

REKAYASA

**LAPORAN PENELITIAN
HIBAH KOMPETITIF PENELITIAN
SESUAI PRIORITAS NASIONAL**

TEMA: SENI DAN BUDAYA/INDUSTRI KREATIF

**PENGEMBANGAN PRODUKSI BIOPLASTIK UNTUK
KERAJIANAN ASESORIS DARI GLISEROL SEBAGAI
PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI BIODISEL**

**Rita Dwi Ratnani, ST., M.Eng
M. Arief Budihardjo, ST, M.EngSc
Ir. Deddy Kurniawan Wikanta, MM**



**DIBIYAI OLEH DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
SURAT PERJANJIAN NO: 513/SP2H/PP/DP2M/VII/2010 tanggal 24 Juli 2010
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS WAHID HASYIM SEMARANG
NOVEMBER 2010**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pengembangan Produksi Bioplastik Untuk Kerajinan Asesoris dari Gliserol Sebagai Pemanfaatan Limbah Industri Biodisel

2. Ketua Peneliti :

a. Nama Lengkap : Rita Dwi Ratnani, ST, M.Eng
b. Jenis Kelamin : Perempuan
c. NPP : 05.01.1.0067
d. Jabatan Struktural : Sekretaris Fakultas
e. Jabatan fungsional : Lektor
f. Fakultas/Jurusan : Teknik /Teknik Kimia
g. Pusat Penelitian : Fakultas Teknik
h. Alamat : Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/ 22 Semarang
i. Telpon/Faks : 024-8505680-8505681/024-8505680
j. Alamat Rumah : Perum Villa Tembalang Jl. Bulusan Selatan
C/9 Tembalang Semarang
k. Telpon/Faks/E-mail : 081805945690/ ratnani_unwahas@yahoo.co.id

3. Jangka Waktu Penelitian : tahun, 2010-2011

Usulan ini adalah usulan tahun ke : 1

4. Pembiayaan

a. Jumlah yang diajukan ke Dikti tahun ke-1: Rp. 77.500.000
b. Jumlah yang diajukan ke Dikti tahun ke-2: Rp. 100.000.000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Wahid Hasyim Semarang

Semarang, 31 Desember 2010
Ketua Peneliti,

Helmy Purwanto, ST., MT
NPP. 05.01.1.0060

Rita Dwi Ratnani, ST., M.Eng
NPP. 05.01.1.0067

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
Universitas Wahid Hasyim Semarang

Tolkhatul Khoir, S.Ag., M.Ag
NIP.197701202005011005

RINGKASAN DAN SUMMARY

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh sampah plastik adalah dengan membuat material plastik yang dapat didegradasi, antara lain dengan memanfaatkan limbah cair industri biodiesel yang memiliki kandungan zat-zat organik (C, H, O, N, S). Adanya zat-zat ini dapat dimanfaatkan dengan pengolahan secara fermentasi menggunakan mikroorganisme lumpur aktif menjadi plastik yang terdegradasi. Jenis plastik yang terbentuk dalam proses ini adalah Polihidroksialkanoat (PHA). PHA dapat terdegradasi sempurna dan memiliki sifat yang mirip dengan kelebihan yang dimiliki oleh plastik konvensional. Tujuan penelitian adalah mengembangkan produksi bioplastik (PHA) melalui proses fermentasi gliserol dengan menggunakan mikroba dari lumpur aktif pabrik tekstil dalam *sequencing batch bioreactor*.

Target yang ingin dicapai berupa data-data teknis laboratorium untuk perancangan, scale-up dan pengoperasian proses yang meliputi kinetika reaksi fermentasi, kondisi operasi yang optimum dan analisa tekno-ekonomi. Pada tahun pertama dilakukan perancangan dan pabrikasi *sequencing batch bioreactor* dilanjutkan studi kinetika reaksi fermentasi dan pemodelan menggunakan komputasi proses. Penyusunan model dilakukan berdasarkan teori kinetika Monod dan Michaelis–Menten. Model yang dipostulasi, kemudian diturunkan untuk memperoleh persamaan yang nantinya akan diuji dan divalidasi dengan menggunakan data yang diperoleh dari eksperimen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelarut yang baik untuk proses perlakuan ekstraksi PHA adalah metanol, yaitu sebesar 0.3g/L. Hasil yang diperoleh relatif baik pada perendaman 2 jam dengan perolehan PHA sebesar 0,44g/L. Model matematika ditentukan dengan metode algoritma genetika yang disusun dalam bentuk persamaan diferensial simultan dan diselesaikan dengan metode Runge Kutta menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Persamaan diferensial diperoleh dari penurunan neraca massa dan substitusi persamaan kecepatan regenerasi/pertumbuhan sel (r_g), kecepatan penurunan/kematian sel (r_d) dan kecepatan konsumsi substrat untuk menjaga aktifitas sel (r_{sm}). Konsentrasi PHA yang dihasilkan dapat menjadi penghambat pertumbuhan sel dan menurunkan kecepatan reaksi bahkan sampai menghentikan reaksi (C_p^*) dikenal sebagai pengaruh *product-inhibition*. Kecepatan regenerasi meningkat seiring dengan waktu dan mulai menurun setelah 9 jam.

SUMMARY

Plastic creates so much pollution and landfill crisis that various attempts have been made to solve these problems. One of these attempts is to create a biodegradable plastic from substrate such as waste of biodiesel industry which is rich of organic substance (C, H, O, N, S). The organic substance and by taking the advantage of the activated sludge can be fermented in order to produce biodegradable plastics. The type of the bioplastics is polyhydroxyalkanoate (PHA). PHA can be completely degraded and posses the benefit of the conventional plastics characteristics. The objective of this research was to develop the production of bioplastics (PHA) through glycerol fermentation in a textile activated sludge on a *sequencing batch bioreactor*.

Targets of the research were to gain laboratorium technical data for designing, scale-up and operational process whic is comprised of fermentation reaction kinetics, optimum process condition and techno-economics analysis. The first year of the research sequence was conducted by designed and fabricated the *sequencing batch bioreactor*, followed by fermentation kinetics study and process computational modelling. The models were developed based on Monod and Michaelis Menten kinetics theory. The postulated models then be derived in order to get equations. The equations were tested and validated by using the experimental data.

The research showed that the suitable solvent for the pretreatment step of the PHA extraction process was methanol. The PHA recovery in methanol addition was 0.3g/L. The best duration of the submerging process of the PHA extraction process was 2 hours, which could recovered PHA up to 0,44g/L. The mathematical model was determined by genetic algorithm method which was arranged in a simultan differential equation and resolved by Runge Kutta method based on Matlab program. The differential equation was obtained from the derivation of the mass balance and the substitution of the regeneration rate equation or the sel growth (rg), rate of the cell death (rd) and substrate consumption rate to maintain the cell activity (rsm). The concentration of the PHA produced in the fermentation process can inhibit the cell growth and decreased the rate of the reaction, moreover, it can even stopped the reaction (C_p^*). This phenomena is known as the *product-inhibition*. The rate of the regeneration increased along with the fermentation time and started to decrease after 9 hours of the fermentation time.

PRAKATA

Penelitian merupakan unsur kedua Tri Darma Perguruan Tinggi, serta sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas pengajar, serta merupakan masukan yang dapat dipergunakan masyarakat.

Puji syukur peneliti panjatkan kehadurat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan barokah-Nya sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Dengan selesainya penelitian ini, peneliti mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Direktorat Jenderal Perguruan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini.
2. Pimpinan Universitas Wahid Hasyim Semarang yang telah memberikan kepercayaan untuk melaksanakan penelitian.
3. Ketua Lembaga Penelitian Universitas Wahid Hasyim Semarang yang telah memberikan rekomendasi sehingga terlaksananya penelitian ini.
4. Dekan Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah menyediakan fasilitas untuk melaksanakan penelitian.

Peneliti menyadari laporan ini masih ada kekurangan, oleh sebab itu, kritik dan saran pembaca sangat diharapkan guna perbaikan dan kesempurnaan penelitian ini. Peneliti berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan.

Semarang, 11 November 2010

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman

Halaman Pengesahan	ii
Ringkasan dan Summary	iii
Prakata.....	v
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel	viii
Daftar Gambar	ix
Daftar Lampiran.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Plastik <i>Biodegradable</i>	4
2.2 Polihidroksialkanoat	5
2.2.1 Jenis-jenis PHA.....	7
2.2.2 Produksi PHA oleh Lumpur Aktif Anaerobik-Aerobik.....	7
2.3 Sistem Lumpur Aktif	8
2.4 Sequencing Batch Reactor	8
2.5 Penelitian-penelitian Terdahulu	9
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	11
BAB IV METODE PENELITIAN	12
4.1 Perancangan dan Pabrikasi Alat <i>Sequencing Batch Bioreactor</i>	12
4.2 Studi Kinetika Reaksi Fermentasi dan Komputasi Proses	13
4.2.1 Pemodelan.....	13
4.2.2 Eksperimen	14
4.3 Bahan dan Alat Penelitian.....	26
4.3.1 Bahan Penelitian	14
4.3.2 Peralatan Penelitian.....	14
4.4 Prosedur Penelitian	15
4.4.1 Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi	16
4.4.2 Tahap Percobaan Utama	16
4.5 Prosedur Analisa	18
4.5.1 Analisis MLSS (<i>mixed-liquor suspended solid</i>)	18
4.5.2 Analisis PHA	18
4.6 Interpretasi Data.....	18
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
5.1 Perancangan dan Pabrikasi <i>Sequencing Batch Bioreactor</i>	20
5.2 Pembibitan dan Aklimatisasi	20
5.3 Tahap Penelitian Pendahuluan.....	21
5.4 Pengamatan MLSS.....	23
5.5 Pengamatan TKN.....	24
5.6 Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya.....	25
5.7 Model matematika	27
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN.....	34

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Rumus PHA dan Turunan Homopolimernya.....	6
Tabel 2. Rekoveri PHA pada berbagai pelarut	22
Tabel 3. Persentase penyisihan TKN untuk setiap tempuhan.....	24

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Foto bioplastik hasil studi awal.....	3
Gambar 2. Struktur Kimia Monomer PHA.....	6
Gambar 3. Struktur Kimia Turunan Monomer PHA	6
Gambar 4. Proses Lumpur Aktif dengan Resirkulasi	8
Gambar 5. Skematik tahapan-tahapan penelitian.....	12
Gambar 6. Sequencing Batch Bioreaktor.....	15
Gambar 7. Foto <i>Sequencing Batch Bioreactor</i>	20
Gambar 8. Tempuhan selama pembibitan dan aklimatisasi.....	21
Gambar 9. Pengaruh durasi perendaman terhadap perolehan PHA.....	23
Gambar 10. Grafik hubungan MLSS terhadap waktu tempuhan.....	24
Gambar 11. Hubungan konsentrasi substrat terhadap waktu.....	27
Gambar 12. Distribusi kecepatan reaksi sebagai fungsi waktu.....	28
Gambar 13. Perolehan PHA dalam logaritmik sebagai fungsi waktu	29

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Kurva Baku PHA.....	35
Lampiran B. Contoh Perhitungan	39
Lampiran C. Perhitungan Neraca COD	42
Lampiran D. Data Antara dan Perhitungan.....	44
Lampiran E. Foto Kegiatan Laboratorium.....	46
Lampiran F. Sinopsis Penelitian Lanjutan	48
Lampiran G. Daftar Riwayat Hidup Peneliti	59

BAB I

PENDAHULUAN

Salah satu sektor dalam kegiatan pembangunan adalah kegiatan industri. Kegiatan ini di beberapa sisi memberi berbagai manfaat dalam kehidupan manusia, namun ada sisi lain yang dianggap dapat menimbulkan akibat yang merugikan yaitu adanya limbah industri yang dapat mencemari lingkungan. Salah satunya adalah limbah industri biodisel berupa gliserol. Saat ini, produk samping biodisel yang berupa gliserol kebanyakan didigesti dalam pengolahan air. Namun demikian proses tersebut lambat, mahal dan yield yang dihasilkan relatif kecil.

Sementara itu, pemanfaatan gliserol dengan cara dimurnikan melalui proses distilasi, dapat digunakan diindustri makanan dan farmasi. Akan tetapi, proses distilasi merupakan proses yang cukup mahal, dan rendahnya harga gliserol menjadikannya tidak ekonomis. Produk samping (gliserol) seringkali mengandung impuritas hingga 50%. Impuritas tersebut berupa biodiesel dan metanol. Hal tersebut merupakan permasalahan utama dalam pemrosesan gliserol. Untuk produksi dalam skala besar, pilihan yang terbaik adalah penggunaan gliserol sebagai bahan bakar. Namun demikian gliserol adalah bahan bakar yang berkualitas rendah, yang tidak terbakar didalam petroleum atau mesin diesel. Pada dekade tahun 2006 pemanfaatan gliserol dilakukan dengan mencampur minyak bakar dan dipakai sebagai bahan bakar. Namun peraturan baru di Eropa telah menghentikan proses *re-cycle* ini, karena khawatir akan polusi yang ditimbulkan dari produk pembakaran yang tidak sempurna. Oleh karenanya, perlu pengembangan proses yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang sesuai untuk mengolah limbah industri biodisel berupa gliserol ($C_3H_8O_3$) adalah dengan pengolahan secara biologis menjadi plastik yang terdegradasi (PHA).

Plastik merupakan salah satu penemuan dibidang kimia yang menjadikan hidup manusia lebih mudah. Penggunaan plastik yang semakin meluas disebabkan oleh kelebihan yang dimilikinya, yaitu plastik mudah dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, mempunyai ketahanan kimia yang tinggi, dapat diatur keelastisannya, murah, dan dapat bertahan untuk waktu yang lama. Namun demikian, kelebihan ini pula yang

menjadikan plastik sebagai salah satu polutan yang sangat besar pengaruhnya. Karena murah, orang membuang plastik dengan mudah dan menjadikannya tumpukan sampah yang sulit dihancurkan oleh alam. Sebagai gambaran, diperkirakan lebih dari 100 juta ton plastik diproduksi setiap tahun di seluruh dunia. Konsumsi plastik di India adalah 2 kg per orang per tahun, sementara di Eropa 60 kg per orang per tahun dan di Amerika 80 kg per orang per tahun. Hal ini menyebabkan sampah plastik terakumulasi sebanyak 25 juta ton per tahun [Jogdand, 2000].

Sampah plastik sangat mengganggu keindahan kota, menimbulkan banjir di berbagai daerah dan menyebabkan kematian pada banyak hewan. Suatu program TV di India telah melaporkan kematian 100 ekor sapi per hari akibat tak sengaja memakan kantong plastik. Sedangkan laporan terbaru dari Amerika menyimpulkan adanya lebih dari 100.000 hewan laut yang mati per tahun karena sebab yang sama. Dalam perut setiap hewan tersebut ditemukan plastik, yang menyebabkan pencernaan terhalang dan mengakibatkan kelaparan.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh plastik tersebut adalah dengan membuat material plastik yang dengan mudah dapat diuraikan oleh alam. Plastik semacam ini dinamakan plastik biodegradabel. Jenis plastik ini sangat sesuai dengan siklus karbon alami, karena ketika dibuang ke lingkungan dan didegradasi oleh mikroorganisme diperoleh hasil CO₂. Peristiwa biodegradasi dapat terjadi di semua lingkungan, baik pada kondisi aerob maupun anaerob, dan di dalam tubuh hewan. Bila plastik biodegradabel dibakar, hasil pembakaran tersebut bukan merupakan senyawa beracun.

Polihidroksialkanoat (PHA) adalah salah satu jenis plastik biodegradabel yang termasuk dalam kelompok poliester. PHA dapat terdegradasi sempurna dan memiliki sifat yang mirip dengan kelebihan yang dimiliki oleh plastik konvensional. Nilai tambah PHA dibandingkan dengan plastik biodegradabel lain adalah bahan bakunya selalu dapat diperbaharui (*renewable*), seperti glukosa dan asam lemak volatil. PHA dapat dihasilkan dari bermacam-macam bakteri, seperti *Alcaligenes latus*, *Pseudomonas oleovorans* dan *Escherichia coli*. Masing-masing bakteri akan menghasilkan PHA dengan komposisi yang berbeda. Jenis substrat yang dikonsumsi oleh bakteri pun menentukan jenis PHA yang diproduksi.

Produksi PHA saat ini semakin berkembang luas karena kebutuhan plastik yang 'ramah lingkungan' semakin meningkat. Namun demikian, pemakaian PHA sebagai material pengganti plastik konvensional dibatasi oleh harga jual yang sangat mahal. Kendala ini berasal dari biaya produksi yang cukup tinggi, terutama biaya untuk memenuhi kebutuhan substrat dan biaya pengambilan dan pemurnian PHA dari biomassa. Untuk menekan biaya substrat dilakukan upaya pemanfaatan substrat yang selama ini terbuang, yaitu bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah industri (Arifan, dkk., 2005., Handayani, dkk., 2007., Achmad, dkk., 2008., Budihardjo, dkk., 2009).

Pemanfaatan limbah industri biodisel merupakan suatu alternatif dalam memproduksi bioplastik, mengingat limbah tersebut merupakan sumber karbon yang berpotensi menghasilkan kopolimer PHA. Pengolahan limbah secara biologis ini

menggunakan sistem lumpur aktif yang mengandung bermacam-macam mikroorganisme. Selain dapat menghasilkan PHA dengan biaya substrat rendah, cara ini dapat mengurangi lumpur hasil pengolahan limbah dengan sistem lumpur aktif. **Studi awal** telah dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan substrat berasal dari limbah industri pangan dan gliserol. Hasil kajian menunjukkan bahwa fermentasi menggunakan mikroba dari lumpur aktif sangat prospektif dan menjanjikan dalam produksi plastik biodegradabel (Arifan, dkk., 2005., Handayani, dkk., 2007., Achmad, dkk., 2008., Budihardjo, dkk., 2009).

Hasil studi awal dengan menggunakan lumpur aktif konvensional tersaji pada Gambar 1. Namun demikian, proses fermentasi dengan sistem lumpur aktif konvensional yang dilakukan memiliki kelemahan, yaitu perolehan PHA relatif masih sedikit. Oleh karenanya, perlu memodifikasi sistem lumpur aktif konvensional dengan menggunakan *sequencing batch bioreactor* (SBB). Modifikasi dengan menggunakan SBB dilengkapi dengan sistem pengaturan operasi untuk mengendalikan jalannya proses anaerobik-aerobik diharapkan mampu mengatasi kelemahan, sehingga PHA dapat terakumulasi semaksimal mungkin. Untuk itu, perlu menelaah pengembangan *sequencing batch bioreactor* untuk produksi bioplastik (*polihidroksialkanoat*) dari limbah industri biodisel dan aplikasinya pada kerajinan asesoris. Kajian penelitian ini diarahkan untuk memperoleh data-data teknis yang diperlukan dalam perancangan *sequencing batch bioreactor*, scale-up bioreaktor dan pengoperasian proses.



Gambar 1. Foto bioplastik hasil studi awal

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Karakterisasi limbah industri biodisel berupa gliserol adalah volume limbah tinggi, beban rendah, berisi senyawa organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Ciri utama dari limbah industri biodisel adalah BOD (*Biological oxygen demand*) yang cukup tinggi, dengan ditandai warna kehitaman akibat proses pemanasan. Salah satu sistem yang cocok untuk mengolah produk samping industri biodisel berupa gliserol adalah dengan mengolah menjadi plastik biodegradabel.

Kebutuhan akan plastik biodegradabel menjadi sangat mendesak saat ini mengingat penggunaan plastik konvensional yang begitu luas dan dampak yang ditimbulkannya terhadap lingkungan. Dalam pembahasan mengenai polihidroksialkanoat (PHA), hal-hal yang harus diperhatikan dipaparkan dalam paragraf-paragraf di bawah ini.

2.1 Plastik Biodegradabel

Biodegradasi adalah suatu mekanisme penguraian yang dilakukan oleh mikroorganisme. Secara sederhana, mekanisme biodegradasi dapat dijelaskan sebagai berikut : Sel menghasilkan enzim ekstraseluler yang disekresikan ke lingkungan untuk memecah makromolekul yang tidak dapat menembus dinding sel. Enzim ekstraseluler terdiri atas dua, yaitu endoenzim yang memecah ikatan di dalam makromolekul dan eksoenzim yang menghidrolisa ikatan ujung makromolekul.

Keuntungan mekanisme ini adalah tidak membutuhkan biaya (jika terjadi secara alami), lebih aman dan memberikan degradasi sempurna. Di alam, biodegradasi dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, yaitu temperatur, cahaya, nutrisi, pH, kandungan oksigen dan air, kehadiran enzim, mikro dan makroorganisme. Untuk lebih memudahkan proses ini berlangsung, perlu dilakukan modifikasi produk dengan mencari bahan baku alternatif yang mudah diterima oleh alam.

Proses biodegradasi dapat dibagi dua, yaitu biodegradasi sebagian dan biodegradasi seluruhnya. Plastik fotodegradabel mempunyai gugus-gugus yang sensitif terhadap sinar/cahaya, menghasilkan bagian-bagian kecil yang tak terdegradasi, yang menyebabkan menurunnya kekuatan bahan. Jenis plastik yang terbiodegradasi sebagian merupakan campuran antara polimer sintetis dengan polimer alam, seperti polietilen dengan penambahan pati atau selulosa. Contoh-contoh plastik yang terbiodegradasi seluruhnya adalah plastik berbahan dasar pati, selulosa dan poliester alam (polihidroksialkanoat, polilaktat, polikaprolakton). Plastik dengan bahan dasar pati memiliki beberapa kelemahan, yaitu tidak resisten terhadap air dan rapuh.

Produksi plastik biodegradabel pengganti plastik konvensional dilakukan dengan:

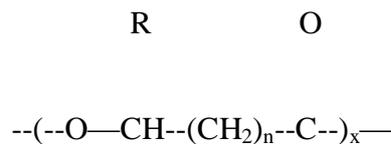
1. Modifikasi bahan yang sudah ada

Cara ini dilakukan dengan menambahkan bahan baku polimer alam ke dalam bahan polimer sintetis. Plastik jenis ini dapat diaplikasikan sebagai kapsul dan barang sekali pakai.

2. Kopolimerisasi secara kimia dari bahan-bahan biodegradabel yang sudah ada
- Kopolimerisasi merupakan gabungan dua macam atau lebih monomer untuk membentuk polimer, seperti plastik biodegradabel yang dikembangkan di Jepang, yaitu campuran 50-80% polikaprolakton dalam poliolefin khusus, sehingga memiliki sifat biodegradabilitas dan kekuatan yang tinggi.
3. Penggunaan biopolimer
- Biopolimer diperoleh dari tahap pertumbuhan mikroorganisme atau dari tumbuhan yang direkayasa secara genetika untuk menghasilkan polimer. Contoh umum plastik dari jenis ini adalah polihidroksialkanoat dan asam polilaktat.

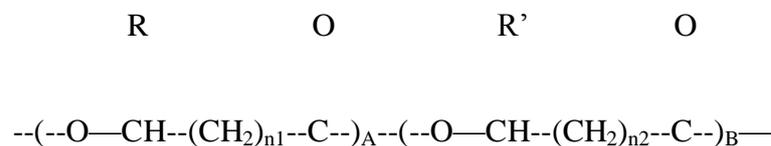
2.2 Polihidroksialkanoat

Polihidroksialkanoat (PHA) merupakan salah satu jenis polimer yang termasuk dalam kelompok poliester, yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai bahan energi cadangan saat nutrisi esensial, seperti nitrogen atau fosfor, ada dalam jumlah terbatas dalam sumber karbon yang berlebihan. Perhatian terhadap PHA sebagai bahan alternatif pengganti bahan baku plastik konvensional semakin berkembang, karena ia memiliki kelebihan yang sama dengan plastik konvensional dan dapat didegradasi sempurna oleh mikroorganisme di semua lingkungan, seperti tanah, air laut dan danau. Degradasi ini menghasilkan air dan CO₂ pada kondisi aerob, dan pada kondisi anaerob dihasilkan pula metana. Disamping itu, PHA terbuat dari sumber yang dapat diperbaharui, seperti glukosa dan asam-asam lemak volatil. Struktur umum PHA ditunjukkan pada Gambar 2. dan 3.



Gambar 2. Struktur kimia monomer PHA

Tabel 1. menjelaskan rumus yang digunakan untuk struktur monomer PHA dan nama-nama turunan homopolimer yang dihasilkannya.



Gambar 3. Struktur kimia monomer PHA

Keterangan : n₁ = 1, n₂ = 1, R = metil, R' = etil, dinamakan P(3HB-ko-3HV)
n₁ = 1, n₂ = 2, R = metil, R' = H, dinamakan P(3HB-ko-4HB)
dengan A dan B merupakan jumlah kesatuan yang berulang

Tabel 1. Rumus PHA dan turunan homopolimernya

No	Gugus R	PHA
1	hidrogen	Poli (hidroksipropionat)

1	metil	Poli (3-hidroksibutirat)
1	etil	Poli (3-hidroksivalerat)
1	propil	Poli (3-hidroksiheksanoat)
1	butil	Poli (3-hidroksiheptanoat)
1	pentil	Poli (3-hidroksioktanoat)
1	heksil	Poli (3-hidroksinonanoat)
1	heptil	Poli (3-hidroksidekanoat)
1	oktil	Poli (3-hidroksiundekanoat)
1	nonil	Poli (3-hidroksidodekanoat)
2	hidrogen	Poli (4-hidroksibutirat)
2	metil	Poli (4-hidroksivalerat)
2	etil	Poli (4-hidroksikaproat)
3	hidrogen	Poli (5-hidroksivalerat)
3	metil	Poli (5-hidroksiheksanoat)
4	heksil	Poli (6-hidroksidodekanoat)

Menurut PHA yang dihasilkan, bakteri penghasil PHA terbagi atas dua grup, yaitu grup yang memproduksi PHA rantai pendek dengan monomer C3–C5 (termasuk *Alcaligenes eutrophus*) dan grup yang mensintesa PHA rantai sedang dengan monomer C6-C14 (termasuk *Pseudomonas oleovorans*). Disamping itu, terdapat dua grup bakteri menurut kondisi yang dibutuhkan untuk menghasilkan PHA. Grup pertama membutuhkan pembatasan suatu nutrisi esensial, seperti N, P, Mg, K, O atau S untuk sintesa PHA yang efisien dalam sumber karbon yang berlebihan. Bakteri yang termasuk dalam grup ini adalah *Alcaligenes eutrophus*, *Protomonas extorquens* dan *Pseudomonas oleovorans*. Bakteri dari grup kedua, seperti *Alcaligenes latus* dan rekombinan *Escherichia coli*, tidak membutuhkan pembatasan tersebut dan dapat mengakumulasi PHA selama pertumbuhannya.

2.2.1 Jenis-jenis PHA

Jenis PHA sangat ditentukan oleh substrat yang dikonsumsi oleh mikroorganisme dan jenis mikroorganisme itu sendiri. Dari sekian banyak macam PHA, poli (3-hidroksibutirat) atau dikenal sebagai PHB, merupakan jenis yang paling banyak dihasilkan. PHB merupakan keluarga PHA yang paling sederhana dan paling banyak ditemukan pada mikroorganisme. Biopolimer ini pertama kali diketahui oleh Lemoigne pada tahun 1926. Berat molekul PHA dapat mencapai lebih dari 2.000.000 (20.000 monomer per molekul polimer).

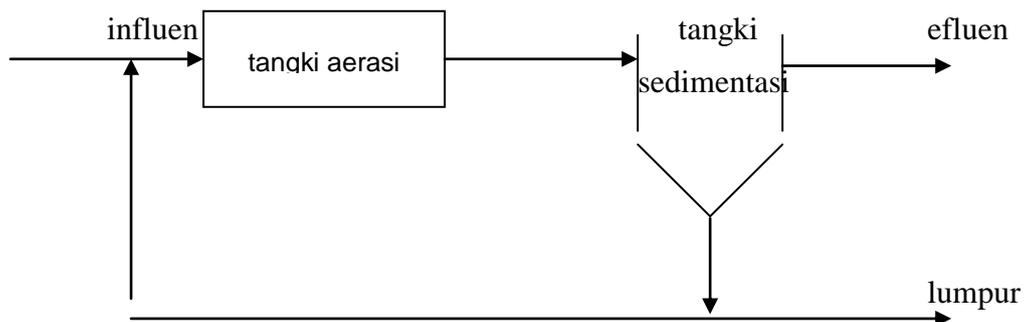
2.2.2 Produksi PHA oleh Lumpur Aktif Anaerobik-Aerobik

Pada saat ini, produksi plastik PHA seluruhnya dilakukan dengan cara fermentasi, yaitu mikroorganisme yang digunakan berupa kultur murni. Meskipun hasil yang didapatkan cukup besar, tetapi cara ini membutuhkan biaya tinggi untuk menjaga kondisi tetap stabil dan peralatan tetap steril agar kultur yang dihasilkan benar-benar murni. Selain itu, biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan substrat pun cukup besar pula.

Untuk mengatasi kendala biaya tersebut, telah dilakukan beberapa penelitian yang memanfaatkan lumpur aktif untuk menghasilkan PHA. Lumpur aktif adalah suatu sistem pertumbuhan tersuspensi yang terdiri dari suatu massa mikroorganisme, yang disuplai dengan bahan organik dan oksigen secara konstan [Horan, 1991]. Keuntungan yang diharapkan adalah biaya produksi biomassa penghasil polimer dan substrat akan menjadi minimal, dan biaya untuk pembangunan fasilitas juga akan berkurang. Usaha yang terus dilakukan oleh para peneliti hingga saat ini adalah meningkatkan kandungan polimer yang dihasilkan dalam lumpur aktif, karena tahap ekstraksi dan pemurnian polimer dari biomassa merupakan tahap dengan biaya yang paling besar.

2.3 Sistem Lumpur Aktif

Sistem lumpur aktif adalah suatu proses pengolahan limbah secara biologis, yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa organik terlarut dan tak terlarut dari suatu aliran limbah dan mengubahnya menjadi suatu suspensi mikroba terflokulasi yang siap diendapkan. Sistem yang ditemukan oleh Arden dan Lockett pada tahun 1914 ini terdiri dari oksidasi limbah organik oleh bakteri diikuti dengan pemisahan padatan tersuspensi dari aliran limbah



Gambar 4. Proses lumpur aktif dengan resirkulasi [Henze, 1995]

2.4 Sequencing Batch Reactor

Proses lumpur aktif yang dioperasikan paling awal menggunakan sebuah reaktor batch dan dikenal sebagai proses *fill and draw*. Reaktor ini diisi dengan aliran limbah dan diaerasi selama waktu tertentu untuk mengoksidasi sebagian besar BOD. Kemudian campuran tersebut diendapkan dan aliran yang telah jernih dikeluarkan dari reaktor. Sebagian lumpur yang terendapkan dibuang dan keseluruhan proses diulang kembali. Semula proses ini kurang diminati karena banyaknya operator kontrol yang

dibutuhkan. Dengan modifikasi pada proses kontrol, proses ini menjadi populer kembali dan dikenal sebagai *sequencing batch reactor* (SBR).

Sebuah sistem SBR dapat menjalankan beberapa proses, seperti oksidasi karbon, nitrifikasi, denitrifikasi dan penghilangan fosfat, pada reaktor yang sama. Satu siklus SBR terdiri dari tahap :

- a. Pengisian (*fill*), yang bertujuan untuk menambahkan umpan ke dalam reaktor. Tahap ini membutuhkan kondisi konsentrasi oksigen terlarut (DO) yang berbeda, dimana periode aerobik (DO tinggi) menentukan karakteristik pengendapan mikroba dan periode anaerobik (DO nol) atau *anoxic* (DO rendah) diperlukan untuk penghilangan nitrogen dan fosfor.
- b. Reaksi (*react*), yang bertujuan untuk menyempurnakan reaksi yang sudah dimulai pada tahap pengisian.
- c. Pengendapan (*settle*), yang bertujuan untuk memberi kesempatan bagi padatan/lumpur untuk mengendap agar supernatan dapat terpisah.
- d. Pemisahan (*draw/decant*), yang bertujuan untuk mengeluarkan supernatan dari reaktor sebagai efluen.
- e. Persiapan (*idle*), yang bertujuan untuk menyediakan waktu pengaturan bila akan dirangkai dengan unit lain. Pada tahap ini aerasi dijalankan dan dilanjutkan sampai saat pengisian pada siklus berikutnya.

2.5 Penelitian-penelitian Terdahulu

Sejak pertama kali ditemukan oleh Lemoigne, PHA telah menjadi bahan penelitian yang menarik untuk dikembangkan. Penelitian-penelitian ini mencakup banyak hal yang mempengaruhi pembentukan PHA, seperti jenis bakteri, jenis substrat, perbandingan substrat dan proses produksinya. Pada intinya semua penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan kandungan PHA yang tinggi dalam sel dan memurnikannya dengan biaya yang tidak terlalu mahal.

Untuk mengurangi biaya substrat, Chua dkk. [1997] menggunakan bakteri lumpur aktif dalam sistem pengolahan limbah untuk mengakumulasi PHA dengan cara mengatur nisbah C : N. Perolehan polimer spesifik maksimum adalah 0,37 g PHA/g sel pada nisbah C : N = 144, dengan kompensasi penurunan perolehan pertumbuhan spesifik. Nisbah C : N = 96 memberikan perolehan produksi polimer maksimum sebesar 0,093 g polimer/g substrat yang dikonsumsi.

Bakteri *Rhodobacter sphaeroides* (IFO 12203) kembali digunakan dalam penelitian Sidikmarsudi dan Setiadi [1997], dengan medium asam asetat dan campuran asam asetat – asam propionat. Konsentrasi karbon ditetapkan sebesar 2 g/L untuk setiap medium. Nisbah C : N divariasikan dan percobaan dilakukan dalam labu kocok dengan putaran 100 rpm, suhu 30°C dan intensitas penyinaran 2500 lux. Kandungan PHA maksimum didapatkan pada nisbah C : N tak terhingga, yaitu 0,21 g PHB/g sel dan 0,17 g P(HB-ko-HV)/g sel. Dari penelitian ini didapatkan komposisi hidroksivalerat maksimum adalah 18%.

Untuk mengetahui gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh asam propionat terhadap komposisi hidroksivalerat, dilakukan penelitian oleh Setiadi dkk. [1998] dengan memvariasikan komposisi asam propionat di dalam substrat. Dalam percobaan ini digunakan intensitas penyinaran 24000 lux dengan kondisi lain tetap. Penelitian yang dilakukan oleh Presti [1998] juga menggunakan medium yang sama, dengan variasi pada komposisi asam asetat – asam propionat dan jumlah karbon total (2 dan 4 g/L). Bakteri yang digunakan adalah *Rhodospirillum rubrum* (IFO 3986). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa peningkatan jumlah karbon total meningkatkan kandungan PHA dalam sel. Kandungan PHA maksimum yang diperoleh adalah 0,58 g/g sel dengan komposisi hidroksivalerat maksimum sebesar 26%.

Pada tahun 1998, Yu dkk. melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh sumber karbon yang berbeda terhadap nisbah PHB : PHV. Sebagai sumber karbon digunakan bermacam-macam limbah makanan, dengan kondisi DO = 2 mg/L, suhu 35°C dan pH = 7. Produksi PHA maksimum diperoleh dari limbah malt sebagai sumber karbon dengan bantuan bakteri *Alcaligenes latus* DSM 1124, yaitu sebesar 70% g/g sel. Satoh dkk. [1998] memfokuskan penelitian mereka pada peningkatan kandungan PHA dalam lumpur aktif.

Selanjutnya, Wong dkk. [2000] melakukan penelitian yang juga menggambarkan produksi PHA dari limbah industri makanan menggunakan kultur campuran mikroorganisme lumpur aktif. Alat yang digunakan berupa SBR dengan 14 siklus, dimana satu siklus memerlukan waktu 10 jam. Purnama dan Setiadi [2001] mencoba mempelajari kinerja sistem pengolahan limbah lumpur aktif menggunakan SBR dalam mengakumulasi PHA. Mereka menggunakan limbah sintetis tapioka dengan nilai COD sekitar 1500 mg/L. Sondjaya dkk. [2001] kembali mempelajari kinerja SBR, dengan memvariasikan rasio waktu aerob : anaerob. Kali ini diterapkan

siklus pendek dalam satu run, yaitu dengan menerapkan tahap aerasi dan tahap mixing secara berselang-seling.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini mempunyai beberapa tujuan khusus, sebagai berikut:

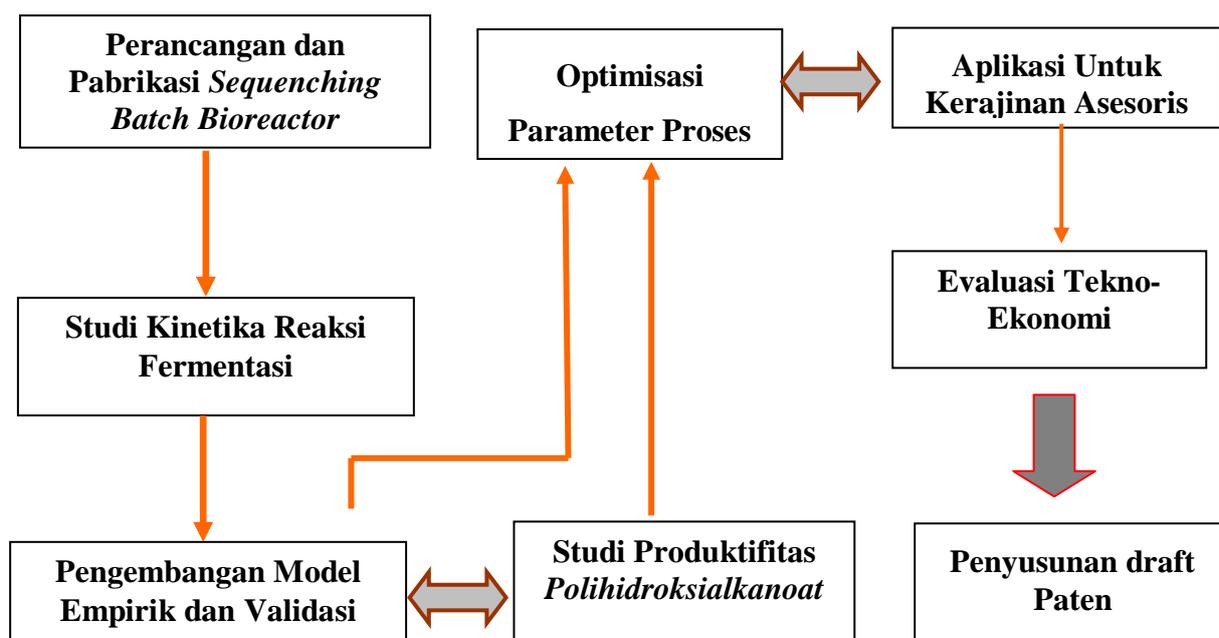
1. Mengkaji aktifitas mikroba dalam lumpur aktif industri tekstil untuk mengkonversi limbah biodisel berupa gliserol menjadi *polihidroksialkanoat* (PHA).
2. Mengembangkan *sequencing batch bioreactor* untuk proses produksi PHA.
3. Mempelajari kinetika reaksi fermentasi substrat gliserol hasil samping industri biodisel menjadi *polihidroksialkanoat*.
4. Studi *immobilisasi* mikroba dan penambahan metanol terhadap produktifitas PHA.
5. Optimisasi kondisi operasi proses terhadap produktifitas *polihidroksialkanoat* (PHA).
6. Mengkaji scale-up *sequencing batch bioreactor* berdasarkan model empiris kinetika reaksi fermentasi.
7. Aplikasi bioplastik untuk kerajinan asesoris.
8. Analisa kelayakan investasi.

Hasil penelitian ini bermanfaat untuk menjaga kelestarian lingkungan dan merupakan informasi teknologi pemanfaatan limbah gliserol dari industri biodisel sebagai plastik *biodegradable* (*Polihidroksialkanoat*) dengan spesifikasi produk sesuai standar kualitas yang digunakan dalam industri plastik konvensional. Bioplastik yang dihasilkan dari gliserol diharapkan dapat diaplikasikan untuk kerajinan asesoris. Plastik *biodegradable* (PHA) yang dihasilkan dari reaksi fermentasi substrat limbah cair industri biodisel dengan memanfaatkan mikroba yang bersumber dari lumpur aktif pabrik tekstil dalam *sequencing batch bioreactor*. Selain itu, diperoleh model matematis kinetika reaksi fermentasi proses produksi plastik *biodegradable* yang sangat penting dalam pengembangan prototipe *sequencing batch bioreactor* skala laboratorium berbasis komputerisasi. Diharapkan informasi teknologi ini nantinya dapat dikembangkan, dimanfaatkan dan diproduksi secara terpadu oleh industri – industri plastik secara komersial.

BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian tentang pembuatan *polihidroksialkanoat* melalui reaksi fermentasi limbah biodisel berupa gliserol dalam *sequencing batch bioreactor* akan diinvestigasi baik secara eksperimen maupun pemodelan. Secara skematik pelaksanaan tahapan-tahapan penelitian disajikan pada Gambar 5. Rangkaian penelitian dilaksanakan secara bertahap meliputi:

- Perancangan dan pabrikasi *sequencing batch bioreactor*
- Studi kinetika reaksi fermentasi limbah biodisel (gliserol) menjadi *polihidroksialkanoat*
- Telaah model matematis kinetika reaksi fermentasi dengan komputasi proses
- Studi produktifitas *polihidroksialkanoat*
- Optimisasi parameter-parameter proses
- Aplikasi bioplastik untuk kerajinan asesoris
- Evaluasi tekno-ekonomi
- Penyusunan draft paten



Gambar 5. Skematik tahapan-tahapan penelitian

Untuk mendapatkan gambaran metodologi yang runtut dengan hasil/kemajuan yang direncanakan setiap tahunnya, maka penelitian ini dirancang sebagai berikut:

Tahun I

Pada tahun pertama, penelitian dilakukan pada skala laboratorium. Kegiatan yang dilakukan antara lain:

1. Perancangan dan pabrikan *sequenching batch bioreactor*
2. Studi kinetika reaksi fermentasi dan komputasi proses

4.1 Perancangan dan Pabrikasi Alat *Sequenching Batch Bioreactor*

Perancangan dan pabrikan *sequenching batch bioreactor* skala laboratorium dikerjakan di Workshop Teknik Mesin UNWAHAS, dengan data-data teknis perancangan diperoleh dari hasil penelitian pendahuluan oleh TIM Peneliti. Rangkaian alat bioreaktor yang digunakan untuk proses fermentasi tersaji pada Gambar 6. Rangkaian alat ini terdiri dari bioreaktor yang dilengkapi dengan sistem aerasi, sistem pengaduk magnet, sistem pengumpanan, dan sistem pembuangan. Peralatan utama dilengkapi dengan peralatan pendukung yang berupa tangki umpan, katup-katup, dan tangki keluaran.

4.2 Studi Kinetika Reaksi Fermentasi dan Komputasi Proses

Penelitian dilakukan dalam dua tahapan kerja yaitu:

1. Pemodelan
2. Eksperimen

4.2.1 Pemodelan

Kegiatan pemodelan diawali dengan menyusun proses kinetika reaksi fermentasi yang mungkin berdasarkan kajian teoritis dan berdasarkan pada banyak penelitian sebelumnya, yang dilakukan di Laboratorium Komputasi Proses Teknik Kimia Fakultas Teknik UNWAHAS. Penyusunan model dilakukan berdasarkan teori kinetika Monod dan Michaelis–Menten. Model yang dipostulasi, kemudian diturunkan untuk memperoleh persamaan yang nantinya akan diuji dengan menggunakan data yang diperoleh dari eksperimental.

4.2.2 Eksperimen

Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan data-data yang berguna dalam penentuan parameter konstanta kecepatan reaksi yang dimodelkan dalam persamaan empiris. Data-data yang telah diukur digunakan sebagai alat untuk memvalidasi

postulasi yang telah ditetapkan. Pengukuran data dilakukan di Laboratorium Rekayasa Pengolahan Limbah Teknik Kimia UNWAHAS Semarang, Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Teknik Lingkungan UNDIP Semarang dan Laboratorium Rekayasa Industri Kreatif PSD III Teknik Kimia UNDIP Semarang. Dengan demikian akan diperoleh model dan persamaan empiris yang tervalidasi.

4.3 Bahan dan Alat Penelitian

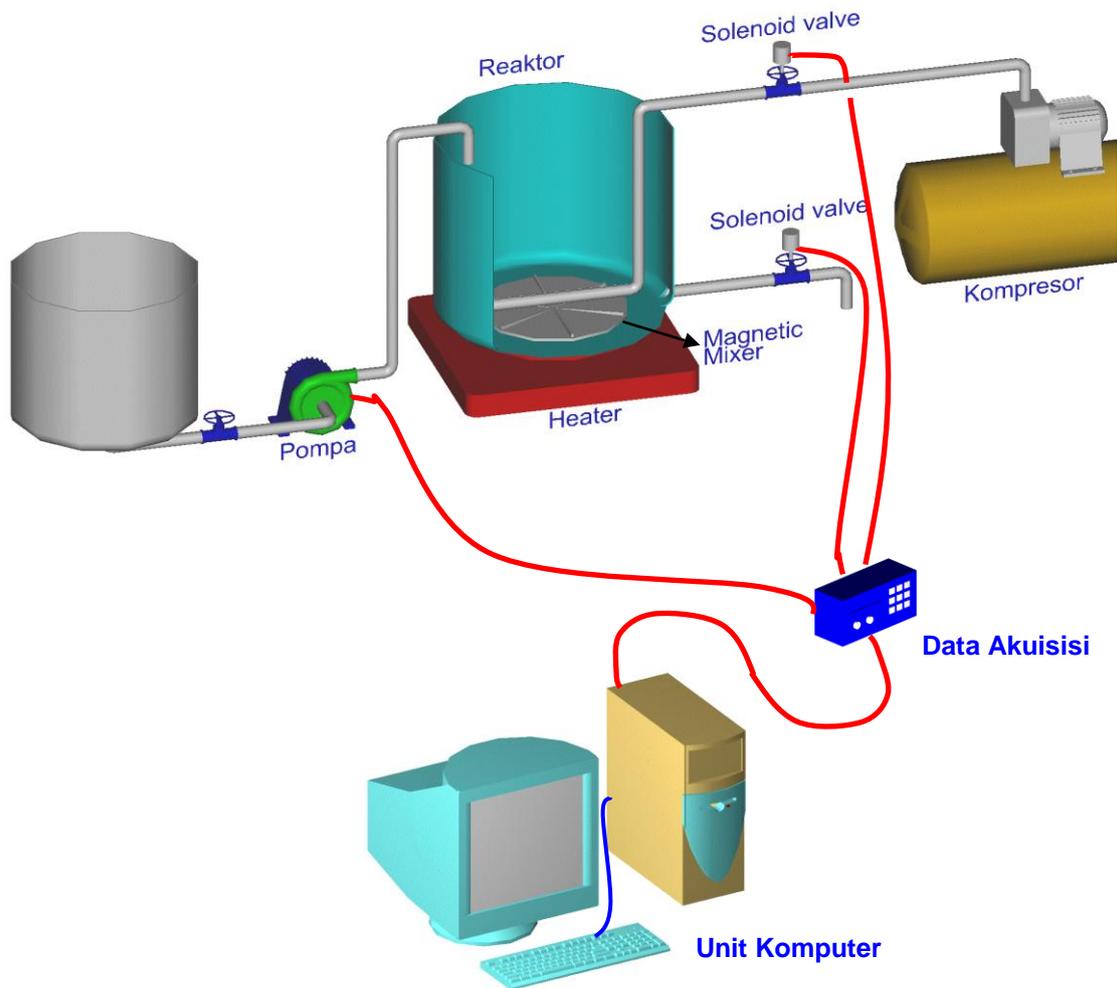
4.3.1 Bahan Penelitian

Bahan baku yang akan digunakan pada penelitian ini adalah limbah industri biodisel berupa gliserol dan bahan-bahan untuk keperluan analisa seperti: metanol, kloroform, kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), air demin, ferro amonium sulfat (FAS), 1,10-phenanthroline monohydrate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, H_2SO_4 , Ag_2SO_4 , dan $HgSO_4$. Bahan-bahan kimia ini membeli dari Bratachem Semarang. Selain itu digunakan lumpur aktif yang berasal dari limbah tekstil di Ungaran. Gliserol diperoleh dari UKM Biodisel CV. Kebanggaan Anda, Kutoarjo, Jawa Tengah.

4.3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan utama pada penelitian ini digunakan *sequencing batch bioreactor* (SBB) yang merupakan salah satu modifikasi dari sistem pengolahan limbah lumpur aktif. SBB dilengkapi dengan sistem pengaturan operasi untuk mengendalikan jalannya proses anaerobik-aerobik. Peralatan utama yang digunakan untuk memproduksi PHA berupa rangkaian SBB yang terdiri atas bioreaktor yang dilengkapi dengan sistem aerasi, sistem pengaduk, sistem pengumpanan, dan sistem pembuangan. Peralatan utama dilengkapi dengan peralatan pendukung yang berupa tangki umpan, katup-katup, dan tangki keluaran.

Hasil yang diperoleh dari proses yang terjadi dalam peralatan utama dengan bantuan peralatan pendukung tersebut di atas kemudian dianalisa untuk dapat diambil kesimpulan penelitian yang telah dilakukan. Peralatan yang diperlukan untuk analisis sampel meliputi instrumen analisis dan peralatan gelas atau penunjang. Instrumen analisis berupa neraca, pH meter, oven, alat sentrifugasi, pengukur titik leleh, dan spektrofotometer ultraviolet. Sedangkan peralatan penunjangnya adalah pompa vakum, desikator, digester, kondensor, pemanas listrik, gelas kimia, labu erlenmeyer, buret, pipet volum, labu takar, gelas ukur, dan lain-lain.



Gambar 6. Sequencing Batch Bioreaktor

4.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu (1) tahap pembibitan dan aklimatisasi, dan (2) tahap percobaan utama. Pengamatan pada tahap kedua dibedakan menjadi dua, yaitu pada kondisi transien dan pada kondisi stabil.

4.4.1 Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi

Pembibitan bertujuan untuk menyediakan bibit mikroorganisme yang akan dipakai dalam pengolahan limbah. Pada percobaan ini, lumpur yang digunakan berasal dari pengolahan limbah industri tekstil. Setelah mikroorganisme berkembang

Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Run 2 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Run 3 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Adapun run 4-5 dilakukan dengan variasi sekuen yang sama namun konsentrasi gliserol yang ditambahkan divariasi.

4.5 Prosedur Analisa

Analisa dilakukan untuk mengetahui konsentrasi MLSS dan kandungan PHA.

4.5.1 Analisis MLSS (*mixed-liquor suspended solid*)

MLSS menunjukkan besarnya padatan tersuspensi di dalam limbah. Analisis MLSS dilakukan dengan metode gravimetri.

4.5.2 Analisis PHA

Pada penentuan konsentrasi PHA, biopolimer yang terdapat di dalam sel diekstraksi dengan penambahan kloroform pada sel seperti yang dilakukan oleh Manangan dan Shawapun [2010] dengan sedikit modifikasi. Biomass lumpur aktif disentrifuse pada kecepatan 5000 rpm selama 10 menit. Endapan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60⁰C selama 4-12 jam. Selanjutnya endapan kering tersebut di rendam dalam metanol selama 2 jam pada suhu kamar. Endapan disentrifuse kembali pada kecepatan 4700 rpm dan endapan yang diperoleh diekstrak menggunakan kloroform. Setelah 24 jam waktu ekstraksi, dilakukan penyaringan, solven pada filtrat diuapkan dan diinjeksikan kedalam air mendidih guna mengendapkan PHA untuk selanjutnya endapan PHA dikeringkan.

4.6 Interpretasi Data

Untuk bioreaktor curah akan diperoleh tiga persamaan diferensial orde 1, neraca massanya meliputi:

1. Sel

$$V \frac{dC_c}{dt} = r_g \cdot V - r_d \cdot V \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dC_c}{dt} = r_g - r_d \quad \dots\dots\dots (2)$$

2. Substrat

$$V \frac{dC_s}{dt} = Y_{sc}(-r_g) \cdot V - r_{sm} \cdot V \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = Y_{sc}(-r_g) - r_{sm} \quad \dots\dots\dots (4)$$

3. Produk

$$V \frac{dC_p}{dt} = Y_{pc}(r_g) \cdot V \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{dC_p}{dt} = Y_{pc} \cdot (r_g) \quad \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan kecepatan

$$r_g = k_{obs} \cdot \square \cdot C_c$$

$$k_{obs} = (1 - C_p/C_p^*)^n \quad \text{pengaruh inhibitor}$$

Menten $\mu = \mu_{\text{maks}} \frac{C_s}{K_s + C_s}$ persamaan Michaelis-

Sehingga $r_g = \mu_{\text{maks}} \cdot (1 - C_p/C_p^*)^n \cdot \frac{C_s C_c}{K_s + C_s}$

$r_d = k_d \cdot C_c$

$r_{sm} = m \cdot C_c$

Substitusi persamaan kecepatan ke dalam persamaan neraca massa:

Sel: $\frac{dC_c}{dt} = \mu_{\text{maks}} \cdot (1 - C_p/C_p^*)^n \cdot \frac{C_s C_c}{K_s + C_s} - k_d \cdot C_c$ (7)

Substrat: $\frac{dC_s}{dt} = Y_{sc} \cdot \mu_{\text{maks}} \cdot (1 - C_p/C_p^*)^n \cdot \frac{C_s C_c}{K_s + C_s} - m \cdot C_c$ (8)

Produk: $\frac{dC_p}{dt} = Y_{pc} \cdot \mu_{\text{maks}} \cdot (1 - C_p/C_p^*)^n \cdot \frac{C_s C_c}{K_s + C_s}$ (9)

- dengan:
- C_c = konsentrasi sel, g/L
 - C_s = konsentrasi substrat, g/L
 - C_p = konsentrasi produk, g/L
 - $C_{ps} = C_{p^*}$ = konsentrasi produk saat metabolisme berhenti, g/L
 - n = tetapan dari percobaan
 - k_d = tetapan penurunan jumlah sel, jam⁻¹
 - K_s = tetapan Michaelis-menten, g/L
 - m = $\frac{\text{massa substrat untuk menjaga aktifitas sel}}{\text{massa sel} \cdot \text{waktu}} = \frac{\text{g substrat}}{\text{g sel} \cdot \text{jam}}$
 - Y_{cs} = perbandingan massa sel terbentuk dengan massa substrat yang dikonsumsi untuk menghasilkan sel baru
 - $Y_{sc} = 1/Y_{cs}$
 - Y_{ps} = perbandingan produk terbentuk dengan massa substrat yang dikonsumsi untuk menghasilkan produk.
 - Y_{pc} = perbandingan produk terbentuk dengan massa sel terbentuk

μ_{maks} = μ_{maks} = tetapan kecepatan pertumbuhan sel spesifik maksimum, jam⁻¹

r_g = kecepatan pertumbuhan sel, g/L.jam

r_d = kecepatan penurunan sel, g/L.jam

r_m = kecepatan konsumsi substrat untuk menjaga aktifitas sel, g/L.jam

dengan nilai batas (*initial value*):

$$t = 0 \quad C_c = C_{c0}$$

$$C_s = C_{s0}$$

$$C_p = C_{p0} = 0$$

Dari data-data yang telah diukur, digunakan sebagai input untuk membangun model dalam bentuk persamaan empiris dengan menggunakan program *Matlab*.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini berupa gliserol dan bahan-bahan untuk keperluan analisa seperti: metanol, kloroform, kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), air demin, ferro amonium sulfat (FAS), 1,10-phenanthroline monohydrate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, H_2SO_4 , Ag_2SO_4 , dan $HgSO_4$. Selain itu digunakan lumpur aktif yang berasal dari limbah tekstil PT Apac Inti Corpora di Ungaran.

5.1 Perancangan dan Pabrikasi *Sequencing Batch Bioreactor*

Perancangan dan pabrikasi *sequencing batch bioreactor* skala laboratorium dikerjakan di Workshop Teknik Mesin UNWAHAS, dengan data-data teknis perancangan diperoleh dari hasil penelitian pendahuluan oleh TIM Peneliti. Rangkaian alat bioreaktor yang digunakan untuk proses fermentasi tersaji pada Gambar 7. Rangkaian alat ini terdiri dari bioreaktor yang dilengkapi dengan sistem aerasi, sistem pengaduk magnet, sistem pengumpanan, dan sistem pembuangan. Peralatan utama dilengkapi dengan peralatan pendukung yang berupa tangki umpan, katup-katup, dan tangki keluaran.



Gambar 7. Foto *Sequencing Batch Bioreactor*

5.2 Pembibitan dan Aklimatisasi

Pembibitan bertujuan untuk menyediakan bibit mikroorganisme yang akan dipakai dalam pengolahan limbah. Pada percobaan ini, lumpur yang digunakan berasal dari pengolahan limbah industri tekstil PT. Apac Inti di Ungaran. Setelah mikroorganisme berkembang dan mencapai konsentrasi tertentu, dilakukan

aklimatisasi yang bertujuan untuk menjadikan mikroorganisme adaptif dengan lingkungan yang sesuai. Oleh karenanya, mikroorganisme dapat berkembang biak dengan baik. Proses pembibitan dan aklimatisasi tersaji pada Gambar 8.



Gambar 8. Tempuhan selama pembibitan dan aklimatisasi

5.3 Tahap Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan kondisi operasi sebagai berikut: lumpur aktif sebanyak 1,5 liter dimasukkan ke dalam reaktor. Selanjutnya reaktor diisi dengan limbah industri biodiesel hingga mencapai volum kerja 6 liter. Satu siklus SBB membutuhkan waktu 12 jam. Kondisi-kondisi yang diusahakan tetap adalah temperatur kamar, pH netral (pada awal operasi), dan SRT selama 5 hari. Kondisi aerob dicapai dengan mengalirkan udara ke dalam bioreaktor hingga kelarutan oksigen sekitar 2 mg/L. Pada kondisi anaerobik, sistem pengaduk magnet dijalankan untuk membantu sirkulasi dan mencegah pengendapan, sehingga reaksi masih dapat terus berlangsung.

Penelitian pendahuluan dilakukan guna mengetahui pengaruh penambahan beberapa *solvent* atau pelarut pada proses ekstraksi PHA. *Polyhydroxyalkanoate* (PHA) merupakan polyester *hydroxyalkanoate* yang terakumulasi sebagai karbon atau energi atau penurunan kekuatan penyimpanan material dalam sel-sel mikroba. PHA disintesis dan disimpan oleh berbagai bakteri pada kondisi kritis dan terakumulasi sebagai granul-granul intraselular tanpa menimbulkan efek berbahaya bagi sel-sel induknya. PHA biasanya diproduksi sebagai polimer yang terdiri atas 103-104 monomer, yang terakumulasi dalam bentuk granul dengan diameter 0.2–0.5 μm .

Proses pemisahan partikel dengan diameter tersebut diatas dari campuran partikel-partikel mikroba seperti mikroba pembentuk PHA semakin mendapat perhatian dalam khasanah bioteknologi. Beberapa upaya dilakukan guna meningkatkan efisiensi pemisahan bioplastik, mengingat proses ekstraksi dan pemurnian *polihidroksialkanoat* merupakan kunci guna meningkatkan nilai ekonomis sistem fermentasi *polihidroksialkanoat*. Untuk mendapatkan perolehan PHA yang lebih baik, beberapa proses perlakuan awal dapat dilakukan sehingga dapat meningkatkan proses disrupsi sel-sel mikroba.

Produktivitas *polihidroksialkanoat* dapat ditingkatkan dengan penambahan pelarut seperti alkohol. Penambahan alkohol dapat berakibat menurunnya kekuatan dinding dan membran sel, sehingga proses pengeluaran *polihidroksialkanoat* dari sel dapat meningkat. Alkohol juga dapat menghambat sintesis protein dan akibatnya NH_4 dalam kondisi eksek. Hal tersebut juga dapat mengakibatkan melemahnya kekuatan membran sel.

Untuk mengekstrak PHA dari biomass, sel kering harus dirusak atau dipecah. Untuk menghindari penggunaan surfaktan yang bersifat keras, basa kuat atau sodium *hypochlorite* yang dapat menyebabkan terjadinya dekomposisi polimer, kita dapat menggunakan aseton atau alkohol.

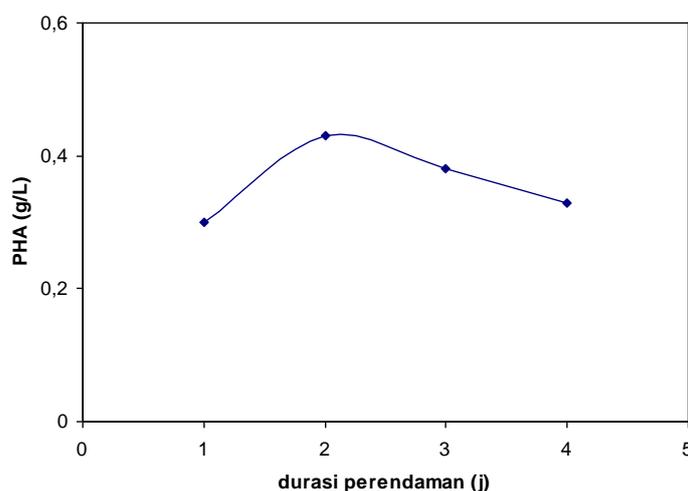
Dalam penelitian pendahuluan ini pelarut yang dicoba adalah air, metanol dan etanol. Biomass kering yang diperoleh diakhir siklus SBB direndam dalam 15 ml berbagai pelarut pada suhu ruang selama 1 jam. Sesudahnya campuran disentrifuse pada kecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Endapan selanjutnya di ekstrak menggunakan kloroform. Proses ekstraksi dilakukan dengan merendam endapan dalam 50 ml kloroform selama 24 jam pada suhu 55°C . Sesudahnya campuran disaring dan filtratnya diambil. Sebagian kloroform diuapkan hingga volumenya berkurang 50%. Selanjutnya filtrat diinjeksikan pada air mendidih. PHA akan mengendap dan setelah didinginkan, PHA dapat diambil, dikeringkan dan ditimbang.

Table 2. Rekoverti PHA pada berbagai pelarut

Solvent	PHA (g/L)
Water	0,10
Ethanol	0,21
Methanol	0,30

Tabel 2. menunjukkan data perolehan PHA pada berbagai pelarut. Hasil penelian menunjukkan bahwa pelarut yang baik untuk proses perlakuan ekstraksi PHA adalah metanol, yaitu sebesar 0.3 g/L. Perolehan PHA dengan perlakuan menggunakan metanol adalah yang terbesar. Penggunaan alkohol dengan rantai yang lebih panjang menurunkan perolehan PHA. Hal tersebut mengindikasikan bahwa alkohol berantai panjang lebih sulit untuk menyusupi sel-sel biomass kering yang mengandung PHA.

Percobaan pendahuluan untuk menentukan waktu perendaman yang baik pada proses *pretreatment* biomass juga telah dilakukan. Pelarut yang digunakan adalah metanol. Pada percobaan selanjutnya, untuk proses rekoveri PHA, ditambahkan 15 ml metanol dan direndam dengan durasi perendaman divariasasi dari 1-4 jam. Durasi perendaman mempengaruhi perolehan PHA. Gambar 9 menunjukkan semakin lama perendaman, perolehan PHA semakin meningkat. Namun demikian, setelah 2 jam PHA yang dihasilkan mulai menurun. Hal ini disebabkan terjadinya degradasi PHA sehingga perolehan PHA relatif sedikit. Hasil relatif baik diperoleh pada perendaman 2 jam dengan perolehan PHA sebesar 0,44 g/L.

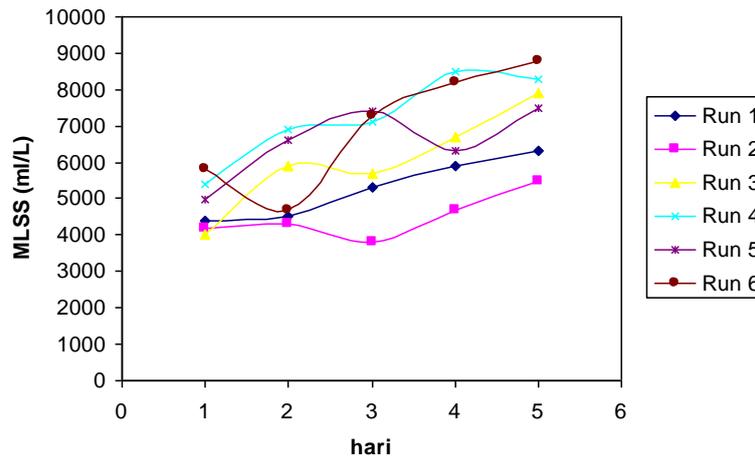


Gambar 9. Pengaruh durasi perendaman terhadap perolehan PHA

5.4 Pengamatan MLSS

Hasil pengamatan terhadap MLSS pada semua tempuhan disajikan pada Gambar 10. MLSS yang diperoleh pada akhir tahapan lebih tinggi dibanding MLSS pada awal proses. Pada percobaan pendahuluan terjadi penurunan MLSS, hal ini disebabkan karena mikroorganisme yang sedang melakukan adaptasi terhadap kondisi SBB. Meskipun semua kondisi dalam SBB diusahakan tetap, namun demikian kadangkala

terjadi sedikit perubahan di luar kontrol yang menyebabkan timbulnya fluktuasi selama kondisi adaptasi mikroba.



Gambar 10. Grafik hubungan MLSS terhadap waktu tempuhan

Senyawa organik merupakan sumber karbon bagi mikroorganisme lumpur aktif, kondisi ini menjadi dasar bagi pengolahan limbah secara biologis. Dengan pemberian aerasi yang cukup, diharapkan mikroorganisme lumpur aktif dapat berkembang biak menggunakan bahan organik dalam limbah sebagai sumber karbon.

5.5 Pengamatan TKN

Pengamatan terhadap penyisihan TKN dilakukan untuk mengetahui banyaknya nitrogen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme. Nitrogen dalam bentuk amonium merupakan bahan penyusun asam amino dan asam nukleat yang berperan dalam pembentukan sel-sel baru. Hasil pengamatan terhadap penyisihan TKN untuk masing-masing tempuhan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase penyisihan TKN untuk setiap tempuhan

Tempuhan	Penyisihan (%)
1	69,87
2	63,74
3	67,19
4	73,04
5	62,74
6	60,19

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada semua tempuhan terjadi penyisihan TKN yang cukup besar. Hal ini menunjukkan terjadinya konsumsi nitrogen selama proses dalam SBB. Konsumsi nitrogen terutama terjadi pada saat kondisi anaerob. Pada kondisi ini tidak terjadi hambatan terhadap siklus TCA sehingga proses pembentukan sel berlangsung normal. Pembentukan sel-sel baru dapat berjalan apabila senyawa-senyawa pembentuk sel seperti oksaloasetat, piruvat, dan α -oksoglutarat berikatan dengan amonium pembentuk asam-asam amino dan asam nukleat yang merupakan monomer pembentuk sel melalui siklus glioksilat. Asam-asam amino kemudian berpolimerisasi membentuk protein. Polimerisasi juga akan membentuk polisakarida, lipida, dan pada akhirnya membentuk sel baru. Selama proses pembentukan sel ini berjalan lancar maka amonium yang digunakan dalam proses jumlahnya semakin banyak, sehingga penyisihan nitrogen yang terukur akan semakin besar.

5.6 Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya

Pada penelitian ini produksi PHA dilakukan dengan menggunakan substrat gliserol dari limbah industri biodisel. Proses dilakukan dalam SBB dengan siklus pendek dan variasi perendaman pelarut antara 1-4 jam. Hasil relatif baik diperoleh pada perendaman 2 jam dengan perolehan PHA sebesar 0,44 g/g sel.

Satoh dkk (1998) melakukan penelitian produksi PHA dengan menggunakan lumpur aktif dan limbah sintetik. Pada penelitian ini pH dikontrol pada rentang 7-8 dengan penambahan NaOH. Kandungan PHA maksimum sebesar 0,62 g/g sel dicapai dengan menggunakan proses mikroaerofilik-aerobik.

Chua dan Yu (1999) juga melakukan penelitian produksi PHA dengan lumpur aktif yang diperoleh dari pengolahan limbah perkotaan. Penelitian dilakukan dalam SBR dengan menggunakan limbah sintesis berupa asam karboksilat dan keton dengan COD rata-rata 2500 mg/L. Pada penelitian ini diperoleh kandungan PHA tertinggi sebesar 0,11 g/g sel dan penurunan jumlah lumpur hingga 39%.

Penelitian Purnama (2001) dilakukan dengan menggunakan lumpur aktif dan limbah sintetik tapioka. Pada penelitian ini kandungan PHA rata-rata tertinggi sebesar 0,15 g/g sel diperoleh pada tempuhan dengan 3 jam waktu aerob dan 6 jam waktu anaerob. Titik leleh PHA yang diperoleh berada pada rentang 124-160°C dan kandungan HV berkisar antara 3-25%.

Sonjaja dkk (2001) juga menggunakan lumpur aktif dan air limbah sintetik tapioka untuk memproduksi PHA. Pengamatan selama siklus dalam SBR pada

penelitian ini menunjukkan nilai pH 4-5. Kandungan PHA rata-rata tertinggi sebesar 0,5 g/g sel diperoleh pada tempuhan dengan periode aerob-anaerob 4-5 jam dan penggunaan siklus pendek. PHA yang diperoleh mempunyai titik leleh pada rentang 126-140°C dengan kandungan HV 13,09-22,48%.

Harimawan dan Wibawa (2002) kembali melakukan penelitian produksi PHA dengan lumpur aktif dan air limbah sintetik tapioka. Pada penelitian ini pH dijaga pada kondisi netral dengan penambahan NaOH. Hasil yang diperoleh menunjukkan kandungan PHA rata-rata tertinggi sebesar 0,403 g/g sel dengan titik leleh berada pada rentang 148-163°C dan kandungan HV berkisar 1,7-3,6%.

Damajanti (2003) mempelajari pengaruh waktu pengumpanan dan siklus pendek terhadap pembentukan PHA dengan lumpur aktif dan substrat air limbah sintetik tapioka. Pada penelitian ini periode aerob-anaerob dilakukan dengan perbandingan 5:4 jam dan pH dijaga netral pada setiap awal siklus. Hasil pengamatan menunjukkan penurunan pH selama siklus hingga nilai 3,62. Kandungan PHA rata-rata tertinggi diperoleh pada tempuhan dengan waktu pengumpanan pendek (2 jam), yaitu sebesar 0,247 g/g sel untuk tempuhan dengan siklus biasa dan 0,226 g/g sel untuk tempuhan dengan siklus pendek. Pengamatan terhadap titik leleh menunjukkan bahwa titik leleh rata-rata pada tempuhan dengan siklus pendek lebih rendah daripada siklus biasa. Titik leleh PHA pada tempuhan dengan siklus pendek berada pada rentang 108-156°C dengan kandungan HV antara 2,30-37,05%.

Pada variasi kondisi siklus yang sama kandungan PHA yang diperoleh dari penelitian ini lebih rendah daripada penelitian sebelumnya yang menggunakan limbah sintetik tapioka. Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan kandungan PHA tertinggi dicapai pada penelitian Satoh dkk. (199^o) yang menggunakan kondisi mikroaerofilik-aerobik. Penggunaan kondisi ini mampu mendorong pertumbuhan mikroorganisme pengakumulasi PHA. Pengamatan titik leleh PHA dalam penelitian ini menunjukkan titik leleh yang lebih rendah daripada hasil penelitian Harimawan dan Wibawa (2002), yang berarti kandungan HV yang diperoleh lebih tinggi. Hasil pengamatan titik leleh dan kandungan HV pada penelitian ini menunjukkan angka yang mendekati hasil penelitian Purnama (2001), Sondjaja dkk (2001), dan Damajanti (2003).

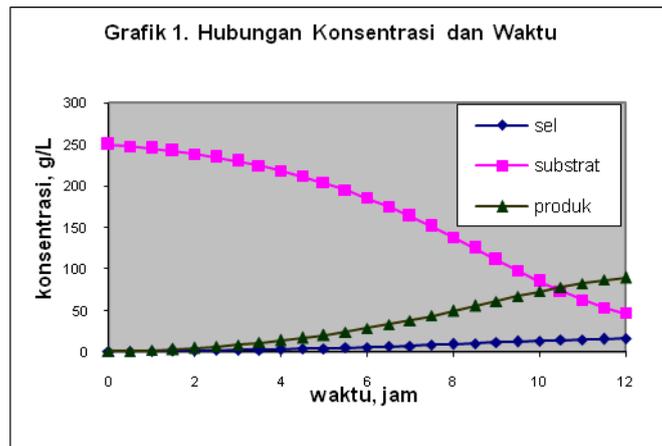
Pengamatan selama operasi dalam SBR pada penelitian Sondjaja (2001) dan Damajanti (2003) menunjukkan penurunan pH hingga mencapai 4-5 meskipun pH awal siklus selalu diatur pada kondisi netral. Pada penelitian Harimawan dan Wibawa

(2002) pH dijaga netral dengan penambahan NaOH, sementara pada penelitian Purnama (2001) diperoleh penurunan pH hingga 1-1,5 tingkat. Dalam penelitian ini juga terjadi penurunan pH selama siklus, tetapi penurunannya tidak tajam sehingga masih berada pada kisaran netral. Diduga dalam air limbah industri tapioka terdapat sistem buffer yang mampu mengontrol perubahan pH selama siklus sementara pada limbah sintetik sistem ini tidak ada karena terbuang bersama air limbah saat proses pembuatan tepung tapioka. Kondisi ini dapat mencegah timbulnya fungsi yang tumbuh dengan baik pada $\text{pH} < 6,5$. Beberapa jenis fungsi terutama dari kelompok Deuteromycota mempunyai kemampuan mendegradasi PHA (Kim dan Rhee, 2003).

5.7 Model matematika

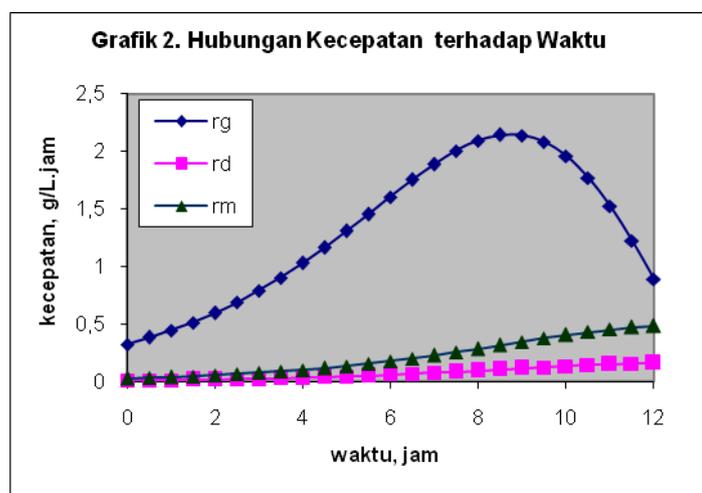
Model matematika disusun berdasarkan tinjauan proses secara simultan. Parameter model matematika ditentukan dengan metode algoritma genetika yang disusun dalam bentuk persamaan diferensial simultan dan diselesaikan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Variabel yang dipelajari adalah bagaimana perubahan konsentrasi sel, substrat dan produk dengan perubahan waktu, yaitu: $C_c = f(t)$, $C_s = f(t)$ dan $C_p = f(t)$.

Metoda Runge Kutta dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial partial, persamaan differensial orde n yang diubah kepersamaan differensial ordiner simultan. Fermentasi yang dilakukan pada SBB akan menghasilkan persamaan differensial ordiner sebanyak 3 buah, sebagai fungsi dari perubahan konsentrasi substrat (C_s), konsentrasi sel (C_c) dan konsentrasi produk (C_p) terhadap waktu (t). Percobaan yang dilakukan dengan menggunakan substrat berupa gliserol, selnya berasal dari lumpur aktif pabrik tekstil agar menghasilkan produk berupa polihidroksialkanoat. Hasil eksekusi dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB tersaji pada Gambar 11 – 13.



Gambar 11. Hubungan konsentrasi substrat terhadap waktu

Data-data pengukuran diperoleh dari hasil percobaan, sedangkan harga Y_{cs} dan Y_{ps} tertentu untuk tiap fermentasi diperoleh dari analisis MLSS dan perolehan PHA. Persamaan differensial diperoleh dari penurunan neraca massa dan substitusi persamaan kecepatan regenerasi/pertumbuhan sel (r_g), kecepatan penurunan/kematian sel (r_d) dan kecepatan konsumsi substrat untuk menjaga aktifitas sel (r_{sm}). Konsentrasi PHA yang dihasilkan dapat menjadi penghambat pertumbuhan sel dan menurunkan kecepatan reaksi bahkan sampai menghentikan reaksi (C_p^*) dikenal sebagai pengaruh *product-inhibition*. Lamanya waktu fermentasi sangat tergantung pada C_p^* (lihat persamaan kobs), dengan n sebesar 0,52 dan $C_p > C_p^*$ akan diperoleh konsentrasi yang imajiner.

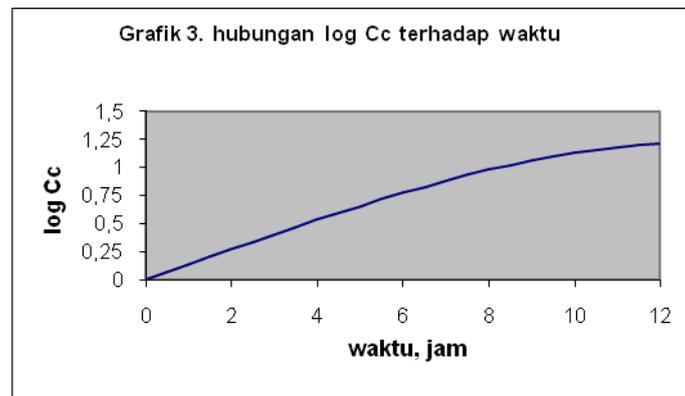


Gambar 12. Distribusi kecepatan reaksi sebagai fungsi waktu

Hasil tela'ah perhitungan numerik dengan metode *Runge Kutta*, diperoleh pertumbuhan sel yang logaritmik (*log growth phase*), adalah fase dimana sel

mempunyai kecepatan pertumbuhan yang maksimal. Kecepatan regenerasi juga meningkat dan mulai menurun setelah 9 jam (Gambar 12). Sehingga bisa ditentukan waktu yang efektif untuk melakukan fermentasi. Substrat yang dikonsumsi oleh sel (rsm) juga meningkat sehingga jumlah substrat menurun tajam dan berubah menjadi produk PHA. Gambar 11 menunjukkan, penurunan konsentrasi substrat dan kenaikan jumlah produk sangat signifikan.

Metoda lain untuk penyelesaian PDB simultan adalah dengan *Runge-Kutta* Gill. Interval kestabilan RK Gill lebih besar yaitu $-2,8 < \Delta t < 0$ sedangkan RK sebesar $-2,0 < \Delta t < 0$. Tetapi Metoda *Runge-Kutta* untuk kasus ini tetap stabil. Hal ini diketahui dengan merubah besarnya interval waktu (Δt) menjadi 0,1 akan diperoleh hasil yang sama. Metode lain adalah *predictor-corrector*, dimana perhitungan suatu titik membutuhkan beberapa titik dimukanya, sedangkan RK hanya membutuhkan satu titik didepannya. *Predictor-corrector* biasanya didahului oleh RK untuk memperoleh beberapa titik dimukanya. Hasil perhitungan umumnya lebih baik dibanding *Runge-Kutta*.



Gambar 13. Perolehan PHA dalam logaritmik sebagai fungsi waktu

Sub-routine yang bisa digunakan untuk penyelesaian persamaan differensial tidak stiff dalam matlab adalah ode23 untuk order rendah dan ode45 untuk order medium. Oleh karenanya, banyak kemungkinan penggunaan metode numerik dan bahasa pemrograman dalam penyelesaian persamaan diferensial. Metode *Runge-Kutta* disini juga baik, terlihat dari hasil iterasi perhitungan numerik yang memiliki kecenderungan yang sama dengan percobaan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil penelitan menunjukkan bahwa pelarut yang baik untuk proses perlakuan ekstraksi PHA adalah metanol, yaitu sebesar 0.3g/L. Hasil relatif baik diperoleh pada perendaman 2 jam dengan perolehan PHA sebesar 0,44 g/L. Model matematika ditentukan dengan metode algoritma genetika yang disusun dalam bentuk persamaan diferensial simultan dan diselesaikan dengan metode Runge Kutta menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Persamaan differensial diperoleh dari penurunan neraca massa dan substitusi persamaan kecepatan regenerasi/pertumbuhan sel (r_g), kecepatan penurunan/kematian sel (r_d) dan kecepatan konsumsi substrat untuk menjaga aktifitas sel (r_{sm}). Konsentrasi PHA yang dihasilkan dapat menjadi penghambat pertumbuhan sel dan menurunkan kecepatan reaksi bahkan sampai menghentikan reaksi (C_p^*) dikenal sebagai pengaruh *product-inhibition*. Kecepatan regenerasi meningkat seiring dengan waktu dan mulai menurun setelah 9 jam.

6.2 Saran

Dapat dipertimbangkan untuk melakukan percobaan kembali dengan menggunakan limbah gliserol yang sebenarnya dari industri biodisel. Aliran udara masuk pada periode aerob sangat berpengaruh terhadap pembentukan PHA, karena diperlukan pengontrolan yang lebih baik selama proses berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Achmad, L.F., Handayani, D., dan Arifan, F., 2008, "Model Regresi Biokonversi Limbah Cair Industri Pangan Menjadi Plastik *Biodegradable (Polihidroksialkanoat)* Dengan Menggunakan Lumpur Aktif", Laporan Fundamental DIKTI
2. American Public Health Association, 1992, *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed., APHA, Washington USA.
3. Arifan, F., Yulianto, M.E., dan Paramita, V., 2005, "Pemanfaatan Limbah Cair Industri Pangan Berbahan Baku Tepung Terigu Sebagai Plastik *Biodegradable*", Laporan Penelitian P&K Jateng.
4. Budihardjo, M.A., Handayani, D., dan Arifan, F., 2009, "Pengembangan *Sequencing Batch Bioreactor* Untuk Produksi Plastik *Biodegradable (Polihidroksialkanoat)* dari Limbah Cair Industri Tapioka", Laporan Hibah Bersaing DP2M.
5. Chua, H., dan P.H.F. Yu, 1999, Production of Biodegradable Plastics from Chemical Wastewater – A Novel Method to Reduce Excess Activated Sludge Generated from Industrial Wastewater Treatment, *Wat. Sci. Tech.*, 39(10-11), hal. 273-280.
6. Chua, H., P.H.F. Yu, dan L.Y. Ho, 1997, Coupling of Wastewater Treatment with Storage Polymer Production, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 63, hal. 627-635.
7. Davis, M.E., 1984, "Numerical Methods and Modeling for Chemical Engineers", John Wiley&Sons, New York.
8. Droste, R.L., 1997, **Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment**, John Wiley & Sons, New York, hal. 547-612.
9. Handayani, D., 2007, "Pemanfaatan Limbah Cair Industri Pangan Berbahan Baku Tepung Terigu Sebagai Plastik *Biodegradable*", Laporan PKM DIKTI.
10. Helmreich, B., D. Schreff, dan P.A. Wilderer, 2000, Full Scale Experiences with Small Sequencing Batch Reactor Plants in Bavaria, *Wat. Sci. Tech.*, 41(1), hal. 89-96.

11. Henze, Mogens, Poul Harremoes, Jes la Cour Jansen, dan Erik Arvin, 1995, **Wastewater Treatment : Biological and Chemical Process**, Springer-Verlag Berlin, Germany, hal. 95-98, 273-283.
12. Horan, N.J., 1991, **Biological Wastewater Treatment Systems : Theory and Operation**, John Wiley & Sons, England, hal. 197, 230-233.
13. Jogdand, S.N., 2000, Welcome to the World of Eco-Friendly Plastics : Bioplastics, *C:\ProgramFiles\TeleportPro\Projects\Bioplastic_India\BP6.htm*
14. Lee, S.Y., 1996, Plastic Bacteria? Progress and Prospects for Polyhydroxyalkanoate Production in Bacteria, *Tibtech*, 14, hal. 431-438.
15. Miller R. and Melick M., 1987, "Modeling Bioreactors", Daniel International Corp., Chemical Engineering.
16. Mino, T., M.C.M. Van Loosdrecht, dan J.J. Heijnen, 1998, Microbiology and Biochemistry of the Enhanced Biological Phosphate Removal Process, *Wat. Res.*, 32(11), hal. 3193-3207.
17. Poirier, Y., C. Nawrath, dan C. Someville, 1995, Production of Polyhydroxyalkanoates, a Family of Biodegradable Plastics and Elastomers, in Bacteria and Plants, *Bio/Technology*, 13, hal. 142-150.
18. Purnama, H., 2001, Kajian Awal Pembentukan Polihidroksialkanoat (PHA) pada Sistem Pengolah Limbah Lumpur Aktif dengan Sequencing Batch Reactor (SBR), *Tesis Magister*, Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.
19. Reynolds, T.D., 1982, "Unit Operations and Environmental Engineering", Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California.
20. Satoh, H., T. Mino, dan T. Matsuo, 1999, PHA Production by Activated Sludge, *Intl. Journal. of Biological Macromolecules*, 25, hal. 105-109.
21. Satoh, H., Y. Iwamoto, T. Mino, dan T. Matsuo, 1998, Activated Sludge as a Possible Source of Biodegradable Plastic, *Wat. Sci. Tech.*, 38(2), hal. 103-109.
22. Sediawan, W.B. dan Prasetya A., 1997, "Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia", Andi Yogyakarta
23. Slejska, A., 1997, Biodegradable Plastics.

24. Water Environment Federation, 1994, **Basic Activated Sludge Process Control**, Alexandria USA, hal. 3-12.
25. Yu, P., H. Chua, A.L. Huang, W. Lo, dan C.Q. Chen, 1998, Conversion of Food Industrial Waste into Bioplastics, *Appl. Biochem. Biotech.*, 70, hal. 603-614.

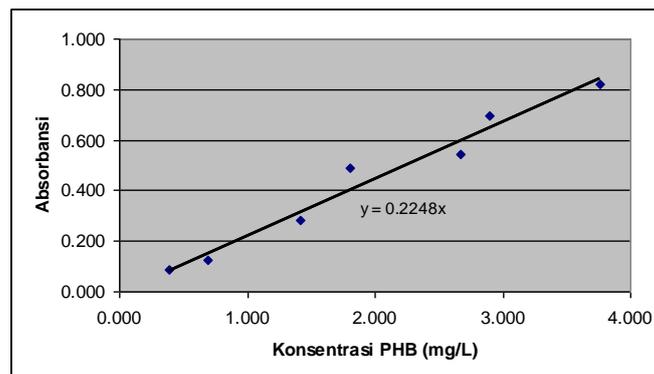
LAMPIRAN

Lampiran A. Kurva Baku PHA

Untuk menghitung kandungan PHA perlu dilakukan pembuatan kurva baku PHA pada berbagai kandungan kopolimer HV, yaitu 0%, 5%, 14%, dan 30%. Kemudian perlu juga dibuat hubungan antara kopolimer HV dengan titik lelehnya dan hubungan antara gradien dengan komposisi kopolimer HV. Dari ketiga hal tersebut dapat dihitung kandungan PH dalam g/g sel.

Tabel A.1 Kurva baku konsentrasi PHB (0% HV) terhadap absorbansi

(PHB) 0% HV,		
No	mg/L	Absorbansi
1	0.386	0.086
2	0.695	0.127
3	1.420	0.280
4	1.806	0.487
5	2.674	0.542
6	2.895	0.695
7	3.760	0.820

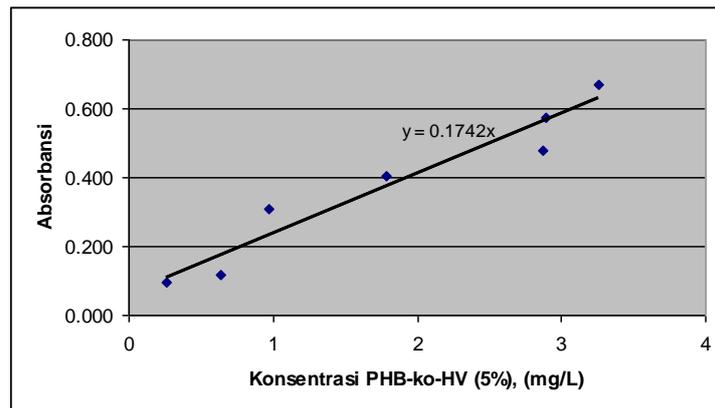


Gambar A.1. Kurva baku konsentrasi PHB 0% HV terhadap absorbansi

Tabel A.2 Kurva baku konsentrasi PHB-ko-HV (5% HV) terhadap absorbansi

(PHB) 5% HV,		
No	mg/L	Absorbansi
1	0.256	0.094
2	0.642	0.117
3	0.974	0.309
4	1.783	0.404
5	2.870	0.480

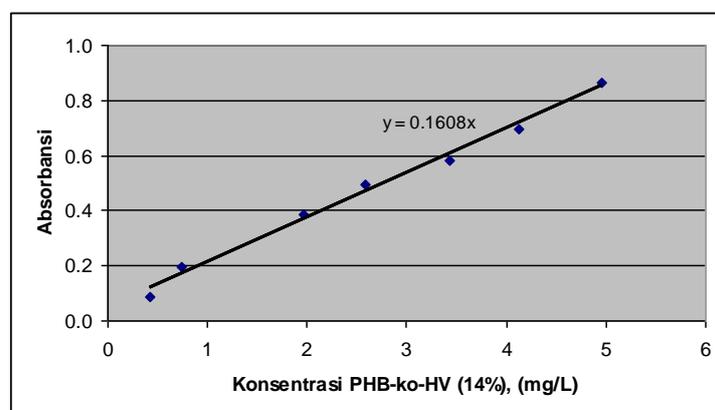
6	2.895	0.573
7	3.256	0.670



Gambar A.2 Kurva baku konsentrasi PHB-ko-HV 5% HV terhadap absorbansi

Tabel A.3 Kurva baku konsentrasi PHB-ko-HV (14% HV) terhadap absorbansi

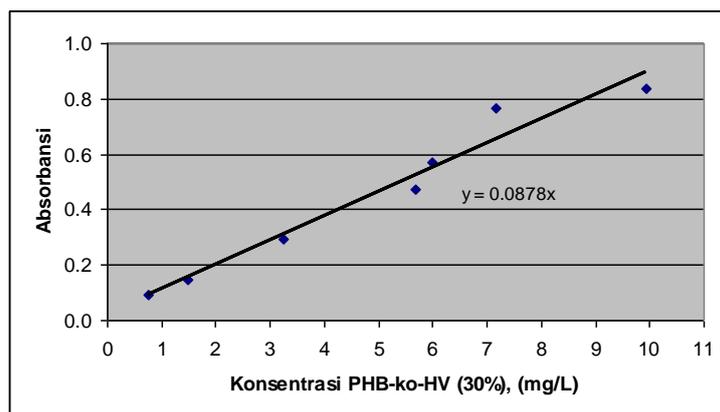
(PHB) 14% HV,		
No	mg/L	Absorbansi
1	0.256	0.094
2	0.642	0.117
3	0.974	0.309
4	1.783	0.404
5	2.87	0.480
6	2.895	0.573
7	3.256	0.670



Gambar A3 Kurva baku konsentrasi PHB-ko-HV 5% HV terhadap absorbansi

Tabel A.4 Kurva baku konsentrasi PHB-ko-HV (14% HV) terhadap absorbansi

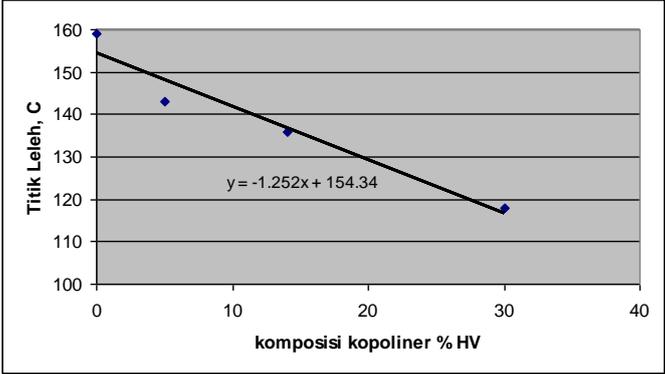
(PHB) 30% HV,		
No	mg/L	Absorbansi
1	0.746	0.092
2	1.497	0.147
3	3.246	0.292
4	5.682	0.475
5	5.983	0.573
6	7.156	0.769
7	9.943	0.838



Gambar A.4 Kurva baku konsentrasi PHB-ko-HV 30% HV terhadap absorbansi

Tabel A.5 Kurva baku konsentrasi kopolimer % HV terhadap titik leleh

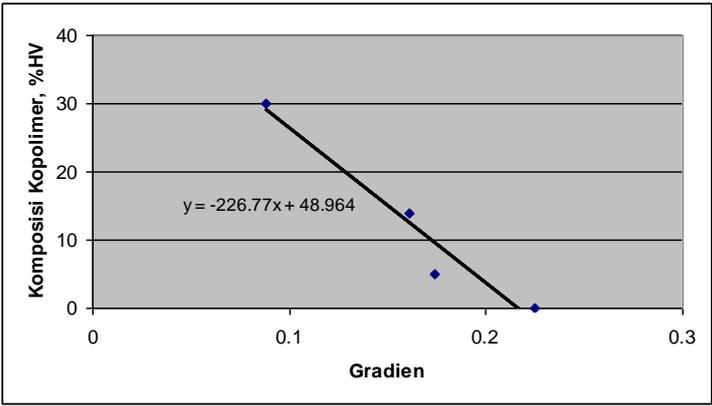
No	% HV	Titik Leleh, °C
1	0	159
2	5	143
3	14	136



Gambar A.5 Kurva baku konsentrasi kopolimer % HV terhadap titik lelehnya

Tabel A.6 Kurva baku gradien terhadap konsentrasi kopolimer

No	Gradien	% HV
1	0.2248	0
2	0.1742	5
3	0.1608	14
4	0.0878	30



Gambar A.6 Kurva baku gradien terhadap konsentrasi kopolimer

Lampiran B. Contoh Perhitungan

B.1 Perhitungan Konsentrasi MLSS

Data pada tempuhan 1, hari ke-23

Volum sampel	=	10 mL
Berat kertas saring setelah dioven (a)	=	540 mg
Berat kertas saring + lumpur setelah dioven (b)	=	634 mg

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{MLSS} &= ((a-b) \cdot 1000) / \text{volum sampel} \\ &= ((634 - 560) \cdot 1000) / 10 \\ &= 7400 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

B.2 Perhitungan Konsentrasi COD

Data pada tempuhan 1, hari ke-23 COD efluen

Pengenceran (P)	=	1 kali
Absorbansi	=	0,124 A

Persamaan kurva kalibrasi :

$$Y = 6281 x - 44,225$$

Dengan : x = absorbansi

$$y = \text{konsentrasi COD, mg/L}$$

Perhitungan : $y = 6281 x - 44,225$

$$X = 734,62 \text{ mg/L}$$

Konsentrasi COD sesungguhnya adalah konsentrasi COD perhitungan dikalikan dengan P.

B.3 Perhitungan Konsentrasi BOD₅

Data tempuhan 6, BOD efluen (pengenceran 10x)

BOD sampel terukur (BOD _x)	=	85 mg/L O ₂
BOD seed terukur (BOD _s)	=	30 mg/L O ₂
Fraksi volum seed (f _s)	=	0,1

Perhitungan :

$$\text{BOD}_s = (\text{BOD}_x - (f_s \cdot \text{BOD}_s)) / (1 - f_s)$$

$$= (85 - (0,1 \cdot 30)) / (1 - 0,1)$$

$$= 91,999 \text{ mg/L (x 10)} = 911,11 \text{ mg/L O}_2$$

B.4 Perhitungan Konsentrasi TKN

Data pada tempuhan 1, hari ke-23 TKN efluen

Volum HCl 0,1 N untuk titrasi = 0.25 ml

Volum sampel dalam digester = 10 ml

Perhitungan :

$$\text{Total N} = (\text{ml HCl} \cdot \text{N HCl} \cdot \text{BE N} \cdot 1000) / \text{volum sampel}$$

$$= (0,25 \cdot 0,1 \cdot 14 \cdot 1000) / 10$$

$$= 26,85 \text{ mg/L}$$

B.5 Perhitungan Konsentrasi PHA

Perhitungan konsentrasi PHA dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

1. Persamaan kurva baku hubungan antara % HV terhadap titik lelehnya (Lampiran 3.5) :

$$y = -1,3812 x + 159,17 \dots\dots\dots (1)$$

dengan y = titik leleh, °C

x = komposisi hidroksivalerat, % HV

2. Persamaan kurva baku hubungan antara gradien terhadap % HV (Lampiran B.6)

$$y = -195,76 x + 47,961 \dots\dots\dots (2)$$

dengan y = komposisi hidroksivalerat, % HV

x = gradien

Data pada tempuhan 1 hari ke-23

Titik leleh = 146°C

Absorbansi = 0,763

Pengenceran = 300 kali

Volum sampel = 1 ml

Dari persamaan (1) diperoleh :

$$146 = -1,252 x + 154,34$$

$$x = 9,535 \%$$

Komposisi hidroksivalerat ini digunakan untuk menghitung gradien

Dari persamaan (2) diperoleh :

$$\begin{aligned} 9,535 &= -195,76 x + 47,961 \\ x &= 0,196 \end{aligned}$$

Gradien ini digunakan untuk menghitung konsentrasi kopolimer dengan komposisi 9,535 % HV.

Untuk mendapatkan konsentrasi kopolimer dengan pengenceran digunakan persamaan :

$$Y = a \cdot X_n \dots\dots\dots (3)$$

- Dengan : Y = absorbansi, A
- a = gradien
- X = konsentrasi kopolimer, mg/L
- n = pengenceran, kali

Jadi konsentrasi kopolimer pada pengenceran 300 kali adalah :

$$\begin{aligned} 0,763 &= (0,196) X_{300} \\ X_{300} &= 3,887 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Dan konsentrasi kopolimer tanpa pengenceran adalah :

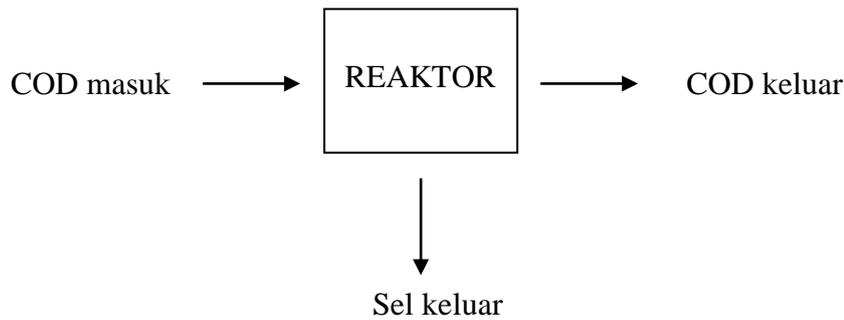
$$\begin{aligned} X &= X_{300} (\text{pengenceran}) / \text{volum sampel} \\ &= (3,887 * 300) / 1 \\ &= 1166,129 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Kandungan PHA diperoleh dengan cara membagi konsentrasi PHA dengan konsentrasi MLSS pada kondisi tersebut.

$$\text{MLSS} = 7400 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi kandungan PHA} &= 1166,129 / 7400 \\ &= 0,1576 \text{ g PHA/g sel} \end{aligned}$$

Lampiran C. Perhitungan Neraca COD



Neraca COD :

$$\text{COD total masuk reaktor} - \text{COD total keluar reaktor} = 0$$

Contoh perhitungan :

Reaktor I

Volume lumpur dalam reaktor = 1,5 liter/hari

Laju pengumpanan = 1 liter/siklus x 2 siklus/hari = 2 liter/hari

COD influen = 10780,367 mg/L

COD efluen = 778,542 mg/L

MLSS = 7800 mg/L

Pengambilan SRT = 75 mL/hari

Jumlah sel out = 75 mL/hari x 7800 mg/L x 1 L/1000 mL = 585 mg/hari

Kandungan PHA = 0,1169 g/g sel = 0,1169 mg/mg sel

Beban COD in = 10780,367 mg/L x 2 L/hari = 21560,734 mg/hari

COD out = 822,542 mg/L x 2 L/hari = 1645,084 mg/hari

COD removal = COD in – COD out = 20003,650 mg/hari = 1469,238 mg/hari
= 20569,332 mg/hari

Menurut Liu (1998), konversi COD dimanfaatkan untuk proses-proses berikut :

- Pembentukan sel (biosintesis), fraksi sebesar 0,4
- Denitrifikasi pada saat kondisi aerobik, settling, dan idling, fraksi sebesar 0,2
- Maintenance, fraksi sebesar 0,05
- Pembentukan PHA, fraksi sebesar 0,05
- Sintesis polifosfat, fraksi sebesar 0,02
- Metabolisme karbohidrat, fraksi sebesar 0,03

◇ Pemanfaatan COD menjadi sel

COD biomassa = 0,4 x 20569,332 = 8227,732 mg COD/hari

- ◇ Pemanfaatan COD untuk denitrifikasi (DN)

$$\text{COD DN} = 0,2 \times 20569,332 = 4113,87 \text{ mg COD/hari}$$

- ◇ Pemanfaatan COD untuk *maintenance*

$$\text{COD m} = 0,05 \times 20569,332 = 1028,467 \text{ mg COD/hari}$$

- ◇ Pemanfaatan COD untuk pembentukan PHA

$$\text{COD PHA} = 0,05 \times 20569,332 = 1028,467 \text{ mg COD/hari}$$

$$\text{Perolehan PHA per hari} = 0,1576 \text{ mg/mg sel} \times 555 \text{ mg sel/hari} = 87,469 \text{ mg PHA/hari}$$

- ◇ Pemanfaatan COD untuk sintesis polifosfat (PS)

$$\text{COD PS} = 0,02 \times 20569,332 = 411,387 \text{ mg COD/hari}$$

- ◇ Pemanfaatan COD untuk metabolisme karbohidrat (CH)

$$\text{COD CH} = 0,03 \times 20569,332 = 617,080 \text{ mg COD/hari}$$

$$\text{COD used} = \text{COD biomassa} + \text{COD DN} + \text{COD m} + \text{COD PHA} + \text{COD PS} + \text{COD CH}$$

$$= 8227,732 + 4113,866 + 1028,467 + 1028,467 + 411,387 + 617,080$$

$$= 16426,999 \text{ mg COD/hari}$$

$$\text{COD lost} = \text{COD removal} - \text{COD used}$$

$$= 20569,332 - 15426,999 = 5142,333$$

- ◇ Perolehan (*Yield*) terhadap COD *removal*

Lampiran D. Data Antara dan Perhitungan

Table D.1 Rekoveri PHA pada berbagai pelarut

Solvent	PHA (g/L)
Water	0,10
Ethanol	0,21
Methanol	0,30

Tabel D.2 Persentase penyisihan TKN untuk setiap tempuhan

Tempuhan	Penyisihan (%)
1	69,87
2	63,74
3	67,19
4	73,04
5	62,74
6	60,19

D.1 Metoda Numerik

Penyelesaian persamaan differensial ordiner jenis *Initial Value Problem* (nilai awal) dengan menggunakan metode Runge-Kutta.

$$\frac{dC_c}{dt} = f_1(C_c, C_s, C_p)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = f_2(C_c, C_s, C_p)$$

$$\frac{dC_p}{dt} = f_3(C_c, C_s, C_p)$$

dengan keadaan batas $t=0$, dan $C_c=C_{c0}$; $C_s=C_{s0}$ dan $C_p=C_{p0}$

Persamaan runge Kutta untuk mencari C_{c+1} , C_{s+1} , C_{p+1} berdasar harga C_{ci} , C_{si} dan C_{pi} . Harga Δt tertentu, makin kecil makin baik.

$$AK1 = f_1(C_{ci}, C_{si}, C_{pi}) \cdot \Delta t$$

$$AL1 = f_2(C_{ci}, C_{si}, C_{pi}) \cdot \Delta t$$

$$AM1 = f_3(C_{ci}, C_{si}, C_{pi}) \cdot \Delta t$$

$$AK2 = f_1(C_{ci} + AK1/2, C_{si} + AL1/2, C_{pi} + AM1/2) \cdot \Delta t$$

$$AL2 = f_2 (C_{ci}+AK1/2, C_{si}+AL1/2, C_{pi}+AM1/2).\Delta t$$

$$AM2 = f_3 (C_{ci}+AK1/2, C_{si}+AL1/2, C_{pi}+AM1/2).\Delta t$$

$$AK3 = f_1 (C_{ci}+AK2/2, C_{si}+AL2/2, C_{pi}+AM2/2).\Delta t$$

$$AL3 = f_2 (C_{ci}+AK2/2, C_{si}+AL2/2, C_{pi}+AM2/2).\Delta t$$

$$AM3 = f_3(C_{ci}+AK2/2, C_{si}+AL2/2, C_{pi}+AM2/2).\Delta t$$

$$AK4 = f_1 (C_{ci}+AK3, C_{si}+AL3, C_{pi}+AM3).\Delta t$$

$$AL4 = f_2 (C_{ci}+AK3, C_{si}+AL3, C_{pi}+AM3).\Delta t$$

$$AM4 = f_3 (C_{ci}+AK3, C_{si}+AL3, C_{pi}+AM3).\Delta t$$

$$C_{ci+1} = C_{ci} + \frac{1}{6}(AK1+2AK2+2AK3+AK4)$$

$$C_{si+1} = C_{si} + \frac{1}{6}(AL1+2AL2+2AL3+AL4)$$

$$C_{pi+1} = C_{pi} + \frac{1}{6}(AM1+2AM2+2AM3+AM4)$$

D.2 Program Matlab

```
% Nama      : Rita D.R; M. Arief B; Deddy K.W
clc
clear all
t0=0; tf=12;
C0=[1 250 0]';
[t,C]=ode23('bioplastik',t0 tf,C0);

function D=bioplastik (t,C)
D=[mmaks*(1-Cp./Cps).^n*(Cs.*Cc./(Ks+Cs))-kd*Cc;
  -(1./Ycs)*mmaks*(1-Cp./Cps).^n*(Cs.*Cc./(Ks+Cs))-m*Cc;
  Ypc*mmaks*(1-Cp./Cps).^n*(Cs.*Cc./(Ks+Cs))]
```

Lampiran E. Foto Kegiatan Laboratorium



Gambar E.1 Foto alat bioreaktor enzimatis



Gambar E.2 Foto bahan-bahan penelitian



Gambar E.3 Foto aklimatisasi



Gambar E.4 Foto analisa MLSS dan PHA



Gambar E.5 Foto produk bioplastik

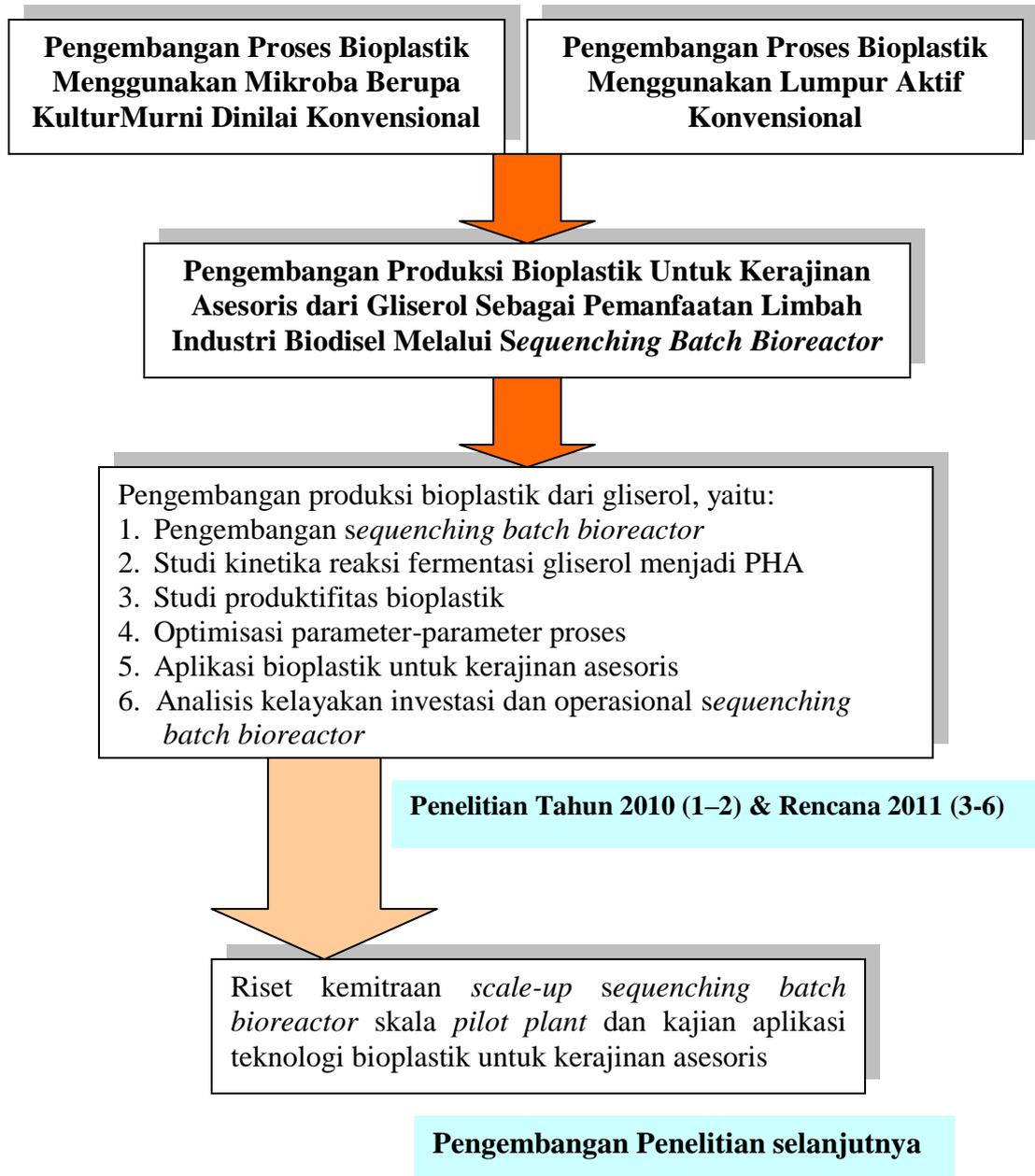


Gambar E.6 Foto produk bioplastik

SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN

ROADMAP

Adapun *roadmap* penelitian yang sudah dilakukan dan direncanakan secara skematis tersaji dalam bentuk bagan sebagai mana Gambar 1.

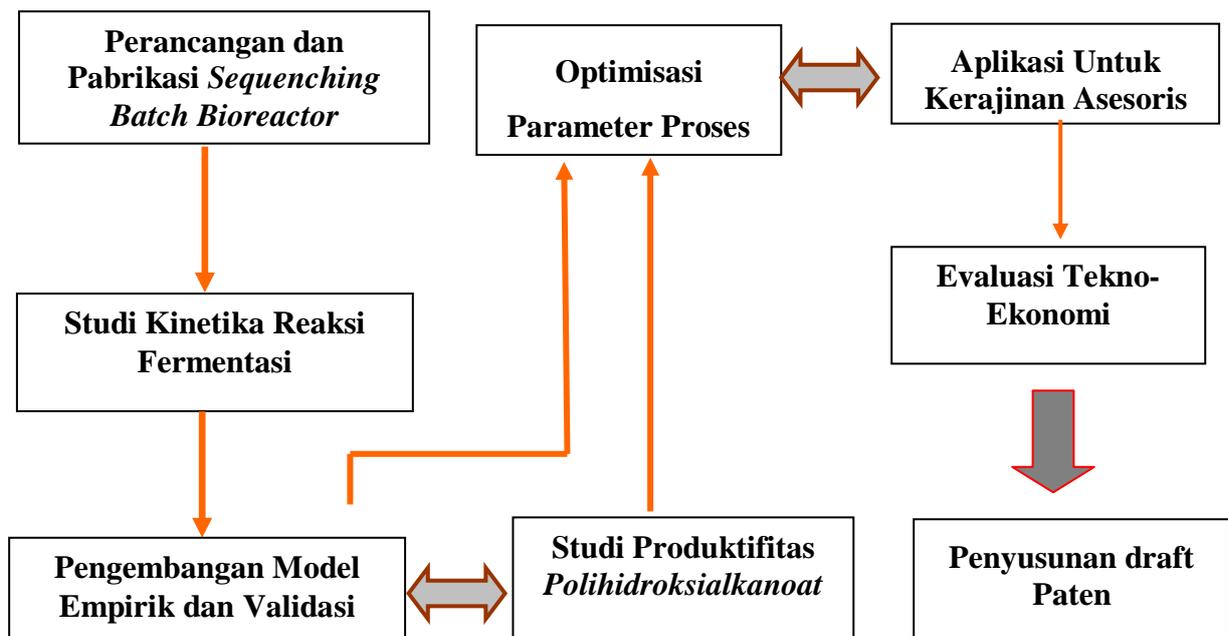


Gambar 1. Diagram Alir Roadmap Penelitian bioplastik dari gliserol

Penelitian tentang pembuatan *polihidroksialkanoat* melalui reaksi fermentasi limbah biodisel berupa gliserol dalam *sequencing batch bioreactor* akan diinvestigasi baik secara eksperimen maupun pemodelan. Secara skematik pelaksanaan tahapan-

tahapan penelitian disajikan pada Gambar 2. Rangkaian penelitian akan dilaksanakan secara bertahap meliputi:

- Perancangan dan pabrikasi *sequencing batch bioreactor*
- Studi kinetika reaksi fermentasi limbah biodisel (gliserol) menjadi *polihidroksialkanoat*
- Telaah model matematis kinetika reaksi fermentasi dengan komputasi proses
- Studi produktifitas *polihidroksialkanoat*
- Optimisasi parameter-parameter proses
- Aplikasi bioplastik untuk kerajinan asesoris
- Evaluasi tekno-ekonomi
- Penyusunan draft paten



Gambar 2. Skematik tahapan-tahapan penelitian

Untuk mendapatkan gambaran metodologi yang runtut dengan hasil/kemajuan yang direncanakan setiap tahunnya, maka penelitian ini dirancang sebagai berikut:

Tahun II

Pada tahun kedua, penelitian akan dilakukan pada skala laboratorium. Kegiatan yang akan dilakukan antara lain:

- Studi produktifitas *polihidroksialkanoat* (PHA)
- Optimisasi parameter-parameter proses
- Aplikasi bioplastik untuk kerajinan asesoris

d. Analisa Tekno-Ekonomi

Studi Produktifitas Polihidroksialkanoat (PHA)

Usaha-usaha yang dapat meningkatkan produktifitas *polihidroksialkanoat* diantaranya penggunaan immobilisasi mikroba (Ates, dkk. 2002), penambahan metanol (El-Holi dan Al-Delaimy, 2002). Adanya metanol akan melemahkan dinding sel dan membran sehingga meningkatkan aliran *polihidroksialkanoat* yang keluar dari sel sekaligus menyebabkan lebih banyak karbon masuk ke dalam sel. Metanol dapat menghambat sintesa protein akibatnya dihasilkan NH_4 eksess, hal ini juga melemahkan dinding sel dan membran.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu (1) tahap pembibitan dan aklimatisasi, dan (2) tahap percobaan utama. Pengamatan pada tahap kedua dibedakan menjadi dua, yaitu pada kondisi transien dan pada kondisi stabil.

Tahap Pembibitan dan Aklimatisasi

Pembibitan bertujuan untuk menyediakan bibit mikroorganisme yang akan dipakai dalam pengolahan limbah. Pada percobaan ini, lumpur yang digunakan berasal dari pengolahan limbah industri tekstil. Setelah mikroorganisme berkembang dan mencapai konsentrasi tertentu, dilakukan aklimatisasi yang bertujuan untuk menjadikan mikroorganisme adaptif dengan lingkungan yang sesuai pada percobaan yang dilakukan, sehingga mikroorganisme dapat berkembang biak dengan baik.

Tahap Percobaan Utama

Lumpur aktif sebanyak 1,5 liter dimasukkan ke dalam reaktor. Kemudian reaktor diisi dengan limbah biodisel berupa gliserol hingga mencapai volum kerja 6 liter. Satu siklus SBB membutuhkan waktu 12 jam. Kondisi-kondisi yang diusahakan tetap adalah temperatur kamar, pH netral (pada awal operasi), dan SRT selama 20 hari. Variabel tetap lainnya adalah waktu pengendapan 6 jam dan waktu dekantasi 1 jam. Rasio waktu aerob : anaerob juga ditetapkan 3 : 6 jam/jam, dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Purnama [2001] rasio ini memberikan hasil PHA terbesar. Kondisi aerob dicapai dengan mengalirkan udara ke dalam reaktor hingga kelarutan oksigen sekitar 2 mg/L. Pada kondisi anaerobik, sistem pengaduk magnet

dijalankan untuk membantu sirkulasi dan mencegah pengendapan, sehingga reaksi masih dapat terus berlangsung.

Pada akhir waktu siklus, sampel diambil dan dianalisis untuk besaran-besaran MLSS, COD, TKN, dan kandungan PHA. Pengamatan ini dilakukan sampai diperoleh kondisi stabil, dimana konsentrasi MLSS dan COD efluen relatif tetap. Setelah kondisi stabil dicapai, dilakukan pengamatan setiap jam selama siklus operasi SBR untuk besaran-besaran pH, MLSS, COD, TKN, dan kandungan PHA. Pada kondisi ini pula dilakukan analisis BOD terhadap konsentrasi umpan dan efluen, dan analisis TVA untuk kondisi aerob dan anaerob pada setiap variasi percobaan.

Penentuan kandungan PHA dilakukan berdasarkan pengamatan titik leleh PHA dan pengukuran absorbansi pada 23 nm. Pengambilan PHA dilakukan dengan memecah dinding sel dan ekstraksi menggunakan larutan kloroform. Larutan ini dibagi dua, yaitu (1) dilarutkan dengan asam sulfat pekat untuk pengukuran absorbansi, dan (2) diendapkan dengan menambahkan larutan metanol dan membiarkannya hingga kering untuk pengukuran titik leleh.

Percobaan utama dilakukan untuk mengamati perbedaan kandungan PHA yang dihasilkan jika waktu pengamatan dan saat dimulainya tahap aerob dan tahap mixing dalam satu siklus divariasikan. Variasi percobaan ini dapat dijelaskan dengan tabel sebagai berikut:

Run 1 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Run 2 :

Proses	Jam ke-

Run 6 :

Proses	Jam ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Filling												
<i>Aerob</i>												
<i>Mixing</i>												
<i>Settling</i>												
<i>Decant</i>												

Rancangan Riset

Riset yang akan dilakukan merupakan riset dengan rancangan eksperimen murni. Percobaan direncanakan dengan menggunakan faktorial design dengan ulangan 2 kali. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis varian menggunakan normal probability plot atau menggunakan program *Matlab*®, untuk mengetahui apakah ada pengaruh variabel bebas terhadap variabel tergantungnya. Untuk mencari kondisi optimumnya digunakan metode *Respon Surface Methodology*. Pengukuran data dilakukan di Laboratorium Rekayasa Pengolahan Limbah Teknik Kimia UNWAHAS Semarang, Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Teknik Lingkungan UNDIP Semarang dan Laboratorium Rekayasa Industri Kreatif PSD III Teknik Kimia UNDIP Semarang.

Experimental Design

Analisa data pada penelitian ini menggunakan sistem eksperimental design yang berarti sekumpulan percobaan (tempuhan) yang dirancang untuk memperoleh data-data konkret untuk membuktikan suatu hipotesa. Pada eksperimental design setiap variabel yang diuji ditentukan pada beberapa harga, biasanya dua harga untuk variabel bebas. Kemudian variabel bebas tersebut dikombinasikan pada semua kemungkinan yang ada. Dari kombinasi variabel bebas tersebut akan didapatkan data-data yang akan digunakan pada pengambilan kesimpulan dengan menggunakan metode statistik.

Eksperimental design adalah salah satu cara yang sering digunakan dibandingkan cara-cara lain yang konvensional, karena mempunyai beberapa kelebihan yaitu:

- Eksperimental design hanya membutuhkan tempuhan yang lebih sedikit untuk mengetahui efek-efek pada semua variabel.
- Kondisi optimum yang didapat lebih tepat karena mengikutsertakan faktor-faktor interaksinya.
- Pengambilan kesimpulan lebih pasti karena didukung metode perhitungan statistika yang mudah dan cukup sederhana.

Eksperimental design mempunyai beberapa cara, antara lain metode faktorial design pada level dua yang dipakai pada penelitian ini.

Faktorial Design Pada Dua Level

Pada faktorial design biasanya seorang peneliti memilih sejumlah level atau variasi tertentu untuk setiap variabel dan melakukan percobaan dengan seksama dengan kemungkinan-kemungkinan kombinasi dari variabel-variabel tersebut. Bila ada I_1 level pada faktor pertama, I_2 level pada faktor kedua, I_k untuk faktor ke n , maka akan dilakukan $I_1 \times I_2 \times \dots \times I_k$ buah.

Seringkali peneliti menggunakan faktorial design pada dua level yang dipakai yaitu level tinggi dan level rendah. Ini mempunyai beberapa alasan, yaitu :

- Perancangan hanya membutuhkan sedikit tempuhan untuk setiap variabel sehingga menghemat biaya dan waktu.
- Meskipun peneliti tidak mencakup rentang yang luas, namun dapat menunjukkan kecenderungan yang nyata sehingga dapat menentukan arah penelitian lebih lanjut.
- Bila dibutuhkan rentang yang lebih luas dapat dilakukan penambahan untuk membentuk rancangan gabungan.
- Faktorial design merupakan dasar dari fraksional faktorial design yang penting untuk penelitian tahap awal yang mencakup banyak faktor.
- Pada perancangan ini dapat dilakukan *building block* untuk menyesuaikan derajat kerumitan rancangan dengan masalah yang dihadapi.
- Interpretasi hasil pengamatan dan rancangan metode ini menggunakan cara yang sederhana yaitu perhitungan aritmatika biasa.

Langkah-langkah percobaan dua level, untuk enam variabel bebas dilakukan dengan faktorial design 2_v^{6-1} yang tersaji pada Tabel 1. Penentuan variabel yang berpengaruh dapat menggunakan normal probability plot, setelah dilakukan

perhitungan main efek dan perhitungan interaksi atau menggunakan program statistik *Matlab*®.

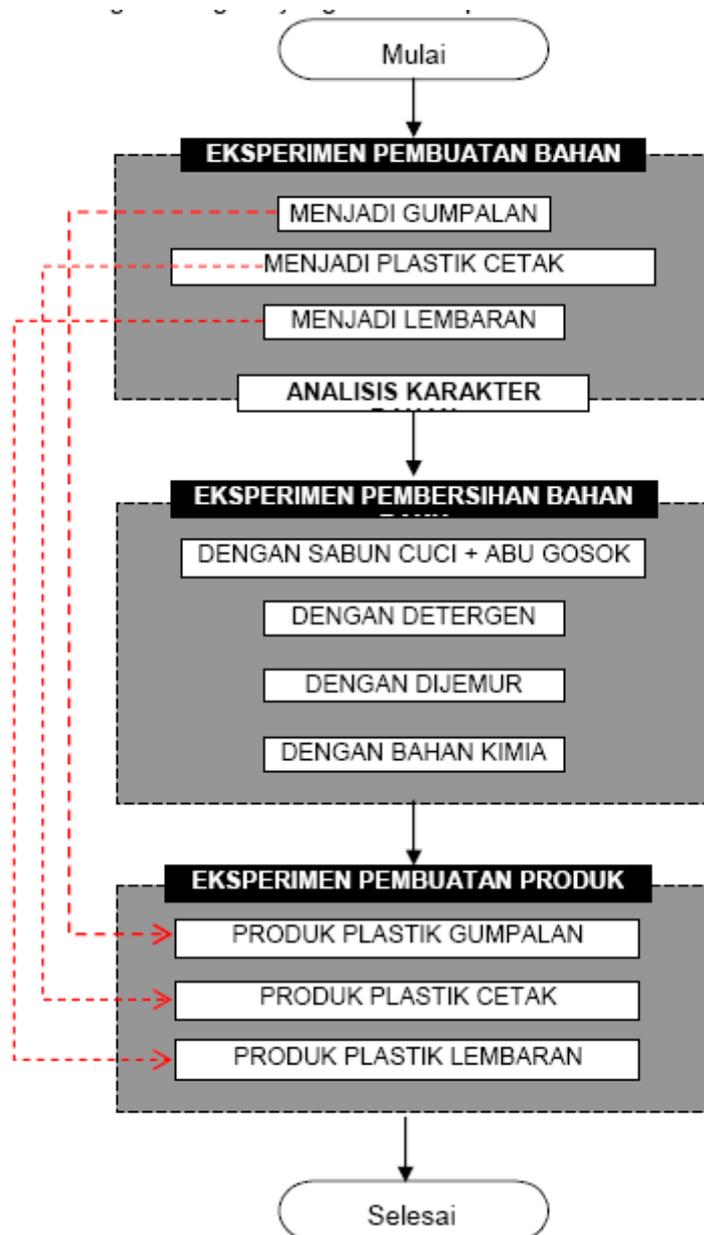
Tabel 1. Percobaan dengan factorial design 2_v^{6-1}

Run	Variabel					Respon r
	1	2	3	4	5	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	-1	1
4	1	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	-1	-1	1
9	-1	-1	-1	1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	-1	1
11	-1	1	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	-1	1
14	1	-1	1	1	-1	-1
15	-1	1	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	-1	1
17	-1	-1	-1	-1	1	-1
18	1	-1	-1	-1	1	1
19	-1	1	-1	-1	1	1
20	1	1	-1	-1	1	-1
21	-1	-1	1	-1	1	1
22	1	-1	1	-1	1	-1
23	-1	1	1	-1	1	-1
24	1	1	1	-1	1	1
25	-1	-1	-1	1	1	-1
26	1	-1	-1	1	1	1
27	-1	1	-1	1	1	1
28	1	1	-1	1	1	-1
29	-1	-1	1	1	1	1
30	1	-1	1	1	1	-1
31	-1	1	1	1	1	-1
32	1	1	1	1	1	1

Aplikasi Bioplastik Untuk Kerajinan Asesoris

Metode aplikasi penelitian yang dilakukan peneliti adalah metode eksperimental. Metode eksperimen ini dibagi dalam 3 langkah (Gambar 3), yaitu

persiapan bahan baku, pembersihan bahan baku dan proses pengolahan bahan baku menjadi produk kerajinan. Eksperimen persiapan bahan baku, mula-mula dilakukan dengan memblending produk bioplastik dengan limbah plastik konvensional yang telah digoreng menjadi gumpalan, dan ditambahkan serbuk kayu serta serbuk plastik bekas digergaji. Hasil dari eksperimen tersebut kemudian dianalisis karakter keunikan, kekuatannya dan rekomendasi desain.



Gambar 3. Pembuatan kerajinan asesoris dari bioplastik

Langkah selanjutnya adalah mencetak plastik. Percobaan yang dilakukan meliputi alat-alat

apa saja yang bisa digunakan untuk mencetak, bagaimana perlakuan terhadap blending bioplastik dengan plastik goreng cetak, misalkan diseset, dibor, digergaji,

dan sebagainya. Peneliti membandingkan karakter paling menarik yang muncul dari berbagai perlakuan tersebut. Berikutnya dilakukan analisis terhadap karakter keunikan, kekuatan dan rekomendasi desain produk yang bisa dihasilkan dari material ini. Berikutnya mencetak lembaran dari blending bioplastik dengan plastik goreng. Pada percobaan ini dilakukan beberapa cara menekan dan diamati efek yang ditimbulkan, mulai dari tekanan keras dan diputar-putar saat menekan, hingga tekanan sedang. Sebagaimana percobaan sebelumnya, pada langkah ini jga dilakukan analisis karakter bahan. Eksperimen pembersihan bahan baku perlu dilakukan, mengingat setelah digoreng, bahan baku ini sangat kotor dan kandungan minyaknya sangat tinggi. Eksperimen pembersihan dilakukan dengan cara biasa yaitu dicuci dengan sabun cuci, abu gosok dan deterjen, dijemur hingga diberi bahan pelarut kimia. Eksperimen terakhir adalah pembuatan produk kerajinan dengan memanfaatkan material plastik gumpalan hasil blending, plastik cetak dan lembaran.

Analisa Tekno-Ekonomi

Analisis efisiensi produksi dan kelayakan usaha meliputi: *payback period* dan *benefit-cost ratio*

Luaran dan Indikator Pencapaian

- (i) Tingkat produktifitas bioplastik yang lebih baik dengan adanya penggunaan immobilisasi mikroba dan penambahan metanol
- (ii) Data-data teknis laboratorium untuk perancangan, scale-up dan pengoperasian proses, meliputi kinetika reaksi, kondisi operasi optimum pada berbagai variabel proses
- (iii) Produk kerajinan asesoris dari bioplastik
- (iv) Analisis efisiensi produksi dan kelayakan usaha meliputi: *payback period* dan *benefit-cost ratio*
- (v) Satu draf usulan paten biasa dan 1 buah publikasi ilmiah dalam jurnal Internasional yang akan disubmit ke Journal Chemical Engineering Science dengan judul tentatif *Production of biodegradable plastics (polyhydroxyalkanoates) from glycerol as the usage of waste of biodiesel industry*, dan 1 buah publikasi ilmiah yang akan disubmit ke jurnal nasional terakreditasi Jurnal Gelegar UMS

G. Biodata Peneliti

G.1 Penanggung Jawab/Ketua Peneliti

Nama Lengkap : Rita Dwi Ratnani, ST., M.Eng.
N P P : 05.01.1.0067
Pangkat/Golongan : Penata Muda/IIIa
Tempat/tgl lahir : Kendal 12 Juni 1975
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Bidang Keahlian : Rekayasa Pengolahan Limbah
Kantor/Unit Kerja : Jurusan Teknik Kimia Fak. Teknik UNWAHAS
Alamat Kantor : Jl. Menoreh Tengah X/22 Sampangan Semarang
Telepon/Fax : (024) 8505680
Alamat Rumah : Salamsari RT.01/03 Kecamatan Boja Kabupaten
Kendal

Kode pos. 51381

Pendidikan:

No	Pendidikan	Ijasah Tahun	Spesialisasi
1.	S1 IST."AKPRIND" Yogyakarta	1999	Teknik Kimia
2.	S2 Universitas Gadjah Mada Yogyakarta	2008	Teknik Kimia

Pengalaman Riset Yang Relevan

No	Judul Riset	Tahun
1.	Kinetika Reaksi Kimia pada Proses Pirolisis Karbon Aktif dari Eceng Gondok dengan Bahan Pengaktif NaCl.	2002
2.	Adisi Formaldehid pada Turunan Fenol dalam Cairan Minyak Kulit Jambu Mete	2003
3.	Ekstraksi Gula Stevia dari Tanaman Stevia Rebaudiana Bertoni	2004
4.	Hidrolisa Enzimatik minyak sawit mentah (CPO) menjadi Asam Lemak	2005
5.	Kajian Awal Pembuatan Minyak Kelapa Dengan Menggunakan Ragi Tape dan Air Nira	2006
6.	Kecepatan Penyerapan Zat Organik Pada Limbah Cair Industri Tahu Dengan Eceng Gondok.	2008

7.	Kecepatan Penyerapan Zat Organik Pada Limbah Cair Industri Tahu Dengan Eceng Gondok, Lumpur Aktif dan Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif.	2008
8.	Studi Pengolahan Limbah Cair Tahu menjadi Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif di Kabupaten Grobogan, BAPPEDA Grobogan.	2010

Publikasi

No.	Judul Riset	Tahun
1.	Proses Pirolisis Karbon Aktif dari Eceng Gondok dengan Bahan Pengaktif NaCl.	2005
2.	Rita Dwi Ratnani, (2005) Ekstraksi Gula Stevia dari Tanaman Stevia Rebaudina Bertoni. Majalah Ilmiah Momentum, ISSN 0216 – 7395. Vol. 1 No 2 Oktober 2005 Majalah Ilmiah dipublikasikan	2005
3.	Rita Dwi Ratnani, Rochmadi, Panut Mulyono (2008). Kecepatan Penyerapan Zat Organic Dalam Limbah Cair Industri Tahu dengan Eceng Gondok, Seminar Nasional	2008
4.	Rita Dwi Ratnani, (2008) Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan Oleh Partikel. Majalah Ilmiah Momentum, ISSN 0216 – 7395. Vol 3 No 2 Oktober 2008 Majalah Ilmiah dipublikasikan	2008
5.	Laeli Kurniasari, I. Hartati., R.D. Ratnani, dan I. Sumantri (2008) Kajian Ekstraksi Assisted Extraction (MAE). Majalah Ilmiah Momentum, ISSN 0216 – 7395. Vol 3 No 2 Oktober 2008 Majalah Ilmiah dipublikasikan	2008
6.	Rita Dwi Ratnani, (2009) Bahaya Bahan Makanan Tambahan Makanan Bagi Kesehatan. Majalah Ilmiah Momentum, ISSN 0216 – 7395. Vol 3 No 2 April 2009 Majalah Ilmiah dipublikasikan	2009

Kegiatan Pengabdian Masyarakat

No.	Kegiatan Pengabdian pada Masyarakat	Bentuk	Tempat/ Instansi	Tanggal
1	2	3	4	5
1	Tim Pembuatan Kincir Angin	Laporan	Kec. Kaliori Kab.Rembang	20 Juli 2002
2	Service Gratis Sepeda Motor Honda	Pelayanan	Universitas Wahid Hasyim	24 Nopember 2005
3	Pelatihan Operator bagi Tenaga Kontrak Sub Dinas Pendidikan Luar	Pelayanan	Universitas Wahid Hasyim	20 Nopember 2005

4	Sekolah Dinas Pendidikan Kota Semarang Tim Pembuatan mesin pembuat tepung ikan dari limbah ikan	Laporan	Muarareja Tegal	29 Oktober 2003
---	--	---------	-----------------	-----------------------

Kegiatan Pendidikan dan Pelatihan

No	Judul Riset	Tempat	Waktu
1.	Pelatihan PSKP	Unika Semarang	3 February S/d 30 April 03
2	Pelatihan Peneliti Tenaga Edukatif	Unwahas	29 Juli s/d 16 Agustus 2002
3	Pelatihan Pekerti	Unwahas	13 – 18 Februari 2006
4.	Pelatihan AA	Unwahas	3-6 September 2007
5.	Pelatihan Sertifikasi Dosen Perguruan Tinggi Swasta	Kopertis Wilayah VI Semarang	5 Maret 2009

Semarang, 11 November 2010

Rita Dwi Ratnani, ST., M.Eng

G.2 Anggota Penelitian I

Nama : Mochammad Arief Budihardjo, ST, M.EngSc

NIP : 132 296 854

Pangkat/Golongan : Penata Muda Tk.1/IIIB
 Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 Tempat tanggal lahir : Semarang, 30-Sep-74
 Alamat Rumah : Jl. Taman Adenia 8 No 8 Graha Padma
 Semarang

Pendidikan

1. S1 Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang
2. S2 Environmental Engineering, Griffith University, Australia

Hasil Penelitian dan Publikasi Karya Ilmiah Terbaru

No	Judul Tulisan	Tahun	Nama Jurnal
1	Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Terhadap Penurunan Kadar Besi Terlarut dalam Air (Studi Kasus IPA IKK Prambanan Klaten) Chandrika Marchliana, Mochamad Arief Budihardjo	2005	Pilar – Volume 14 Nomor 1, April 2005 ISSN 0854-1515
2	Teknologi Pemanfaatan Limbah Cair Elektroplating Khrom Mochamad Arief Budihardjo, Suparmi S. Rahayu, Robby Sukwadi	2005	Pilar, Vol. 14 No. 2 September 2005 ISSN 0854-1515
3	Dasar-dasar Pemodelan dan Pemrograman Nurandani Hardyanti, Mochamad Arief Budihardjo	2006	PS TL FT Undip
4	Pengelolaan Sumber Daya Air Mochamad Arief Budihardjo, Endro Sutrisno	2005	PS TL FT Undip
5	Studi Potensi Pengomposan Sampah Kota sebagai Salah Satu Alternatif Pengelolaan Sampah di TPA dengan Menggunakan Aktivator EM4 (Effective Microorganism) Mochamad Arief Budihardjo	2006	Jurnal Presipitasi Vol. 1 No. 1 September 2006 ISSN 1907-187X
6	Source apportionment of Ambient Air Pollutant in Semarang Area Haryono S. Huboyo, M. Arief Budihardjo	2006	disajikan dalam “Better Air Quality” seminar CAI Net Jogjakarta 13 – 15 Desember 2006
7	Variasi temporal CO, NOx, dan parameter mikrometeorologi di area parkir (studi kasus di Supermarket Yogyakarta) Haryono S. Huboyo, M. Arief Budihardjo	2007	dipublikasi di seminar IATPI 2007 ISSN 0854 - 1957
8	Risk Analysis of Emitted from Motor Vehicles to People Living and Doing Activities in Roadside (Case Study: Jogjakarta’S Main Streets) Mochamad Arief Budihardjo	2007	Jurnal Teknik Vol. 28 No. 1 April 2007 ISSN 0852-1697
9	Study of Bulking Agents Selection for Oil Sludge Bioremediation (Case Study: Oil Sludge Bioremediation in TOTAL E&P INDONESIA.)	2007	Jurnal Teknik Vol. 28 No. 1 April 2007 ISSN 0852-1697

	Syafrudin, Mochamad Arief Budihardjo		
10	Studi Pembentukan Zona Jaringan Pipa Distribusi Air Minum Kota Semarang (Wilayah pelayanan PDAM Semarang Utara) Nasrullah, Mochamad Arief Budihardjo	2007	Jurnal Teknik Vol. 28 No. 1 April 2007 ISSN 0852-1697
11	Risk Analysis of CO Emitted from Motor Vehicles to People Living and Doing Activities in Roadside (Case Study: Jogjakarta's Main Streets) Mochamad Arief Budihardjo	2007	Jurnal Presipitasi Vol. 2 No. 1 April 2007 ISSN 1907-187X
12	Desain Insinerator Pengolahan Persampahan di Tempat Pembuangan Akhir Banyuurip Kabupaten Magelang Mochamad Arief Budihardjo	2007	Hasil penelitian terpublikasi di Perpustakaan Pusat Universitas Diponegoro Semarang
13	Optimasi Sistem Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Kota Semarang dengan Pendekatan Model Dinamis Powersim M. Arief Budihardjo ¹ , Badrus Zaman ²	2007	dipublikasi di seminar IATPI 2007 ISSN 0854 - 1957
14	Pengembangan <i>Sequencing Batch Bioreactor</i> Untuk Produksi Plastik <i>Biodegradable (Polihidroksialkanoat)</i> Dari Limbah Cair Industri Tapioka Mochamad Arief Budihardjo ¹ , Fahmi Arifan ²	2009	Hasil penelitian Hibah Bersaing DP2M terpublikasi di Perpustakaan Pusat Universitas Diponegoro Semarang

Seminar dan Pelatihan

No	Judul Kegiatan	Tahun	Tempat	Penyelenggara	Posisi
1	Pelatihan Solid Waste Management Practice, , 2000	2000	Queensland Australia	Griffith University QLD	Peserta
2	Pelatihan Air Pollution Control Engineering, 2001	2001	Queensland Australia	Griffith University QLD	Peserta
3	Pelatihan Dosen Wali	2003	Semarang	Lembaga Pendidikan Undip	Peserta
4	Workshop Biolog TM Rapid Identification System For Microorganism	2004	Semarang	Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia	Peserta
5	Seminar Nasional "Kajian Pengelolaan Sampah Secara Terintegrasi – Implementasi dan Kesiapan Daerah dalam	2004	Semarang	TL UNDIP, MenLH, BPPT, MenKimpraswil	Panitia

	Pengelolaan Sampah Regional Lintas Kabupaten/Kota”				
6	Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Air Buangan Rumah Tangga dan Industri	2004	Semarang	TL UNDIP	Peserta
7	Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Teknologi Lingkungan	2005	Semarang	TL UNDIP	Peserta
8	Simposium Penerapan Desain, Standar Mutu dan Biosafety Lab Mikrobiologi pada Industri Pangan, Farmasi dan Bioindustri	2004	Semarang	Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia	Peserta
9	Pelatihan Manajemen Ekonomi Lingkungan	2004	Surakarta	PPE UNS	Peserta
10	Pendidikan Komputer MS Windows 2000 Server Administration	2005	Semarang	LPK Wahana	Peserta
11	Pendidikan Komputer MS SQL Server Database Administration	2005	Semarang	LPK Wahana	Peserta
12	Pelatihan Water Quality Modelling & Workshop Qual2E	2005	Surabaya	University of Technology Malaysia (UTM) -ITS	Peserta
13	Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Teknik Lingkungan	2006	Semarang	TL UNDIP	Peserta
14	Pelatihan Sustainable Energy and Environment Management, Oktober 2007	2007	Pattaya, Thailand	Kyoto University- JGSEE- Rajamanggala University	Peserta
15	Seminar Nasional	2009	Solo	UMS	Peserta

Pengabdian pada Masyarakat

No	Judul Kegiatan	Tahun	Tempat	Penyelenggara	Posisi
1	Pembuatan Bron Captering di Dusun Thekelan Desa Batur Kecamatan Getasan Kabupaten Daerah Tingkat II Semarang	2001	Desa Batur Kec. Getas Kab. Daerah Tingkat II Semarang	TL UNDIP	Anggota
2	Penambahan Jaringan Tersier Pipa Diameter 1 Inch di Dusun Tekelan Desa Batur Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang	2003	Desa Batur Kec. Getas Kab. Daerah Tingkat II Semarang	TL UNDIP	Anggota

3	Pembiakan Bakteri EM4 Dengan Media Kotoran Sapi di Dusun Tekelan Desa Batur Kec.Getasan Kab. Semarang	2005	Desa Batur Kec. Getas Kab. Daerah Tingkat II Semarang	TL UNDIP	Anggota
4	Pembibitan untuk Persiapan Penghijauan Dusun Tekelan Desa Batur Kec.Getasan Kab. Semarang	2006	Semarang	TL UNDIP	Anggota
5	Sosialisasi Pengelolaan Sampah Terpadu Kota Magelang	2006	Magelang	TL UNDIP	Anggota
6	Sosialisasi Pengelolaan Sampah Kereta Api (Environmental Education on The Rail)	2006	KA Jurusan Semarang-Solo, Semarang-Tegal	TL UNDIP dan PT KAI	Anggota
7	Sosialisasi dan Analisa Komposisi Sampah Rumah Tangga Kota Purwokerto	2006	Purwokerto	TL UNDIP	Anggota

Semarang, 11 November 2010

Mochamad Arief B, ST, MEng.Sc

G.3 Anggota Penelitian II

Nama : Ir. Deddy Kurniawan Wikanta, MM

Tempat, tanggal lahir : Semarang/ 22 April 1952

Pangkat/golongan : Penata /III c

NIP : 130 936 139

Jabatan sekarang : Lektor

Bidang Keahlian : Rekayasa Industri Kreatif

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro

Alamat : Jl. Petelan Tengah No. 863 Semarang

Telepon : 024 3544288

Jenis Kelamin : Laki – laki

Status Pernikahan : Sudah nikah

PENDIDIKAN FORMAL

No	Perguruan Tinggi	Kota & Negara	Tahun Lulus	Bidang Studi
1.	Universitas Diponegoro	Semarang/Indonesia	1978	Teknik Kimia
2.	Universitas Diponegoro	Semarang/Indonesia	1998	Manajemen

PENGALAMAN PENELITIAN YANG RELEVAN

No.	Judul Riset	Tahun
1.	Hidrolisa CPO Menjadi Asam Lemak Secara Enzimatik	2003
2.	Pembuatan Etil Ester Dari Minyak Sawit Dengan Katalis NaOH	2004
3.	Kinetika Reaksi Eugenol Minyak Cengkeh Menjadi Isoeugenol	2005
4.	Kinetika Reaksi Metanolisis Minyak Jarak Pagar Menjadi Biodiesel Secara Enzimatis	2006
5.	Analisa Pengaruh kebisingan, Pencahayaan dan Shift Kerja Terhadap Tingkat Kesalahan Periksa Kualitas Hasil Galvanisasi Seng	2007
6.	Analisis Pengukuran Keandalan Manusia Pada Aktivitas Pemeriksaan Warna (Studi Kasus Di Pt. Polysindo Eka Perkasa)	2008

PUBLIKASI ILMIAH

1. Mohamad Endy Yulianto dan **Deddy Kurniawan W**, 2004, "Koefisien Perpindahan Massa Pada Ekstraksi Asam Lemak Bebas Dari Minyak Nabati Dalam Tangki Berpengaduk", Prosiding Seminar nasional Teknik Kimia "Kejuangan" UPN Yogyakarta, 27 – 28 Januari 2004, ISSN : 1693-4393, halaman B12-1 – B12-6.
2. **Deddy Kurniawan W** dan Munawar, 2005, "Kajian Pengolahan Isoeugenol Dengan Isomerisasi Minyak Cengkeh", Jurnal Gema Teknologi, Volume 14 Nomor 2, Maret 2005 ISSN : 0852-0232.
3. **Deddy Kurniawan W** dan Munawar, 2005, "Pembuatan Etil Ester Dari Minyak Sawit Dengan Katalis NaOH", Jurnal Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi, Volume 7 Nomor 1, Juni 2005, ISSN : 0410-9840.
4. Diyono Ikhsan, M. Endy Y, **Deddy Kurniawan W**, Fahmi Arifan, "Rancang Bangun Reaktor Enzimatis untuk Memproduksi Biodisel dari Minyak Goreng Bekas", PROSIDING P&K Jateng, tanggal 5-8 September 2006, hal. 193 – 201, ISBN : 979-3514-0-7.
5. **Deddy Kurniawan W**, Ratna Purwaningsih, Erwin Ardiansyah, 2006. Analisis Jaringan Kerja Dan Penentuan Jalur Kritis Dengan Critical Path Methode – CPM (Studi Kasus Pembangunan Rumah Graha Taman Pelangi Type Milano Pada PT Karyadeka Alam Lestari Semarang),_Jurnal J@TI Edisi Januari 2006, Universitas Diponegoro.
6. Ratna Purwaningsih, **Deddy Kurniawan W**, Daryanti, 2008, Analisa Pengaruh kebisingan, Pencahayaan dan Shift Kerja Terhadap Tingkat Kesalahan Periksa Kualitas Hasil Galvanisasi Seng, Proceeding Seminar Nasional Manufaktur II 2008. Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang.

Semarang, 11 November 2010

Ir. Deddy Kurniawan W, MM