlebih

dahulu dianalisa komponen karbon, nitrogen, kadar air dan kadar abunya. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa limbah cair tahu dan air kelapa mengandung air, karbon dan nitrogen yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai media untuk pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai*. Limbah cair tahu merupakan merupakan hasil samping produksi tahu yang dihasilkan pada proses pencucian, perendaman, serta pada proses penggumpalan tahu atau disebut *whey*.

Penambahan air kelapa digunakan sebagai sumber karbon yang bersifat *fermentable sugar* sehingga dapat mengoptimalkan proses fermentasi. Namun dalam penerapannya, limbah cair tahu dan air kelapa ini memiliki sifat yang mudah rusak. Kerusakan ini dapat menyebabkan penurunan pH dan nutrien yang terkandungnya akibat aktivitas mikroorganisme yang tidak diharapkan. Pencegahan kerusakan dapat dilakukan dengan penanganan bahan baku yang baik berupa pengemasan limbah cair tahu dan air kelapa pada wadah-wadah yang bersih dan steril sehingga dapat mencegah kerusakan sebelum proses fermentasi.

Penelitian peningkatan skala ini mengacu pada hasil penelitian Rachmawati (2011)^c, bahwa formulasi media yang menghasilkan toksisitas tertinggi adalah limbah cair tahu 80% dan air kelapa 20% dengan perbandingan karbon dan nitrogen yaitu 7:1. Pada penelitian ini juga digunakan urea untuk menyesuaikan perbandingan karbon dan nitrogen. Menurut Stanbury dan Whitaker (1984), urea merupakan sumber nitrogen yang sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme karena kemampuannya untuk mempertahankan pH, namun penggunaannya harus dibatasi karena cenderung tidak stabil.

Peningkatan Skala Fermentor

Kajian peningkatan skala ini dimulai dari percobaan skala laboratorium untuk mengetahui faktor-faktor fisik, kimia dan biologis yang mempengaruhi proses dan hasil fermentasi *Bacillus thuringiensis aizawai* pada substrat limbah cair tahu dan air kelapa. Berdasarkan data penelitian sebelumnya yaitu menurut Rachmawati (2011), bahwa kondisi optimal untuk pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* adalah perbandingan konsentrasi C dan N adalah 7:1 dengan formulasi media limbah cair tahu 80% dan air kelapa 20%. Mengacu pada penelitian Afrianto (2006) dan Purnawati (2006), kecepatan agitasi 200 rpm dan kecepatan aerasi 1 vvm selama proses fermentasi pada fermentor 2 liter menghasilkan tingkat toksisitas yang tinggi pada produksi bioinsektisida dari *Bacillus thuringiensis*. Berdasarkan data-data kondisi optimum pada proses fermentasi *Bacillus thuringiensis aizawai* ini, lalu dirancang suatu rancangan dan prosedur untuk skala *pilot*. Rancangan ini bertujuan untuk memberikan kondisi fermentasi yang optimum sehingga dapat dipergunakan untuk rancang bangun alat dan proses produksi pada skala yang lebih besar atau skala industri.

Tabel 2. Hasil analisis kimia limbah cair tahu dan air kelapa

Komponen	Limbah Cair Tahu (%)	Air Kelapa (%)
Kadar Air	99.44	95.24
Kadar Abu	0.26	0.51
Kadar Nitrogen	0.09	0.01
Kadar Karbon	0.497	1.018

Peningkatan skala fermentor produksi bioinsektisida berbahan aktif *Bacillus thuringiensis aizawai* ini didasarkan kesamaan geometri fermentor, jenis bahan dan proporsi bahan yang digunakan sama yaitu 80% limbah cair tahu dan 20% air kelapa. Parameter kesamaan geometri fermentor meliputi jenis impeller, jumlah impeller (N_i), serta perbandingan diameter tangki (D_t) dan diameter impeller (D_i). Geometri fermentor skala laboratorium 3 liter dan skala pilot 40 liter dapat tercantum pada Tabel 3.

Metode peningkatan skala yang digunakan adalah metode kaidah ibu jari (*rule of thumb*) karena telah banyak diterapkan dalam industri fermentasi dengan patokan penggandaan skala yang berhubungan dan mengacu pada perpindahan oksigen berdasarkan kebutuhan daya per volume (Pg/V) tetap.

Jenis fermentor yang digunakan pada penelitian ini adalah fermentor tangki berpengaduk yang terdapat sistem agitasi dan aerasi yang digunakan untuk mentransfer kebutuhan oksigen. Peningkatan skala produksi bioinsektisida dari skala fermentor 3 liter menjadi 40 liter menggunakan basis kebutuhan tenaga per volume (Pg/V) tetap membutuhkan kebutuhan agitasi sebesar 104 rpm dengan laju aerasi 0.90 vvm.

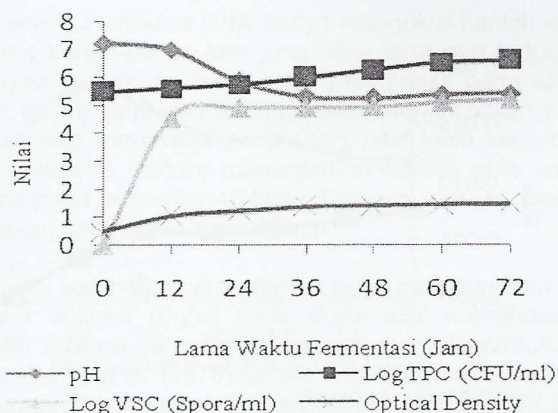
Pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai*

Pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* selama proses fermentasi pada fermentor 3 liter dan 40 liter dapat diamati melalui perubahan pH cairan fermentasi, pengukuran *optical density* (OD), pengukuran jumlah sel melalui metode cawan sebar atau *total plate count* (TPC), dan pembentukan spora melalui metode *viable spore count* (VSC) seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan 3. Sedangkan pada Gambar 4 dan 5 terlihat hubungan antara jumlah biomassa melalui pengukuran bobot kering biomassa dan gula sisa selama proses fermentasi.

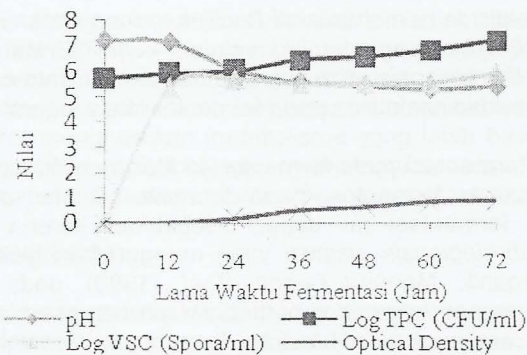
Pada Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa pertumbuhan *Bt. aizawai* dan lama waktu fermentasi menunjukkan korelasi yang positif dimana semakin lama waktu fermentasi sampai 72 jam, pertumbuhan *Bt. aizawai* melalui pengukuran nilai *optical density*, log TPC dan log VSC yang semakin meningkat. Namun, nilai pH mengalami penurunan dan mulai meningkat kembali pada waktu fermentasi 48 jam.

Tabel 3. Geometri fermentor 3 dan 40 liter

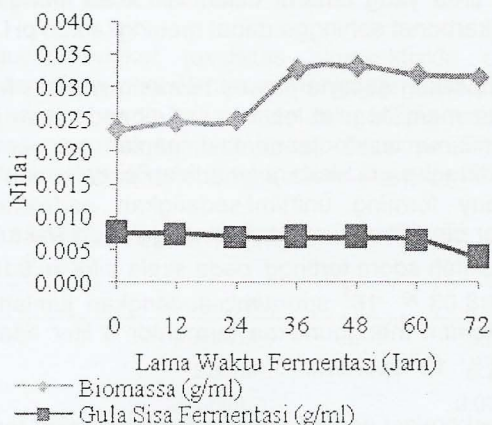
Parameter	Satuan	Ukuran Fermentor	
		3 L	40 L
Tipe impeller		Turbin pipih	Turbin pipih
Jumlah impeller (N_i)		2	2
Jumlah baffle (N_b)		3	4
Tinggi fermentor	m	0.27	0.60
Diameter impeller (D_i)	m	0.045	0.12
Diameter tangki (D_t)	m	0.13	0.297
Volume kerja	L	2	22



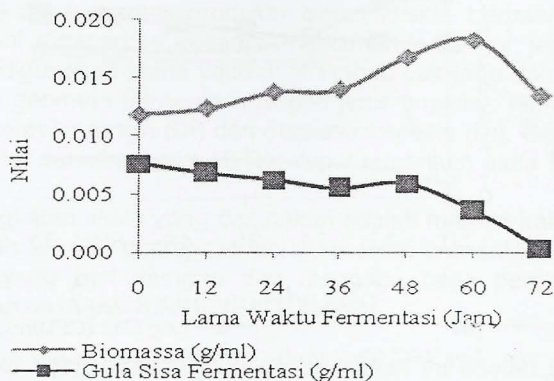
Gambar 2. Pertumbuhan *Bt. aizawai* selama fermentasi pada fermentor 3 liter



Gambar 3. Pertumbuhan *Bt. aizawai* selama fermentasi pada fermentor 40 liter



Gambar 4. Produksi biomassa dan gula sisa selama fermentasi pada fermentor 3 liter



Gambar 5. Produksi biomassa dan gula sisa selama fermentasi pada fermentor 40 liter

Produksi bioinsektisida berbahan aktif *Bacillus thuringiensis aizawai* pada skala *pilot* yaitu fermentor 40 liter yang memiliki volume kerja 22 liter memperlihatkan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* selama proses fermentasi yang tidak berbeda jauh dari produksi bioinsektisida pada fermentor skala laboratorium 3 liter.

Nilai pH cairan fermentasi pada fermentor 40 liter memiliki kisaran antara 5.25-7.23, sedangkan pH cairan fermentasi pada fermentor 3 liter adalah 5.28-7.00. Penurunan pH cairan fermentasi ini dapat disebabkan karena adanya proses enzimatik oleh *Bacillus thuringiensis aizawai* yang menguraikan glukosa dari karbon menjadi asam-asam organik. Menurut Benoit *et al.* (1990), pada perombakan ini dihasilkan ATP dan asam-asam organik seperti asam piruvat, asam asetat, dan asam laktat sehingga dapat menurunkan pH cairan fermentasi. Peningkatan pH cairan fermentasi mulai terjadi pada jam ke 48, hal ini disebabkan oleh penggunaan urea sebagai media sumber nitrogen dan asam yang terakumulasi pada medium dimanfaatkan kembali oleh sel untuk memproduksi poli- β -hidroksibutirat (PHB) yang selanjutnya dapat digunakan sebagai sumber energi selama proses sporulasi. James (1993) menyatakan bahwa urea yang terlarut dalam air akan mengalami perubahan kimia menjadi ammonium bikarbonat sehingga dapat meningkatkan pH larutan.

Jumlah sel yang dihasilkan selama proses fermentasi pada fermentor 40 liter dengan volume kerja 22 liter memiliki nilai lebih besar dibandingkan jumlah sel pada fermentasi 3 liter. Semakin lama waktu fermentasi, jumlah sel semakin meningkat dengan jumlah sel hidup tertinggi pada skala *pilot* adalah pada waktu kultivasi 72 jam yaitu 1.44×10^7 CFU (colony forming unit)/ml, sedangkan pada skala laboratorium menggunakan fermentor 3 liter dihasilkan jumlah sel tertinggi pada waktu kultivasi 72 jam yaitu 3.99×10^6 CFU/ml. Jumlah spora tertinggi pada skala *pilot* ini adalah pada waktu fermentasi 72 jam sebesar 8.03×10^5 spora/ml, sedangkan jumlah spora tertinggi pada skala produksi laboratorium menggunakan fermentor 3 liter adalah pada waktu fermentasi jam 72 yaitu 1.58×10^5 spora/ml.

Jumlah biomassa berkorelasi negatif dengan total gula sisa terhadap lamanya waktu fermentasi (Gambar 4 dan 5). Nilai biomassa tertinggi yang dihasilkan pada fermentasi skala *pilot* 40 liter ini adalah pada fermentasi selama 60 jam yaitu 0.018 g/ml, sedangkan pada fermentor skala laboratorium bobot biomassa tertinggi adalah pada waktu fermentasi 48 jam yaitu 0.033 g/ml. Perbedaan ini terjadi karena

pengukuran bobot kering biomassa tidak hanya mengukur jumlah sel sel hidup, tetapi sel mati, spora, serta bahan-bahan lain yang tidak larut pun terkadang ikut terhitung sehingga dapat terjadi perbedaan bobot kering biomassa pada skala produksi yang berbeda dan bobot kering biomassa tertinggi tidak menghasilkan jumlah sel tertinggi. Selain itu, total gula sisa fermentasi pada skala *pilot* lebih kecil dibandingkan pada skala produksi laboratorium, hal ini menunjukkan bahwa gula yang terdapat pada media yang terdapat pada fermentor 40 liter dikonversi menjadi produk dan biomassa lebih baik dibandingkan pada skala laboratorium.

Secara umum, perubahan yang terjadi pada penggandaan skala berdasarkan kebutuhan daya per volume (Pg/V) pada skala *pilot* menghasilkan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* yang lebih baik dari skala laboratorium. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wang *et al.* (1978) bahwa sifat-sifat biologis yang tercakup dalam pertumbuhan mikroorganisme selama fermentasi tergantung pada peningkatan skala. Selain itu, beberapa parameter kinetika akan berubah walaupun pola metabolisme tidak berubah, parameter kinetika fermentasi pada produksi bioinsektisida pada fermentor 3 dan 40 liter dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil pengamatan peningkatan skala dari skala laboratorium menjadi skala *pilot* menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan substrat dan laju pertumbuhan sel (μ_{N-max}) menjadi lebih baik. Efisiensi penggunaan substrat pada skala fermentor 40 liter sebesar 95.78%, sedangkan pada skala fermentor 3 liter sebesar 49.76%. Peningkatan skala pada skala *pilot* menghasilkan metabolisme yang lebih baik. Selain itu, proses pengadukan menggunakan agitator juga mempengaruhi transfer substrat secara merata sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan substrat.

Uji Toksisitas Bioinsektisida

Pengujian toksisitas bioinsektisida bertujuan untuk menentukan nilai LC_{50} dan potensi produk bioinsektisida yang dihasilkan. LC_{50} merupakan konsentrasi bioinsektisida yang menyebabkan 50% serangga uji mati, sehingga semakin kecil nilai LC_{50} maka semakin besar tingkat toksisitasnya. Pengujian toksisitas ini dilakukan dengan metode *bioassay* yaitu dengan cara menentukan mortalitas larva ulat kubis *C. pavonana* atas perlakuan bioinsektisida yang diberikan. Potensi toksisitas bioinsektisida dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil pengujian tingkat toksisitas bioinsektisida pada fermentor skala laboratorium 3 liter dan skala *pilot* 40 liter menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh. Nilai LC_{50} memiliki korelasi yang berlawanan dengan potensi produk. Semakin kecil nilai LC_{50} yang dihasilkan maka semakin besar potensinya. Tingkat toksisitas tertinggi terjadi pada waktu fermentasi 48 jam dengan nilai LC_{50} yaitu 0.01 mg/L dan potensi

Tabel 4. Parameter kinetika fermentasi *Bacillus thuringiensis aizawai* pada fermentor skala 3 dan 40 liter

Parameter	Satuan	3 liter	40 liter
Log N-max	CFU/L	9.60	10.16
Log VSC-max	Spora/L	8.20	8.91
μ_{N-max}	(Jam ⁻¹)	0.0025	0.0035
$Y_{N/S}$	Log TPC/g substrat	0.26	0.196
$Y_{P/S}$	Log Spora/g substrat	0.91	0.65
$(S_0 - S_t)/S_0$	%	49.76	95.78

Tabel 5. Potensi toksisitas bioinsektisida

Waktu Fermentasi (Jam)	LC ₅₀		Rata-Rata
	Fermentor 3 liter	Fermentor 40 liter	
48	0.01	0.01	0.01
60	0.09	0.01	0.05
72	0.02	0.04	0.03
Bactospeine ^a		0.05	

^aSyarfat (2010)

produk 80 000 IU/mg. Nilai LC₅₀ ini menunjukkan dengan penggunaan konsentrasi bioinsektisida 0.01 mg/L dapat mematikan 50% serangga target. Nilai LC₅₀ penelitian ini sama dengan hasil penelitian skala laboratorium Rachmawati (2011) dengan media yang sama dan lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Syarfah (2010) dengan media 20% ampas tahu dan 80% limbah cair tahu dengan waktu fermentasi selama 30 jam yang menghasilkan nilai LC₅₀ sebesar 1.34 mg/L dengan potensi produk 597.01 IU/mg.

Nilai LC₅₀ dan potensi produk tidak selalu berkorelasi positif dengan nilai TPC dan VSC produk. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat toksisitas produk bioinsektisida tidak selamanya dipengaruhi oleh jumlah sel dan jumlah spora yang terkandung dari produk bioinsektisida tersebut, namun lebih dipengaruhi oleh kualitas strain *Bacillus thuringiensis* dan kemudahan dicerna dalam usus serangga target karena produk bioinsektisida ini bersifat racun perut. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Rahayuningsih (2000) pada *Bt. israelensis*, dan Moris *et al.* (1996) pada *Bt. aizawai*.

Produk bioinsektisida yang dihasilkan bersifat racun perut, sehingga untuk mengoptimalkan penggunaan produk ini dibuat dalam bentuk *flowable suspension* yang mudah diserap oleh daun dan kandungan gula dalam air kelapa ini akan menarik serangga target untuk memakan daun yang telah diberikan bioinsektisida. Menurut Dulmage dan Rhodes (1971), toksisitas spora *Bacillus thuringiensis* terhadap target dipengaruhi oleh strain bakteri dan keadaan serangga target. Struktur kristal, ukuran molekul protein yang menyusun kristal yang berbeda untuk setiap strain, serta kondisi pH di dalam usus besar serangga target akan berpengaruh pada kelarutan kristal protein. Proses toksisitas kristal protein sebagai bahan aktif bioinsektisida dimulai dengan termakannya kristal protein oleh serangga. Kristal protein akan dipecah oleh enzim protease pada kondisi basa dalam usus tengah serangga sehingga melepaskan δ -endotoksin yang bersifat toksin. Toksin akan berinteraksi dengan reseptor-reseptor pada sel-sel epithelium usus tengah larva serangga yang rentan. Toksin yang bereaksi menyebabkan terbentuknya lubang-lubang pada membran sel sehingga dapat mengganggu keseimbangan osmotik sel dan mengakibatkan terjadinya pembengkakan yang menyebabkan larva berhenti makan dan mati. Selain itu, kemampuan enzim protease dalam usus serangga untuk mencerna kristal protein dan adanya reseptor khusus yang mampu mengikat toksin dapat mempercepat aktifitas kerja bioinsektisida.

Berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai*, parameter kinetika fermentasi dan tingkat toksisitas bioinsektisida yang dihasilkan pada skala laboratorium ke skala pilot, maka rancang bangun fermentor produksi bioinsektisida mikrobial menggunakan limbah cair tahu dan air kelapa pada skala

Tabel 6. Rancang bangun fermentor 10 000 liter

Parameter	Satuan	Ukuran
Tinggi Tangki	m	2.91
Diameter impeller (Di)	m	0.85
Diameter tangki (Dt)	m	2.09
Volume kerja (V)	L	7,000
Densitas media (ρ)	g/ml	1.0181
Viskositas media (μ)	CP	87.34
Kecepatan agitasi	rpm	28.29
Laju aerasi	vvm	0.27
Kebutuhan Pg/V	HP/m ³	0.0256

industri yaitu fermentor 10 000 liter dilakukan berdasarkan kesamaan geometri fermentor dengan menggunakan nilai Pg/V tetap. Hasil perhitungan rancang bangun fermentor 10 000 liter dapat dilihat pada Tabel 6.

Hasil perhitungan penggandaan skala pada skala industri yaitu fermentor 10 000 L menunjukkan bahwa kebutuhan Pg/V adalah 0.0256 HP/m³ per sekon dengan laju aerasi 0.27 vvm, dan kecepatan agitasi 0.47 rps. Berdasarkan kesamaan geometri, fermentor 10 000 liter memiliki diameter tangki 2.09 m dan diameter impeller 0.85 m dengan volume kerja 7 000 liter.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Limbah cair tahu dan air kelapa merupakan substrat yang dapat digunakan untuk memproduksi bioinsektisida dari *Bacillus thuringiensis aizawai* karena masih mengandung sumber karbon dan nitrogen yang cukup tinggi sebagai media dasar pertumbuhan *Bacillus thuringiensis*. Penerapan kondisi-kondisi optimal selama proses fermentasi pada skala *pilot* menggunakan fermentor mampu mempertahankan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* yang optimum.

Hasil pengamatan peningkatan skala dari skala laboratorium menjadi skala *pilot* menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan substrat menjadi lebih baik, dimana pada skala fermentor 40 liter efisiensi penggunaan substrat sebesar 95.78% sedangkan pada fermentor 3 liter sebesar 49.76%. Secara umum, perubahan yang terjadi pada penggandaan skala berdasarkan kebutuhan daya per volume (Pg/V) tetap pada skala *pilot* menghasilkan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis aizawai* yang lebih baik dari skala laboratorium.

Hasil perhitungan penggandaan skala pada skala industri yaitu fermentor 10,000 L menunjukkan bahwa kebutuhan Pg/V adalah 0.0256 HP/m³ per sekon dengan laju aerasi 0.27 vvm, dan kecepatan agitasi sebesar 0.47 rps. Berdasarkan kesamaan

geometri, fermentor 10,000 liter memiliki diameter tangki 2.09 m dan diameter impeller 0.85 m dengan volume kerja 7,000 liter.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pertumbuhan *Bacillus thuringiensis* dalam fermentor memerlukan kondisi lingkungan, laju aerasi dan kecepatan agitasi yang optimum, khususnya laju aerasi dan kecepatan agitasi sangat mempengaruhi pertumbuhan *Bacillus thuringiensis* dalam peningkatan skala, sehingga disarankan perlunya modifikasi dan desain fermentor yang lebih baik sehingga pengadukan dan transfer oksigen dapat lebih merata untuk mengoptimalkan pertumbuhan *Bacillus thuringiensis* dalam memproduksi bioinsektisida.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Proyek IMHERE B2C IPB yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto, G.F. 2006. Kajian Pengaruh Agitasi dan Aerasi Produksi Bioinsektisida Oleh *Bacillus thuringiensis var israelensis* Menggunakan Substrat Onggok Tapioka. [Skripsi]. Bogor: Fateta IPB.
- Benoit, L.G., G.R. Wilson dan C.L. Baugh. 1990. Fermentation during growth and sporulation of *Bacillus thuringiensis* HD-1. Letter in Applied Microbial. 10:15-16.
- Bernhard, K. dan R. Utz. 1993. Production of *Bacillus thuringiensis* insecticides for experimental and commercial uses p.255-265. In P. F. Entwilse, J. S. Cory, M. J. Bailey dan S. Higgs (Eds.). *Bacillus thuringiensis an Enviromental Biopesticide: Theory and Practice*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Dulmage, H.T., J.A. Correa and G.G. Morales. 1990. Potential of improved formulation of *Bacillus thuringiensis* through standardization and cultivation development, p.110-133. In H.D. Barjac and D.J. Sutherland (Eds.). *Bacterial Control of Mosquitoes and Blackfleis: Biochemistry, Genetics, and application of Bacillus thuringiensis and Bacillus sphaericus*. New Jersey: Rutgers University Press.
- Dulmage, H.T. and R.A. Rhodes. 1971. Production of pathogens in artificial media, p.507-540. In Burges H.D. (Ed.). *Microbial Control of Pets and Plant Diseases 1970-1980*. New York: Acad Press.
- Glare, R.Travis dan M.O. Callaghan. 2000. *Bacillus thuringiensis: Biology, Ecology and Safety*. New York: JohnWilley and Sons, Ltd.
- James, D.W. 1993. Urea: a Low Cost Nitrogen for Fertilizer with Special Management Requirements. USA: Utah State University.

- Purnawati, R. 2006. Kajian Penggandaan Skala Produksi Bioinsektisida dari *Bacillus thuringiensis israelensis*. [Thesis]. Sekolah Pascasarjana, IPB.
- Morris, O.N. and V. Converse. 1996. Suitability of 30 agricultural products and by-products as nutrient sources for laboratory production of *Bt. aizawai* (HD 133). *Journal of Invertebrate Pathology* 70: 113-120.
- Rachmawati, R. 2011. Kajian rasio C/N terhadap produksi bioinsektisida dari *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* menggunakan limbah cair tahu dan air kelapa [Skripsi]. Bogor: Fateta IPB.
- Rahayuningsih, M., B.N. Dancer, A. Darwis and K. Syamsyu. 2000. The effect of media formulation on toxicity yield and differential dipterocidal activity of bioinsecticides from wild types of *Bt. israelensis*. *Indonesian Journal of Biotechnology. Special Issue*: 352-358.
- Rahayuningsih, M.R., K. Syamsu dan R. Purnawati. 2006. Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi XII Tahun anggaran 2006: Kajian Produksi Bioinsektisida oleh *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* untuk Pencegahan Wabah Demam Berdarah. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Stanbury, P.F. and A. Whitaker. 1984. *Principles of Cultivation Technology*. London: Pergamon Press.
- Syarfat, S.M. 2010. Produksi bioinsektisida dari *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* menggunakan limbah industri tahu sebagai substrat [Skripsi]. Bogor: Fateta IPB.
- Uhan, T.S. 1993. Kehilangan hasil panen karena ulat krop kubis (*Crocidolomia pavonana* Zell) dan cara pengendaliannya. *J Hori* 3:22-26.
- Vandekar, M. and H.T. Dulmage. 1982. *Guideline of Production of Bacillus thuringiensis H-14*. Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases. Geneva, Switzerland.
- Wang, D.I.C., C.L. Cooney, A.L. Demain, P. Dunnill, A.E. Humphrey and M.D. Lilly. 1978. *Fermentation and Enzyme Technology*. New York: John Wiley and Sons.