

PROSIDING

ISSN :2087-7471

SEMINAR NASIONAL ENERGI 2010

Jatinangor, 3 November 2010

Pengembangan
Energi Baru dan Terbarukan
yang Ramah Lingkungan

PENGEMBANGAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN YANG RAMAH LINGKUNGAN

Diselenggarakan Oleh:

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PADJADJARAN



SNE



Prosiding

Seminar Nasional Energi 2010

Jatinangor, 3 November 2010

**“Pengembangan
Energi Baru dan Terbarukan
yang Ramah Lingkungan”**

Editor:

Fitriawati

Marlan

Camellia Panatarani

Yudi Rosandi

Darmawan Hidayat

Diselenggarakan Oleh

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Padjadjaran

KATA PENGANTAR

Energi merupakan hal yang sangat penting bagi Indonesia karena penggunaan energi semakin lama semakin besar dan di lain pihak ketersediaan energi konvensional dari bahan bakar fosil semakin terbatas. Mengingat terbatasnya sumber bahan bakar fosil tersebut, maka perlu dicari sumber energi lain terutama energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan.

Perguruan tinggi, Pemerintah dan Industri diharapkan dapat bermitra dan berkontribusi untuk pengembangan energi baru dan terbarukan. Seminar Energi Nasional (SNE) yang diselenggarakan oleh Jurusan Fisika FMIPA Unpad merupakan pertemuan ilmiah untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan. Melalui pertemuan tersebut diharapkan dapat didiseminasikan berbagai penemuan dan hasil penelitian, yang kemudian didiskusikan dalam forum kemitraan seajar (*peer*) sehingga diharapkan dapat mempercepat pencapaian produk penelitian dan penyabaran informasi dalam pengembangan energi baru dan terbarukan.

Pada seminar tersebut dihadirkan tiga pembicara utama, yaitu Drs. Suharna Surapranata, MT (Menteri Negara Riset dan Teknologi), Dr. Kusmayanto Kadiman (PT. Adaro Energi Tbk), dan Prof. Rustam E. Siregar (Unpad). Ketiga pembicara yang masing-masing berasal dari kalangan Pemerintah, Industri dan Perguruan Tinggi memberikan pandangannya dalam pengembangan energi baru dan terbarukan. Selanjutnya, dalam seminar telah dipresentasikan 72 hasil penelitian yang meliputi empat kelompok yaitu Teori, Simulasi dan Model (TSM), Material (MT), Energi Baru dan Terbarukan (EBT), dan Eksplorasi dan Pengukuran (EP). Beberapa bidang energi baru dan terbarukan yang dipresentasikan meliputi energi surya, panas bumi, energi bayu, sel bahan bakar, bioenergi, energi nuklir, mikrohidro, dan energi arus laut.

Pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat menjadi ajang komunikasi ilmiah untuk saling tukar pikiran dan pengalaman sehingga menghasilkan rencana penelitian lanjutan yang lebih inovatif, berkualitas, berkelanjutan dan tepat sasaran. Berikutnya, penelitian-penelitian itu diharapkan dapat menyumbang secara positif terhadap pembangunan bangsa Indonesia. Pertemuan dalam bidang energi baru dan terbarukan ini akan menjadi agenda ilmiah rutin Jurusan Fisika Unpad yang akan diadakan setiap 2 tahun.

Prosiding ini memuat 45 makalah yang meliputi 11 makalah dalam bidang TSM, 10 makalah dalam bidang MT, 13 makalah dalam bidang EBT, dan 11 makalah dalam bidang EP. Dari makalah yang telah diseleksi, ada 6 makalah yang terpilih untuk dipublikasikan dalam jurnal terakreditasi Bionatura tahun 2011. Makalah-makalah tersebut tidak disertakan dalam prosiding ini, berkaitan dengan persyaratan administrasi dari jurnal yang bersangkutan. Selain itu, ada 12 makalah dari prosiding ini yang terpilih untuk diterbitkan dalam Jurnal Material dan Energi (JMEI) volume pertama tahun 2011.

Selanjutnya, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses persiapan terbitnya prosiding ini. Semoga makalah-makalah dalam prosiding ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan.

SUSUNAN PANITIA

PANITIA PENGARAH

Prof. Dr. Rustam E. Siregar (Unpad)
Dr.rer.nat. Ayi Bahtiar (Unpad)
Dr. Anhar Riza Antariksawan (BATAN)
Dr. Agus Rusyana Hoetman (BPPT)
Ahmad Taufik, Ph.D (AT. Engineering Consulting)

PANITIA PELAKSANA

Penanggung Jawab : Dekan FMIPA Unpad
Dr. Wawan Hermawan

PENGARAH KEGIATAN

Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unpad
Dr.rer.nat. Ayi Bahtiar

KETUA PANITIA : Dr. Asep Harja
WAKIL KETUA PANITIA : Dr. Togar Saragi

SEKRETARIS

Kusnahadi Susanto, MT

BENDAHARA

Tuti Aryati, Dra., MS
Dessy Novita, MT

SEKSI MAKALAH

Dr. Fitrilawati
Dr. Camellia Panatarani
Dr. Marlan
Dr. Yudi Rosandi
Dr. Darmawan Hidayat

SEKSI ACARA

Dr. Irwan Ary Dharmawan

SEKSI PERLENGKAPAN :

Norman Sjakir, M.Sc

KONSUMSI :

Tuti Susilawati, Dra., MS
Sri Suryaningsih, Dra.

KATA SAMBUTAN KETUA PANITIA SNE 2010

Bismillahirrohmanirrohim,

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas terlaksananya kegiatan Seminar Nasional Energi 2010 yang bertemakan "Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan yang Ramah Lingkungan" serta diterbitkannya prosiding ini. Tema ini dipilih berdasarkan kenyataan semakin besarnya kebutuhan energi dalam dekade terakhir ini. Saat ini diperlukan pengembangan sumber energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan untuk mengkonversi penggunaan sumber energi yang berasal dari fosil yang masih dominan dipakai. Kegiatan seminar ini akan dijadikan agenda ilmiah rutin setiap dua tahun di Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran.

Saya atas nama seluruh Panitia mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memfasilitasi kegiatan ini diantaranya, Rektor Universitas Padjadjaran Prof. Ganjar Kurnia, Dekan Fakultas MIPA Dr. Wawan Hermawan, Ketua Jurusan Fisika Dr. rer.nat. Ayi Bahtiar, Ketua Pusat Pengembangan Basic Science Universitas Padjadjaran Prof. Wawang Suratno. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Pembicara Kunci Bapak Menteri Riset dan Teknologi Drs. Suharna Surapranata, M.T., yang diwakili oleh Dr. Agus Rusyana Hoetman, Pembicara undangan Dr. Kusmayanto Kadiman dan Prof. Rustam E. Siregar yang telah memberikan materi pada seminar ini.

Kami mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan kepada para peneliti dari kalangan akademisi baik dosen maupun mahasiswa, lembaga penelitian, dan industri atas kontribusinya berupa pengiriman makalah-makalah hasil penelitian untuk dipresentasikan dalam pertemuan ilmiah ini. Jumlah abstrak yang kami terima ada 79 buah yang meliputi kajian teoritis, eksperimen, hasil eksplorasi dan review hasil penelitian. Karena terbatasnya waktu seminar, kami membagi presentasi dalam bentuk oral sebanyak 36 and presentasi poster sebanyak 36, walau demikian kami tidak membedakan antara keduanya dalam prosiding yang kami terbitkan.

Kepada seluruh peserta baik pemakalah, pendengar dan undangan, atas nama seluruh Panitia saya mengucapkan terima kasih atas partisipasinya. Semoga pertemuan ilmiah ini dapat memberi manfaat dan wawasan untuk pengembangan energi dan memberikan solusi terhadap permasalahan energi di negara kita. Selain itu, kami berharap semoga Ibu dan Bapak mendapatkan kesan baik selama mengikuti kegiatan seminar ini. Kami terbuka atas kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan penyelenggaraan seminar nasional energi yang akan diadakan pada dua tahun mendatang.

Akhirnya, kami mengucapkan mohon maaf apabila ada ketidaknyamanan dan hal-hal yang tidak berkenan selama mengikuti seminar ini. Terima kasih.

Ketua Panitia SNE 2010

Dr. Asep Harja

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Susunan Panitia	ii
Kata Sambutan Ketua Panitia SNE 2010	iii
Daftar Isi	iv
Makalah Kelompok Teori, Simulasi dan Modeling (TSM)	
STUDI EFEK STATIK PADA DATA MAGNETOTELLURIK (MT) MENGUNAKAN PEMODELAN INVERSI 2-D	
<i>Hendra Grandis</i>	1
SEBUAH WACANA EKSPLORASI ENERGI ALTERNATIF DARI PROSES KONDENSASI HIDROMETEOR DI ATMOSFER	
<i>Arief Suryantoro</i>	8
ESTIMASI DISTRIBUSI TEMPERATUR, ENTALPI DAN TEKANAN DALAM RESERVOIR PANAS BUMI	
<i>Alamta Singarimbun dan Robi Irsamukhti</i>	14
PENENTUAN DAYA ANGKUT UNTUK ALIRAN DUA-FASE PADAT-GAS PADA KONVEYOR PNEUMATIK	
<i>Yandi Esye, Yefri Chan, Aep Saepul Uyun dan Kamaruddin Abdullah</i>	21
FENOMENA DAN PEMODELAN ALIRAN GAS DALAM MEDIUM BERPORI	
<i>Alamta Singarimbun</i>	27
KAJIAN PERANCANGAN COUPLING CODE PERHITUNGAN NETRONIK DAN TERMALHIDROLIK UNTUK SIMULASI DAN ANALISIS PADA REAKTOR TIPE PRESSURIZED WATER REACTOR	
<i>D. Andiwijayakusuma</i>	31
PENGEMBANGAN SISTEM KLUSTER MCNP5 BERBASIS WEB UNTUK MENDUKUNG SIMULASI PERHITUNGAN DISTRIBUSI FLUKS PADA REAKTOR PWR	
<i>M. Susmikanti, D. Andiwijayakusuma, A. A. Waskita</i>	36
SIMULASI ANALISIS KESELAMATAN REAKTOR MELALUI PENDEKATAN MODEL DETERMINISTIK 2D PADA KECELAKAAN JENIS ULOF	
<i>Ade Gafar Abdullah1, Zaki Su'ud</i>	42
PEMROSESAN DATA MAGNETO TELURIK DENGAN MEMPERHATIKAN KOHERENSI DATA	
<i>Muhamad Qomarudin</i>	48
INTERPRETASI DATA MAGNETO TELURIK SECARA KUALITATIF DENGAN MEMBUAT PENAMPANG SEMU	
<i>Muhamad Qomarudin</i>	52
PENGUKURAN MAGNETO TELURIK UNTUK Mencari MINYAK DI DAERAH PERBUKITAN	
<i>Muhamad Qomarudin</i>	55

Makalah Kelompok Material (MT)

SEL-SURYA POLIMER: STATE OF ART DAN PROGRES PENELITIANNYA DI UNIVERSITAS PADJADJARAN <i>Ayi Bahtiar, Annisa Aprilia dan Fitriawati</i>	59
PENGARUH CARBON BLACK TERHADAP SIFAT FISIK PELAT BIPOLAR KARBON KOMPOSIT POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC) <i>Y.Sadeli, J. W. Sudarsono, B.Prihandoko, S.Harjanto dan D. Febriyani</i>	65
PENGUJIAN KUALITAS ELEKTRODA BATERAI BERBAHAN DASAR POLIANILIN DENGAN SPEKTROSKOPI INFRA MERAH <i>Sahrul Hidayat</i>	70
METODA ELEKTROFORESIS TANPA PENAMBAHAN GARAM UNTUK PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TIO₂ BERKETEBALAN MIKROMETER <i>Ratno Nuryadi, Lia Aprilia dan Zico Alala Akbar Junior</i>	75
SIMULASI PERTUMBUHAN LAPISAN TIPIS TIO₂ DENGAN METODA ELEKTROFORESIS <i>Ratno Nuryadi</i>	79
KAPASITAN SPESIFIK ELEKTRODA KARBON SUPERKAPASITOR TANPA PEREKAT DARI PRA-KARBONISASI SERBUK GERGAJI KAYU KARET <i>Erman Taer, Mohamad Deraman, Ibrahim Abu Talib, Awitdrus, Rakhmawati Farna, Sofia Anita</i>	84
SINTESIS POLIMER HIBRID P3HT:TIO₂ DAN APLIKASINYA SEBAGAI BAHAN AKTIF SEL SURYA <i>Yayah Yuliah, Lusi Satriani, Annisa Aprilia</i>	89
PEMBUATAN BAHAN LUMINESEN BERBASISKAN POLIMER HIBRID DENGAN DOPAN RGB ORGANIK UNTUK APLIKASI LAMPU FLOUROSEN PADAT <i>F. Fitriawati, Indra Masruri, N. Syakir, P. Pitriana, R. Hidayat</i>	95
PENGARUH KONSENTRASI EU₃₊ TERHADAP SIFAT LUMINISENSI NANOPARTIKEL Y₂O₃ YANG DISINTESIS MELALUI METODE LARUTAN SEDERHANA <i>C. Panatarani, D. Anggoro, F. Faizal dan B. M. Wibawa</i>	100
PROTOTYPE LAMPU FLOURESEN PADAT BERBASIS POLIMER HIBRID DAN KARAKTERISASINYA <i>Norman Syakir, Fitriawati, Indra Masruri dan Rahmat Hidayat</i>	103

Makalah Kelompok Energi Baru dan Terbarukan (EBT)

PENGEMBANGAN TURBIN ANGIN DI INDONESIA : DESAIN, MATERIAL, DAN PROSES PRODUKSI BILAH TURBIN ANGIN <i>Indra H. Nugroho, Hermawan Judawisastra, M. Giri Suada, dan Mardjono Siswosuwarno</i>	107
PERANCANGAN TURBIN ANGIN MODEL SAVONIUS UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DI WILAYAH PESISIR PANTAI <i>Bilalodin</i>	114

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA HIBRIDA UNTUK LISTRIK PEDESAAN DI INDONESIA: STUDI KASUS DI DAERAH WINI-NTT <i>O.A. Rosyid</i>	118
UPAYA PRODUKSI BIODIESEL-100 DARI BERBAGAI MINYAK NABATI DENGAN OKSIDASI OZON DAN IRADIASI ULTRASONIK <i>Wawang Suratno</i>	123
OPTIMASI PROSES BIOGAS PADA LIMBAH JARAK PAGAR (<i>Jatropha curcas L.</i>) <i>Salafudin, R. Hendroko, R. Marwan</i>	128
PENYEMPURNAAN DIGESTER BIO-METANA BERBASIS BIOMASSA JARAK PAGAR (<i>Jatropha curcas L.</i>) SEBAGAI BIO-ENERGI DI PEDESAAN <i>Praptiningsih G.A., R. Hendroko, dan T. Liwang</i>	132
POTENSI BIOFUEL NYAMPLUNG (<i>Calophyllum inophyllum L.</i>) DALAM PENGEMBANGAN WILAYAH DI KECAMATAN NUSAWUNGU – CILACAP <i>Ken Matina, Yendi Esye dan Roy Hendroko</i>	139
HEAT BALANCE DAN EFISIENSI SWIRL GAS BURNER BERBAHAN BAKAR GAS HASIL GASIFIKASI BIOMASSA <i>Adi Surjosatyo</i>	142
PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM PENJEJAK MATAHARI UNTUK MENGOPTIMALKAN PENYERAPAN ENERGI SURYA PADA SOLAR CELL <i>Asep Najmurokhman dan Muhammad Fajrin</i>	145
STUDI PEMANFAATAN ENERGI MATAHARI SEBAGAI PEMANAS AIR <i>Amalia, Dian S, Karina A, Priyo H dan Satwiko S</i>	150
FERMENTASI BIOETANOL DARI TEPUNG EMPULUR BATANG SAGU (<i>Metroxylon sagu Rottb.</i>) MENGGUNAKAN KULTUR CAMPURAN <i>Pichia stipitis CBS 5773, Saccharomyces cerevisiae D1/P3GI</i> DAN <i>Zymomonas mobilis FNCC 0056</i> <i>Ratu Safitri, Ria Khoirunnisa Apriyani, Pipit Peristiwa, Bambang Marwoto, Jetty Nurhayati</i>	153
JARAK PAGAR SEBAGAI TANAMAN ENERGI ALTERNATIF DI INDONESIA <i>Asep Permadi Gumelar, Entun Santosa</i>	160
PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU YANG IDEAL <i>Deni Almanda</i>	165
Makalah Kelompok Eksplorasi dan Pengukuran (EP)	
METODE ELEKTROMAGNETIK (EM) UNTUK MENGURANGI RESIKO DRY HOLE PADA EKSPLOKASI HIDROKARBON <i>Hendra Grandis</i>	169
PERAN DAN MANFAAT GEOKIMIA GAS DALAM MENGUNGKAP POTENSI PANAS BUMI <i>Lano Adhitya P., Jodhi Pramuji G., dan Wiku W.</i>	174

PROFIL VERTIKAL KADAR AIR CAIR DAN PADAT DALAM AWAN DAN HUJAN DALAM KAITANNYA DENGAN EKSPLORASI ENERGI ALTERNATIF KONDENSASI HIDROMETEOR <i>Arief Suryantoro</i>	177
PENDUGAAN STRUKTUR RESISTIVITAS DAN KORELASINYA DENGAN LITOLOGI DI DAERAH PROSPEK GEOTERMAL KAMOJANG BERDASARKAN HASIL INVERSI 1-D DATA CSAMT <i>Sakuntala Dewi, Tommy Hendriansyah, Asep Harja</i>	185
STUDI AWAL TERHADAP ESTIMASI POTENSI ENERGI PANAS BUMI DI PENTADIO RESORT GORONTALO <i>Raghel Yunginger, L.O. Ngkolmani dan Tisen</i>	191
OPTIMASI SISTEM PENDINGIN SURYA PASIF <i>IBP Gunadnya, Y.Aris Purwanto, Amansyah, HT, MAM Oktaufik dan Kamaruddin Abdullah</i>	194
PROSPEK ENERGI ARUS LAUT SEBAGAI SUMBER TENAGA LISTRIK DI SELAT-SELAT PERAIRAN NUSATENGARA, INDONESIA <i>Ai Yuningsih, Evie H. Sudjono, Beben Rachmat dan Subaktian Lubis</i>	201
PENINGKATAN DAYA KELUARAN PADA MODUL SURYA <i>Satwiko Sidopekso</i>	209
KONSEP POTENSI PANAS BUMI JAWA BARAT BERDASARKAN DATA GEOFISIKA: HASIL PENDAHULUAN DAERAH KABUPATEN GARUT <i>Eddy Z Gaffar, Ahmad Fauzi Ismayanto</i>	213
PENGEMBANGAN ANTAR MUKA ALAT KARAKTERISASI POLA SEBARAN CAHAYA 3D LED <i>C. Panatarani, I. Hermiasari, F. Faizal, V. Hutabalian, B. M. Wibawa dan I M. Joni</i>	218
PENGARUH PEREDUPAN PADA LED PUTIH KONVERSI PHOSPHOR TERHADAP PERGESERAN SPEKTRUM CAHAYA <i>B. Mukti Wibawa, C. Panatarani, F. Faizal dan D. Suhendi</i>	222
Indeks	226



FERMENTASI BIOETANOL DARI TEPUNG EMPULUR BATANG SAGU (*Metroxylon sagu* Rottb.) MENGGUNAKAN KULTUR CAMPURAN *Pichia stipitis* CBS 5773, *Saccharomyces cerevisiae* D1/P3GI DAN *Zymomonas mobilis* FNCC 0056

Ratu Safitri¹, Ria Khoirunnisa Apriyani¹, Pipit Peristiwati²,
Bambang Marwoto³, Jetty Nurhayati¹

¹Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Jatinangor 45363

²Jurusan Biologi Universitas Pendidikan Indonesia

³BPPT Serpong

email: ratusafitrie@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai fermentasi hidrolisat tepung empulur batang sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) hasil hidrolisis oleh enzim serta menjadi etanol oleh kultur campuran *Pichia stipitis* CBS 5773, *Saccharomyces cerevisiae* D1/P3GI dan *Zymomonas mobilis* FNCC 0056. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap pola faktorial dengan tiga faktor, yaitu jenis kultur campuran, konsentrasi gula, dan waktu fermentasi. Jenis kultur campuran terdiri dari (1) *Pichia stipitis* dan *Saccharomyces cerevisiae* dan (2) *Pichia stipitis* dan *Zymomonas mobilis*. Konsentrasi gula yang digunakan yaitu 5% dan 10%. Fermentasi dilakukan selama 120 jam. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Data dianalisis dengan sidik ragam dan uji lanjut yang digunakan adalah Uji Jarak Berganda Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses hidrolisis menggunakan menggunakan enzim α -amilase (0,17 μ l/g), enzim hemiselulase (1/3 x 0,001g/g), enzim selulase (0,55 μ l/g), dan enzim amiloglukosidase (0,37 μ l/g) menghasilkan konsentrasi gula pereduksi sebesar 53,28% (b/b) dengan nilai DE sebesar 68,52%. Proses fermentasi dengan kultur campuran *Pichia stipitis* dan *Saccharomyces cerevisiae*, konsentrasi gula 10% dan waktu fermentasi 72 jam menghasilkan etanol dengan konsentrasi paling tinggi sebesar 4,15% dengan efisiensi fermentasi sebesar 50,12%.

Kata kunci: hidrolisis, tepung empulur batang sagu, asam sulfat, enzim, gula pereduksi, fermentasi, kultur campuran, *Pichia stipitis* CBS 5773, *Saccharomyces cerevisiae* D1/P3GI, *Zymomonas mobilis* FNCC 0056

1. Pendahuluan

Etanol merupakan sumber energi alternatif yang dapat diproduksi melalui proses fermentasi oleh mikroorganisme dengan bahan baku karbohidrat. Dari berbagai tumbuhan yang mengandung karbohidrat, sagu merupakan tanaman yang dapat memproduksi karbohidrat tertinggi. Hal ini disebabkan dalam setiap 100 gram sagu terkandung 85,9 gram karbohidrat, sedangkan pada beras sebesar 80,4 gram, jagung 71,7 gram, singkong 23,7 dan kentang 23,7 gram [1].

Pati atau karbohidrat tersimpan dalam batang sagu dengan bagian luar merupakan lapisan kulit yang keras dan bagian dalam berupa empulur yang mengandung serat dan pati. Tanpa kulit empulur batang sagu memiliki berat rata-rata 850 kg dengan kandungan pati sebesar 29%, kandungan air 50% dan kandungan ampas serta serat lain berkisar 21% [2].

Saat ini pemanfaatan empulur batang sagu umumnya hanya menitikberatkan pada pemanfaatan pati. Ekstraksi pati menyisakan ampas dan serat, sedangkan pati sagu mengandung 27% amilosa dan 73% amilopektin. Sedangkan serat sagu terdiri dari selulosa dan hemiselulosa.

Hidrolisis pati dan selulosa secara spesifik oleh enzim α -amilase, hemiselulase, selulase, dan amiloglukosidase menghasilkan glukosa yang siap difermentasi menjadi etanol. Hemiselulosa merupakan polisakarida heterogen, relatif mudah dihidrolisis menghasilkan gula heksosa dan gula pentosa yang siap difermentasi menjadi etanol. Gula heksosa meliputi glukosa, manosa, galaktosa, dan sedikit ramnosa. Sedangkan gula pentosa meliputi silosa dan arabinosa [3]. Dengan pertimbangan ekonomi dan efisiensi industri pemanfaatan empulur sagu untuk produksi etanol tanpa ekstraksi pati tentu lebih praktis dan ekonomis.

Produktivitas tanaman sagu juga cukup tinggi sekitar 30-60 ton/ha tiap panen sedangkan produktivitas tanaman penghasil karbohidrat lain seperti umbi-umbian hanya mencapai 10 ton/ha tiap panen [4]. Untuk itu tanaman sagu memiliki potensi yang besar sebagai bahan baku etanol.

Penggunaan mikroorganisme secara campuran diketahui lebih efektif dalam menghasilkan etanol dengan konsentrasi yang tinggi. Kultur campuran *Pichia stipitis-Saccharomyces cerevisiae* dan *Pichia stipitis-K. marxianus* memiliki kemampuan memfermentasi gula campuran yang terdiri atas gula heksosa dan gula pentosa sehingga efektif dalam menghasilkan etanol dengan konsentrasi yang tinggi [5]. Kultur campuran juga ternyata lebih efisien dalam menghasilkan etanol dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Misalnya produksi etanol maksimum dari medium campuran glukosa, silosa, manosa dan galaktosa (konsentrasi 80 g/l) oleh *P.stipitis* dan *S.cerevisiae* sebesar 29,45 g/l terjadi pada waktu fermentasi 60 jam. Hal ini lebih baik dibandingkan dengan produksi etanol oleh *S.cerevisiae* secara tunggal yaitu sebesar 14,25 g/l pada waktu fermentasi 48 jam [5].

Fermentasi menggunakan kultur campuran *S. cerevisiae* dan *Z. mobilis* menghasilkan 54,3 g/L etanol. Beberapa penelitian juga menyatakan bahwa fermentasi dengan menggunakan kultur campuran, produksi etanol yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan produksi etanol oleh masing-masing kultur yaitu oleh bakteri *Z. mobilis* sekitar 92% dan oleh khamir *S. cerevisiae* sekitar 86% [6]. Berdasarkan uraian tersebut maka dilakukan penelitian untuk memanfaatkan tepung empulur batang sagu sebagai bahan baku pembuatan etanol dengan pertimbangan tepung empulur mengandung gula heksosa dan pentosa yang dapat difermentasi oleh kultur campuran. Pada penelitian ini hidrolisat Hidrolisis tepung empulur batang sagu akan difermentasikan menjadi etanol dengan menggunakan kultur campuran mikroorganisme fermentatif *P. stipitis*, *S. cerevisiae*, dan *Z. Mobilis*.

2. Metoda Eksperimen

Alat-alat yang digunakan antara lain alat pengaduk, alat sentrifugasi (TOMY LC-131), *High Performance Liquid Chromatography Waters 1525EF* (Biorad Animex HPX-87H), inkubator, kuvet, *laminar air flow* mikropipet oven, penangas air pH meter analitik (Beckman), pH meter kertas, pipet tetes, pipet ukur, *pipettier ball*, rak tabung reaksi, *shaker shaker-waterbath*, spektrofotometer (UV-160A SHIMADZU).

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah akuades, alkohol 70% dan 95%, buffer asetat (pH 6), empulur batang sagu

(*Metroxylon sagu*, Rottb.), yang berasal dari KGBH (Serang), enzim komersial enzim α -amilase (*Liquozyme Supra* Novozymes), enzim hemiselulase, enzim selulase (*Celluclast 1,5 L* Novozymes), enzim amiloglukosidase (*Dextrozime DX* Novozymes), Kultur khamir *Pichia stipitis* CBS 5773, Kultur khamir *Saccharomyces cerevisiae* D1/P3GI, Kultur bakteri *Zymomonas mobilis* FNCC 0056, larutan 0,83N HCl dan NaOH, larutan 1N HCl dan NaOH, larutan 6 M H₂SO₄, larutan 0,9% NaCl, medium fermentasi, medium YEPD (*Yeast Extract Peptone Dextrose*), medium YPS (*Yeast Extract Peptone Sucrose*), dan reagen DNS.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Eksperimental di laboratorium. Tahap hidrolisis tepung empulur batang sagu secara enzimatis menjadi gula pereduksi terbagi menjadi tiga proses, yaitu likuifikasi, hidrolisis hemiselulosa dan sakarifikasi. Proses likuifikasi dilakukan dengan menggunakan enzim α -amilase, hemiselulase, sedangkan sakarifikasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi enzim selulase dan enzim amiloglukosidase. Keseluruhan tahap hidrolisis didahului dengan *pre-treatment* secara fisik melalui gelatinisasi tepung empulur batang sagu. Konsentrasi tepung empulur batang sagu pada volume larutan hidrolisis sebesar 10% (b/v). Suhu pada proses gelatinisasi adalah 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C. Pada tahap gelatinisasi tepung empulur batang sagu, dilakukan pengukuran parameter konsentrasi gula pereduksi dan nilai DE (*Dextrose Equivalent*).

Substrat hidrolisat I (hasil gelatinisasi) didinginkan sampai memiliki temperatur $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Kemudian pH substrat diatur sebesar 6,0 menggunakan larutan HCl dan NaOH 1 N. Setelah itu ditambahkan enzim α -amilase sebanyak 0,17 $\mu\text{l/g}$ (volume enzim/gram substrat). Selanjutnya diinkubasi pada temperatur 104°C selama 60 menit dengan tekanan 1 atm.

Hidrolisat II terlebih dahulu dipanaskan pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 10 menit untuk mematikan kerja enzim α -amilase. Kemudian hidrolisat diberi enzim dengan dosis 1/3 dari banyaknya dosis enzim yang akan diberikan (0,001 gr/gr). Hidrolisat tersebut kemudian diinkubasi pada suhu 55°C dengan agitasi 150 rpm selama 270 menit. Pada tahap ini diperoleh hidrolisat III.

Pada proses sakarifikasi, substrat likuifikasi oleh enzim α -amilase serta hidrolisis oleh enzim hemiselulase didinginkan sampai memiliki temperatur $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Kemudian pH substrat diatur antara 4,8 menggunakan larutan HCl dan NaOH 1 N. Setelah itu ditambahkan enzim selulase sebanyak $\pm 0,55 \mu\text{l/g}$ dan enzim amiloglukosidase sebanyak $\pm 0,37 \mu\text{l/g}$ (volume enzim/gram substrat). Selanjutnya diinkubasi pada temperatur 60°C selama 48 jam dengan kecepatan agitasi 130 rpm.

Sebelum memasuki tahap fermentasi, enzim selulase dan amiloglukosidase yang digunakan pada proses sakarifikasi terlebih dahulu dimatikan dengan cara dipanaskan pada temperatur 100°C selama 10 menit.

Rancangan penelitian untuk fermentasi oleh kultur campuran *P. stipitis*- *S. cerevisiae* adalah inokulum sebanyak 10% diinokulasikan ke dalam substrat fermentasi sehingga volume total menjadi 50 ml. Substrat fermentasi tersebut kemudian diinkubasi sambil dikocok (*shake-incubation*) pada suhu 30°C dan pH awal fermentasi 7 selama 120 jam dengan kecepatan agitasi 150 rpm.

Rancangan penelitian untuk fermentasi oleh kultur campuran *P. stipitis*- *Z. mobilis* adalah inokulum sebanyak 10% diinokulasikan ke dalam substrat fermentasi sehingga volume total menjadi 50 ml. Substrat fermentasi tersebut kemudian diinkubasi sambil dikocok (*shake-incubation*) pada suhu 30°C dan pH awal fermentasi 7 selama 120 jam dengan kecepatan agitasi 150 rpm.

Pada tahap fermentasi parameter yang diukur adalah konsentrasi etanol yang dihasilkan. Kondisi HPLC yang dipergunakan: Coloumn : AMINEX HPX-87H, Sampel inject: 10µl Mobil phase : 0,008 N H₂SO₄ Flow rate: 1ml/minute Coloumn Temperature: 35°C Detector Temperature: 35°C Detector: RI Pressure :16941 psi.

Parameter pengamatan setiap tahap hidrolisis baik likuifikasi maupun sakarifikasi adalah nilai DE (*Dextrose Equivalent*) dan konsentrasi gula pereduksi. Percobaan fermentasi gula hidrolisat sagu menjadi etanol dilakukan dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial 2x2x11 dengan tiga kali pengulangan. Faktor I adalah jenis kultur campuran (A), *P. stipitis*- *S. cerevisiae* (a1) dan *P. stipitis*- *Z. mobilis* (a2). Faktor II adalah konsentrasi gula (B), yaitu 5% (b1) dan 10% (b2). Faktor III adalah lamanya waktu fermentasi (C), yaitu 0 jam (c1), 6 jam (c2), 12 jam (c3), 18 jam (c4), 24 jam (c5), 36 jam (c6), 48 jam (c7), 60 jam (c8), 72 jam (c9), 96 jam (c10) dan 120 jam (c11). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Data yang diperoleh dianalisis dengan metode Analisis Varians (ANOVA). Kriteria uji : Tolak H₀ jika F hitung > F tabel. Jika H₀ ditolak maka dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan dengan taraf nyata 1%.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hidrolisis Tepung Empulur Batang Sagu

Penelitian ini menggunakan Sagu yang diperoleh dari Kibin, Banten. Sagu ini diproses menjadi tepung empulur batang sagu. Berdasarkan uji proksimat, kandungan pati terdapat dalam tepung empulur batang sagu adalah 77,50%, serat 12,56%, dan kadar air sebesar 10,12%. Jumlah gula

total yang terkandung dalam tepung empulur batang sagu sama dengan jumlah karbohidratnya. Gula total yang terkandung dalam tepung empulur batang sagu berukuran 50 mesh yaitu sebesar 60,47% (b/b). Sedangkan gula total yang terkandung dalam tepung empulur batang sagu berukuran 100 mesh yaitu sebesar 77,76% (b/b).

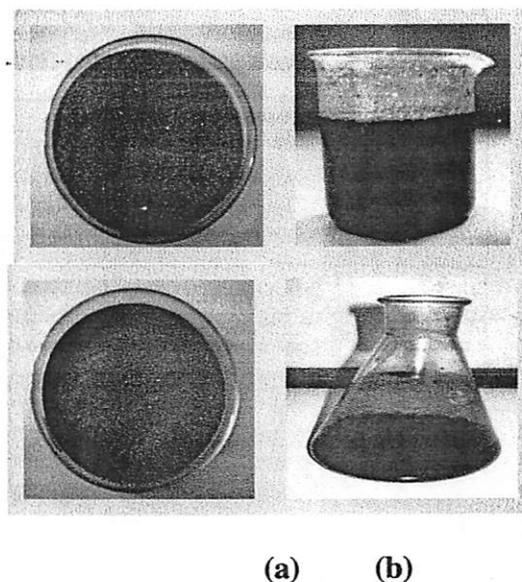
Gelatinisasi Tepung Empulur Batang Sagu

Tepung empulur batang sagu yang berukuran 50 mesh dan 100 mesh masing-masing masuk pada tahap gelatinisasi. Proses gelatinisasi dimaksudkan untuk mempermudah kerja enzim memecah rantai polisakarida pati, hal ini disebabkan enzim-enzim yang digunakan dalam hidrolisis pati tidak dapat menyerang granula pati secara utuh.

Tepung empulur batang sagu dan gelatin tepung empulur batang sagu ini dapat dilihat pada Gambar 1. Konsentrasi tepung empulur batang sagu yang digunakan adalah 10%. Hal ini disebabkan konsentrasi yang lebih tinggi menyebabkan tepung tidak terlarut dengan baik sehingga proses gelatinisasi berlangsung tidak sempurna.

Konsentrasi Gula Pereduksi

Dari hasil gelatinisasi dan optimasi temperatur diperoleh konsentrasi gula pereduksi tertinggi [% (b/b)] pada ukuran 100 mesh, pada temperatur gelatinisasi 120°C, dengan Nilai DE 0,89%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada gelatinisasi, 0,89% polimer-polimer pati telah terpotong menjadi molekul-molekul glukosa yang lebih sederhana.



Gambar 1. Tepung dan gelatin empulur batang sagu (a) ukuran 50 mesh, (b) ukuran 100 mesh (Sumber : Dokumen Pribadi, 2009).



Hidrolisis oleh Enzim α -Amilase, Hemiselulase Selulase dan Amiloglukosidase.

Hidrolisat I yang dihasilkan pada tahap gelatinisasi kemudian dihidrolisis dengan enzim α -amilase (*Liquozyme Supra*) yang berlangsung selama 60 menit pada temperatur 104°C dan pH 6,0 dengan dosis 0,17 μ l/g (1/3 dosis). Pada tahap ini gula pereduksi yang didapatkan adalah sebesar 33,02% dengan nilai DE dari hidrolisis sebelumnya (hidrolisis asam) 42,47%.

Pemecahan amilosa oleh α -amilase menghasilkan glukosa dan maltosa berbagai jenis α -limit dextrin, yaitu oligosakarida yang terdiri dari 4 atau lebih residu gula yang semuanya mengandung ikatan α -1,6 [7]. Hidrolisat II dihidrolisis dengan enzim hemiselulase. Hidrolisis dengan enzim hemiselulase berlangsung selama 270 menit pada suhu 55°C dan pH 6,0 dengan dosis 1/3 dari konsentrasi enzim yang direkomendasikan (0,001 g/g). substrat hasil hidrolisis oleh enzim hemiselulase diperoleh konsentrasi gula pereduksi 33,94% dan nilai DE 43,65%.

Tujuan utama penggunaan enzim hemiselulase adalah agar dapat memanfaatkan serat yang terkandung dalam tepung empulur secara maksimal. Serat yang mengandung hemiselulosa apabila dihidrolisis akan menghasilkan gula-gula sederhana golongan heksosa dan pentosa. Pemberian enzim selulase agar hidrolisis selulosa terjadi maksimal. Sedangkan pemberian enzim amiloglukosidase dilakukan untuk menghidrolisis dekstrin sehingga menghasilkan glukosa. Pemberian kedua jenis enzim ini dilakukan secara bersamaan karena dalam proses hidrolisis, selulase dan amiloglukosidase memiliki aktivitas yang sinergis.

Tahap hidrolisis oleh enzim selulase (*Celluclast 1,5 L*) dengan dosis 0,55 μ l/g (dosis 2/3) dan amiloglukosidase (sakarifikasi, *dextrozyme DX*) 0,37 μ l/g (dosis 2/3) berlangsung pada temperatur 60°C dan pH antara 4,8. Tahap sakarifikasi tersebut dilakukan selama 48 jam. Hasil hidrolisis menggunakan *dextrozyme DX* dan *Celluclast 1,5 L* diperoleh konsentrasi gula pereduksi [% (b/b)] setelah 48 jam inkubasi, yaitu sebesar 53,28% dan konsentrasi DE sebesar 68,52%.

Hal ini sesuai dengan pernyataan Langlois dan Dale (1940) dalam Tjokroadikoesoemo [8] bahwa pada proses hidrolisis menggunakan gabungan asam dan enzim dapat meningkatkan nilai DE. Mula-mula proses hidrolisis dilakukan dengan asam sampai DE 55%, kemudian hidrolisis dilanjutkan dengan memakai enzim amilolitik sampai DE 61-65%. Nilai DE yang lebih besar dari 65% dapat disebabkan oleh penambahan enzim selulolitik pada proses hidrolisis, yaitu enzim selulase dan hemiselulase sehingga jumlah glukosa yang dihasilkan semakin banyak.

Fermentasi Gula Hidrolisat Tepung Empulur Batang Sagu

Konsentrasi gula pereduksi awal yang digunakan pada proses fermentasi sebesar 5% dan 10%. Gula pereduksi dengan konsentrasi 5% terdiri atas 4,17% glukosa dan 0,83% maltotetraosa. Sedangkan Gula pereduksi dengan konsentrasi 10% terdiri atas 8,28% glukosa dan 1,72% maltotetraosa. Mikroorganisme yang digunakan adalah kultur campuran strain *Pichia stipitis* CBS 5773 & *Saccharomyces cerevisiae* D1/P3GI dan kultur campuran strain *Pichia stipitis* CBS 5773 & *Zymomonas mobilis* FNCC 0056.

Setelah dilakukan fermentasi selama 120 jam dengan kultur campuran *P.stipitis*, *S. cerevisiae* dan *Z.mobilis*, maka terjadi perubahan konsentrasi glukosa (%) pada gula hidrolisat sagu.

Tabel 1. Hasil Uji Jarak Berganda Perubahan Konsentrasi Glukosa (%) Hasil Fermentasi Gula Hidrolisat Sagu Oleh Kultur Campuran

Jenis Kultur Campuran	Rata-rata Konsentrasi Glukosa (%) Hasil Fermentasi Hidrolisat Sagu
<i>P.stipitis</i> & <i>S.cerevisiae</i>	1.77 a
<i>P.stipitis</i> & <i>Z.mobilis</i>	2.83 b

Keterangan : huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda pada taraf 1%

Tabel 2. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Waktu Fermentasi Terhadap Perubahan Konsentrasi Glukosa (%) selama Fermentasi

Waktu Fermentasi (Jam)	Rata-rata (%) Gula Hidrolisat Sagu Fermentasi
0	6.23 e
6	5.34 de
12	4.79 d
18	4.33 cd
24	2.95 c
36	1.56 b
48	0.84 ab
60	0.27 ab
72	0.14 ab
96	0.05 ab
120	0 a

Keterangan : huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda pada taraf 1%

Dari Tabel 1. diatas tampak bahwa penurunan konsentrasi glukosa yang signifikan terjadi pada kultur campuran *P.stipitis* & *S.cerevisiae*. Sedangkan konsentrasi glukosa tertinggi dihasilkan oleh fermentasi dengan kultur campuran *P.stipitis*

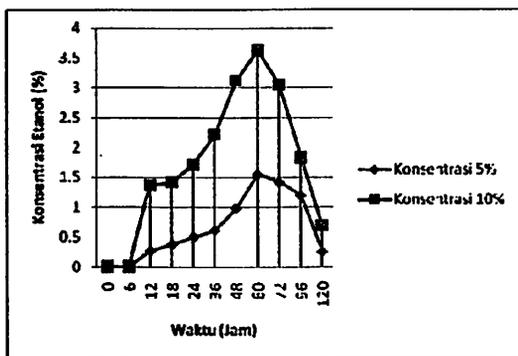
& *Z.mobilis*. Perubahan konsentrasi glukosa pada gula hidrolisat sagu ini terjadi disebabkan oleh aktivitas metabolik mikroorganisme fermentatif dalam biokonversi glukosa sebagai substrat menjadi produk fermentasi

Data pada Tabel 2. menunjukkan bahwa selama proses fermentasi berjalan terjadi penurunan konsentrasi glukosa seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi. Penurunan konsentrasi glukosa yang terjadi hingga akhir waktu fermentasi terjadi karena mikroorganisme fermentatif menggunakan glukosa yang terkandung dalam substrat sebagai sumber karbon untuk memperbanyak massa sel dan menghasilkan metabolit selama fermentasi.

Sejalan dengan pertumbuhan mikro-organisme fermentatif selama fermentasi, maka kebutuhan glukosa pun meningkat, akibatnya konsentrasi glukosa pada substrat menurun. Glukosa yang terkandung dalam substrat digunakan sebagai sumber karbon sehingga mikroorganisme dapat mensintesis energi melalui proses fermentasi bioetanol. Proses fermentasi dibuat menggunakan kultur terendam berupa labu yang digoyang dengan *shaker*. Pada proses ini terbentuk kondisi anaerob, sehingga terjadi proses katabolisme gula secara anaerob menghasilkan etanol.

Konsentrasi Etanol (%) Pada Berbagai Konsentrasi Gula Hidrolisat Sagu Selama Waktu Fermentasi

Data pada Tabel 3. menunjukkan bahwa peningkatan waktu fermentasi berpengaruh nyata pada peningkatan konsentrasi etanol untuk setiap taraf konsentrasi gula. Waktu paling optimum dari semua jenis kultur campuran adalah 60 jam, terlihat dari jumlah rata-rata konsentrasi etanol yang paling tinggi untuk setiap jenis kultur campuran.



Gambar 2. Konsentrasi etanol (%) dengan adanya interaksi konsentrasi gula dan waktu fermentasi

Sementara itu konsentrasi gula yang paling efektif untuk meningkatkan konsentrasi etanol (%) adalah konsentrasi 10% (b2) pada jam ke-60 fermentasi. Penambahan waktu fermentasi setelah itu akan menurunkan jumlah rata-rata konsentrasi

etanol. Penurunan konsentrasi etanol ini diduga karena adanya penurunan jumlah sel sehingga kemampuan mikroorganisme untuk memfermentasi substrat juga semakin menurun.

Gambar 2. menunjukkan bahwa konsentrasi etanol tertinggi dicapai pada konsentrasi gula 10% dengan waktu fermentasi selama 72 jam.

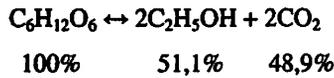
Tabel 3. Hasil Uji jarak Berganda Duncan Konsentrasi Etanol (%) Pada Pengaruh Interaksi Berbagai Konsentrasi Gula Hidrolisat Sagu dan Waktu Fermentasi

Waktu Fermentasi (C)	Konsentrasi Gula (B)	
	5%	10%
0 jam	0 a A	0 a A
6 jam	0 a A	0 a A
12 jam	0.27 a A	1.37 b B
18 jam	0.38 a A	1.41 b B
24 jam	0.50 a A	1.71 b C
36 jam	0.62 a B	2.22 c C
48 jam	0.99 a B	3.12 d D
60 jam	1.55 b C	3.63 d E
72 jam	1.42 b B	3.05d D
96 jam	1.20 b B	1.83 b C
120 jam	0.25 a A	0.69 a B

Keterangan: Perbandingan nilai rata - rata yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf signifikan 1 %. Huruf kecil dibaca arah horizontal, huruf kapital dibaca arah vertikal.

Dari data Tabel 4. terlihat bahwa interaksi antara jenis kultur campuran (A), konsentrasi gula (B) dan waktu fermentasi (C) menunjukkan peningkatan konsentrasi rata-rata etanol tertinggi pada kultur campuran *P.stipitis* & *S.cerevisiae* (a1), konsentrasi gula 10% dan waktu fermentasi 72 jam. Hal ini menunjukkan bahwa kultur campuran *P.stipitis* & *S.cerevisiae* (a1) memiliki sifat yang lebih adaptif dibandingkan dengan kultur campuran lain dalam memanfaatkan gula hidrolisat sagu sebagai substrat fermentasi untuk menghasilkan etanol sebagai produk fermentasi. Kondisi hidup optimum yang sama antara *P.stipitis* & *S.cerevisiae* satu sama lain mendukung peningkatan konsentrasi etanol yang signifikan. Selain itu tingkat konsentrasi gula 10% mendukung peningkatan konsentrasi etanol yang signifikan karena semakin tinggi konsentrasi gula maka semakin tinggi pula konsentrasi etanol yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan pendapat Amerine [8] mengenai reaksi

pembentukan etanol dari glukosa yaitu sebagai berikut :



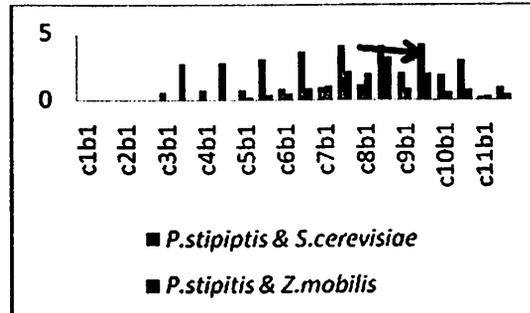
Tabel 4 . Konsentrasi Etanol (%) Pada Berbagai Jenis Kultur Campuran, Konsentrasi Gula dan waktu Fermentasi

Waktu Fermentasi (C)	Konsentrasi Gula (B)	Jenis Kultur Campuran (A)	
		<i>P.stipitis & S.cerevisiae</i>	<i>P.stipitis & Z.mobilis</i>
0 jam	5%	0 a A	0 a A
	10%	0 a A	0 a A
6 jam	5%	0 a A	0 a A
	10%	0 a A	0 a A
12 jam	5%	0.54 b A	0 a B
	10%	2.73 d C	0 a A
18 jam	5%	0.76 b A	0 a A
	10%	2.81 d C	0 a A
24 jam	5%	0.77 b A	0.23 a A
	10%	3.04 d D	0.38 a A
36 jam	5%	0.79 b A	0.45 a A
	10%	3.65 e D	0.79 b A
48 jam	5%	0.93 b A	1.06 b B
	10%	4.09 e E	2.14 c C
60 jam	5%	1.12 b B	1.97 c B
	10%	4.11 e E	3.14 d D
72 jam	5%	2.01 c C	0.83 b A
	10%	4.15 e E	1.95c B
96 jam	5%	1.84 c B	0.56 b A
	10%	2.94 d C	0.72 b A
120 jam	5%	0.17 a A	0.32 a A
	10%	0.97 b A	0.41 a A

Keterangan: Perbandingan nilai rata - rata yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Duncan pada taraf signifikan 1 %. Huruf kecil dibaca arah horizontal, huruf kapital dibaca arah vertika

Berdasarkan reaksi diatas, 1 mol glukosa akan membentuk 2 mol etanol dan 2 mol karbondioksida atau dengan perbandingan 100% gula (glukosa) akan menjadi 51,1% etanol dan 48,9% menjadi karbondioksida.

Dengan mengambil rata-rata konsentrasi etanol sebagai akibat penggunaan berbagai jenis kultur campuran, konsentrasi gula selama waktu fermentasi, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsentrasi etanol (%) dengan adanya interaksi berbagai jenis kultur campuran, konsentrasi gula dan waktu fermentasi

Gambar 3. memperkuat hasil Uji Jarak Berganda Duncan, bahwa konsentrasi etanol (%) tertinggi yaitu sebesar 4,15% dihasilkan pada perlakuan jenis kultur campuran *P.stipitis & S.cerevisiae* (a1), konsentrasi gula 10% dan waktu fermentasi 72 jam dengan efisiensi fermentasi sebesar 50,12%.

4. Kesimpulan

Kultur campuran *Pichia stipitis* dan *Saccharomyces cerevisiae* memiliki aktivitas biokonversi gula tertinggi, yaitu dengan konsentrasi gula 10% dan waktu fermentasi 72 jam terbukti dapat menghasilkan etanol dengan konsentrasi tertinggi yaitu sebesar 4,15%.

Ucapan Terimakasih

Atas selesainya penelitian ini saya mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membantu mendanai penelitian ini melalui Program Hibah Pascasarjana

Daftar Pustaka

1. J. Budianto, *Teknologi Sagu bagi Agribisnis dan Ketahanan Pangan*. Prosiding Seminar Nasional Sagu: Sagu untuk Ketahanan Pangan, Manado, 6 Oktober 2003.
2. A.Z. Yasin, *Pengelolaan Agrobisnis Sagu di Riau*. Prosiding Seminar Nasional Sagu: Sagu untuk Ketahanan Pangan, Manado, 6 Oktober 2003
3. M.J. Taherzadeh, dan K. Karimi. *Acid-Based Hydrolysis Processes For Ethanol From Lignocellulosic Materials : A Review*. BioResource. 2 (3) : 472-499 (2007).

Seminar Nasional Energi, Bandung 3 November 2010

4. M.H. Bintoro, *Potensi Pemanfaatan Sagu untuk Industri dan Pangan*. Prosiding Seminar Nasional Sagu: Sagu untuk Ketahanan Pangan, Manado, 6 Oktober 2003
5. H. Rouhollah, N.Iraj, E.Giti, dan A.Sorah, *Mixed sugar fermentation by Pichia stipitis, Sacharomyces cerevisiae, and an isolated xylose fermenting Kluyveromyces marxianus and their cocultures*. African Journal of Biotechnology. 6 (9) :1110-1114 (2007).
6. G.D. Najafpour dan J.K. Lim. 2002. *Evaluation and Isolation of Ethanol Producer Strain SMP-6*. Regional Symposium on Chemical Engineering
7. F. G. Winarno, *Enzim Pangan*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1983.
8. M. A. Amerine, H. W. Berg, R. E. Kunkee, C. S. Ough, V. L. Singleton dan A. D. Webb. *The Technology of Wine Making*. Connecticut: AVI Publishing Company Inc. Wesport, 1980.



INDEKS

A

. A. Waskita, 36
.de Gafar Abdullah, 42
.di Surjosatyo, 142
.ep Saepul Uyun, 21
.hmad Fauzi Ismayanto, 213
.i Yuningsih, 201
.lamta Singarimbun, 14, 27
.malia, 150
.nnisa Aprilia, 55, 89
.rief Suryantoro, 8, 177
.rmansyah, HT, 194
.sep Harja, 185
.sep Najmurrokhman, 145
.sep Permadi Gumelar, 160
.witdrus, 84
.yi Bahtiar, 59

B

. M. Wibawa, 100, 218, 222
.Prihandoko, 65
.ambang Marwoto, 153
.eben Rachmat, 201
.ilalodin, 114

C

. Panatarani, 100, 218, 222

D

. Andiwijayakusuma, 31, 36
. Anggoro, 100
. Febriyani, 65
. Suhendi, 222
.eni Almanda, 165
.ian S, 150

E

.ldy Z Gaffar, 213
.itun Santosa, 160
.man Taer, 84
.ie H. Sudjono, 201

F

.Faizal, 100, 218, 222
.trilawati, 59, 95, 103

H

.Hendra Grandis, 1, 169
.Hermawan Judawisastra, 107

I

.I Hermiasari, 218
.IBP Gunadnya, 194
.I.M. Joni, 218
.Ibrahim Abu Talib, 84
.Indra H. Nugroho, 107
.Indra Masruri, 95, 103

J

.J. W. Sudarsono, 65
.Jetty Nurhayati, 153
.Jodhi Pramuji G, 174

K

.Kamaruddin Abdullah, 21, 194
.Karina A, 150
.Ken Matina, 137

L

.L.O. Ngkoimani, 191
.Lano Adhitya P., 174
.Lia Aprilia, 75
.Lusi Safriani, 89

M

.M. Giri Suada, 107
.M. Susmikanti, 36
.MAM Oktaufik, 194
.Mardjono Siswosuwarno, 107
.Mohamad Deraman, 84
.Muhamad Qomarudin, 48, 52, 55
.Muhammad Fajrin, 145

N

.N. Syakir, 95, 103

O

.O.A. Rosyid, 118

P

P. Pitriana, 95
Pipit Peristiwa, 153
Praptiningsih G.A., 132
Priyo H, 150

R

R. Hidayat, 95, 103
R. Marwan, 128
Raghel Yunginger, 191
Rakhmawati Farma, 84
Ratno Nuryadi, 75, 79
Ratu Safitri, 153
Ria Khoirunnisa Apriyani, 153
Robi Irsamukhti, 14
Roy Hendroko, 128, 132, 137

S

S.Harjanto, 65
Sahrul Hidayat, 70
Sakuntala Dewi, 185
Salafudin, 128
Satwiko Sidopekso, 150, 209
Sofia Anita, 84
Subaktian Lubis, 2001

T

T. Liwang, 32
Tisen, 191
Tommy Hendriansyah, ,185

V

V. Hutabalian, 218

W

Wawang Suratno, 123
Wiku W, 174

Y

Y.Aris Purwanto, 194
Y.Sadeli, 65
Yandi Esye, 21, 137
Yayah Yuliah, 89
Yefri Chan, 21

Z

Zaki Su'ud, 42
Zico Alaia Akbar Junior, 75