



DISERTASI

**PENGOLAHAN AMPAS SAGU MENJADI BIOGAS SEBAGAI
SUMBER ENERGI TERBARUKAN RAMAH LINGKUNGAN**

Disusun oleh:

NURURRAHMAH

NIM: 30000216510008

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2021**

PENGOLAHAN AMPAS SAGU MENJADI BIOGAS SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN RAMAH LINGKUNGAN

Oleh :
NURURRAHMAH HAMMADO
NIM : 30000216510008

Telah disetujui oleh :

Pimpinan Sidang :

Dr. R. B. Sularto, S. H., M.Hum

Sekretaris Sidang :

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si

Tim Penguji :

Dr. Ir. Prabang Setyono, M.Si., IPM

Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc, IPU

Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D

Dr. Eng. Maryono, S.T., M.T

Dr. Ing. Sudarno, S.T., M.Sc

Prof. Dr. Budiyono, M.Si

**PENGOLAHAN AMPAS SAGU MENJADI BIOGAS SEBAGAI
SUMBER ENERGI TERBARUKAN RAMAH LINGKUNGAN**

**Oleh:
NURURRAHMAH HAMMADO
NIM: 3000216510008**

Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 15 Juli 2021 oleh tim penguji Program
Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

Promotor



Prof. Dr. Budiyono, M.Si
NIP. 196602201991021001

Ko Promotor



Dr. Ing. Sudarno, M.Sc
NIP. 197401311999031003

Mengetahui,

Dekan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

Ketua Program Studi
Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

Dr. R. B. Sularto, SH., M. Hum
NIP. 1967 0101 199103 1 005

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.
NIP. 197508241999031003

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Nama : Nururrahmah Hammado
NIM : 30000216510008
Tempat/Tanggal Lahir : Ujungpandang, 9 Mei 1978
Program Studi : Doktor Ilmu Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi yang saya susun dengan judul:

Pengolahan Ampas Sagu menjadi Biogas sebagai Sumber Energi Terbarukan Ramah Lingkungan

Adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat dari disertasi atau karya ilmiah orang lain dengan menggunakan acuan atau sitasi mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila di kemudian hari pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademis yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk dapat dipergunakan bilamana diperlukan.

Semarang, September 2021

Pembuat pernyataan



Nururrahmah Hammado
Nururrahmah Hammado
NIM. 30000216510008

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah senantiasa penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga disertasi ini dengan judul **“Pengolahan Ampas Sagu menjadi Biogas sebagai Sumber Energi Terbarukan Ramah Lingkungan”**, dapat penulis selesaikan dengan baik. Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu prasyarat dalam mencapai gelar Doktor Ilmu Lingkungan pada Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya melalui kesempatan ini kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan tenaga dan pemikiran dari awal penyusunan hingga terselesainya disertasi ini, yaitu:

1. Rektor Universitas Diponegoro, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan di Program Doktor Ilmu Lingkungan.
2. Dr. R.B. Sularto selaku Dekan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Diponegoro yang telah memberikan fasilitas selama mengikuti studi pada Program Doktor Ilmu Lingkungan.
3. Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si, Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro yang memberikan motivasi, fasilitas, serta saran kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga penyelesaian disertasi.
4. Prof. Dr. Budiyo, M.Si, selaku promotor yang selalu mengarahkan, membimbing, serta meluangkan waktu dari awal hingga penyusunan disertasi ini.
5. Dr. Ing. Sudarno, M.Sc, selaku Co-Promotor dan sekaligus Sekertaris Program Studi yang dengan sabar membantu dan memberi masukan selama proses penyelesaian disertasi ini.
6. LPDP Kementerian Keuangan yang telah membiayai dan memberikan fasilitas dari awal mengikuti pendidikan di Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang hingga selesai.
7. Teman-teman DIL-10 atas kebersamaannya yang senantiasa memberikan dorongan dan motivasi selama mengikuti pendidikan di program Doktor Ilmu Lingkungan.
8. Orang tua tercinta, Ayahanda Almarhum Prof. Dr. H. Hammado Tantu, MPd yang tidak sempat melihat penulis melanjutkan pendidikan dan menyelesaikan disertasi ini, serta

ibunda Dra. Hj. Rosdiana Sumara, MS yang tiada hentinya berdoa dan memberikan motivasi sehingga penulis bisa sampai ketahap ini.

9. Suami tercinta Julianto Widayat, A.Md, yang dengan tekun dan sabar membantu dan mendampingi, serta mendukung baik dari segi moral maupun material mulai dari awal memutuskan untuk kuliah kembali hingga terselesainya disertasi ini.
10. Ananda tercinta, Siti Aisyah Nurazizah, yang selalu mengerti, menyemangati dan berbagi waktu sehingga disertasi ini dapat selesai dengan baik.
11. Saudara-Saudara tercinta, Ir. Hamzah Al-Imran, MT; Dr. Nenny Triana Karim, MT; Hasmadinah Hammado; Amiduddin Hammado, ST; Prof. Dr. H. Nadirsyah Hosen, LL.M., MA, Ph.D.; dr. Nurussyariah Hammado, M. AppSci, Sp. N, FIPM; Sri Sunarya Syahrir, ST; Nurul Ihsaniah Hammado, S.Pd., M.Si.; Ahmad Amri Amiruddin, S.Pd., M.Pd; dan Hasnah Hammado, atas motivasi, dukungan, serta doanya untuk penulis mulai dari awal memutuskan melanjutkan Pendidikan hingga selesai di Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang.
12. Seluruh staff dan karyawan Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro beserta seluruh pihak yang telah meluangkan waktu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
13. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi kepada penulis selama penyelesaian studi dan penyusunan disertasi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membutuhkannya.

Semarang, September 2021

Nururrahmah Hammado

RIWAYAT HIDUP

1. Nama : Nururrahmah Hammado, S.Si., M.Si
2. Tempat dan Tgl.Lahir : Ujungpandang, 9-5-1978
3. Unit Tugas : Program Studi Kimia, Fakultas Sains
Universitas Cokroaminoto Palopo,
Jl. Lamaranginang No. 9 Kota Palopo
4. Alamat Rumah : Perumahan Dosen UNCP Jl. Malaja Mas Blok D No.1
Kota Palopo, Sulawesi Selatan
5. Riwayat Pendidikan :
 - S1 Jurusan Kimia Universitas Negeri Makassar
 - S2 Jurusan Ilmu Kimia Universitas Hasanuddin, Makassar
6. Riwayat Pekerjaan :
 - Tahun 2006 : Dosen Tetap Yayasan Program Studi Kimia FMIPA
Universitas Cokroaminoto Palopo.
 - Tahun 2009-2013 : Wakil Dekan FMIPA Universitas Cokroaminoto Palopo.
 - Tahun 2013-2017 : Dekan Fakultas Sains Universitas Cokroaminoto Palopo.
7. Pengalaman Penelitian dan Pengabdian :
 - Tahun 2013 : Melakukan Uji Efektivitas *Pistia stratiotes* terhadap Penurunan Kadar COD pada Limbah Cair Sagu (sebagai Ketua - Hibah PDP Dikti).
 - Tahun 2014 : Meneliti Efektivitas Limbah Sabut Kelapa Sawit terhadap Penurunan Kadar COD Limbah Cair Sagu (sebagai Ketua - Hibah Universitas Cokroaminoto Palopo).
 - Tahun 2016 : Melakukan pengabdian pada Kelompok Usaha Rumah Jamur di Kota Palopo (sebagai Ketua - Hibah IbM Dikti).
8. Pengalaman Seminar Nasional dan Internasional:
 - Tahun 2017 : Mengikuti Seminar Nasional Hasil Penelitian pada Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro.
 - Tahun 2018 : Mengikuti International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS) yang ketiga di Universitas Diponegoro
9. Publikasi ilmiah yang dihasilkan:
 - Physicochemical characteristic of sago hampas and sago wastewater in Luwu Regency, South Sulawesi (E3S Web of Conferences 73, 07007/2018, doi.org/10.1051/e3sconf/20187307007).
 - Characteristic lignocellulose of sago solid waste for biogas production, volume 18 No. 2/2020, doi:10.5937/jaes 18-24711; (<http://www.engineeringscience.rs/article>)

RINGKASAN

Sagu merupakan salah satu jenis bahan makanan yang paling sering dikonsumsi oleh masyarakat dan menjadi bahan makanan pokok di beberapa wilayah Timur Indonesia. Selain sebagai bahan pangan pokok, sagu juga merupakan sumber pendapatan bagi sebagian besar masyarakat di daerah pesisir. Provinsi Sulawesi Selatan merupakan salah satu provinsi di bagian Timur Indonesia yang merupakan penghasil sagu terbesar meliputi luas area sebesar 3896 ha dengan total produksi 2560 ton/tahun. Sagu memiliki kemampuan menghasilkan pati sepanjang tahun dengan kandungan karbohidrat yang tinggi, setara dengan karbohidrat pada tepung beras, kentang, dan ubi kayu, yaitu 84,7 gram dalam setiap 100 gram bahan. Potensi karbohidrat yang cukup besar menyebabkan sagu menjadi tanaman yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menggantikan beras sebagai bahan pangan.

Pati sagu diperoleh dengan cara mengekstraksi batang pohon sagu untuk memisahkan ampas dari patinya. Proses ekstraksi sagu adalah hal yang terpenting dalam produksi pati sagu. Di Kecamatan Telluwanua, proses ekstraksi pati sagu masih dikerjakan secara tradisional dalam pabrik sagu skala kecil dan dikerjakan secara berkelompok. Proses pengolahan sagu menghasilkan tepung sagu basah dengan proses pengeringannya dilakukan di bawah sinar matahari. Proses pengolahan sagu menghasilkan pati sagu memerlukan air dalam jumlah banyak untuk memisahkannya dari serat sagu. Proses ekstraksi sagu menghasilkan limbah dalam bentuk kulit batang, ampas sagu (empulur sagu), dan air hasil pencucian (air limbah sagu). Kulit batang sagu yang dibuang sekitar 26% dari total berat batang sagu dan 14% sisanya adalah ampas sagu, sedangkan kandungan pati dalam ampas sagu yang terbuang sekitar 65,7% serta perbandingan konsentrasi karbon dan nitrogen yang ikut terbuang adalah 105:0,12. Air limbah sagu bersifat asam (pH 4,2-4,6) dengan kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) 2240-8240 mg/L dan padatan terlarut (TDS) 8060-14260 mg/L. Air limbah sagu juga mengandung padatan organik terlarut, antara lain: lignoselulosa, protein, lemak, dan mikroorganisme (kelompok bakteri dan alga).

Kandungan pati ampas sagu yang masih cukup tinggi menyebabkan masih terdapat kemungkinan untuk mengolahnya menjadi produk yang berguna, salah satunya adalah mengubah menjadi biogas. Biogas adalah gas yang diperoleh dari aktivitas bakteri anaerobik atau proses fermentasi yang mengubah limbah organik seperti kotoran ternak, limbah rumah tangga, sisa bahan pertanian (biomassa) dalam kondisi anaerobik. Biogas memiliki kandungan utama senyawa metan dan karbon dioksida. Senyawa metan yang dihasilkan biogas melepaskan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit dan melepaskan energi yang lebih besar.

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) memperoleh karakteristik komposisi kimia limbah pengolahan sagu (ampas sagu dan air limbah sagu), 2) mengkaji desain eksperimen pada digester untuk menghasilkan biogas dari ampas sagu, 3) memperoleh kondisi optimum proses produksi biogas dari ampas sagu, dan 4) mengetahui persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu sebagai sumber energi alternatif berdasarkan

karakteristik sosial ekonomi masyarakat. Penelitian ini dilakukan di dua lokasi, yaitu: laboratorium IPA Terpadu Universitas Diponegoro dan penelitian lapangan di lokasi pengolahan sagu lokal di Kecamatan Telluwanua Kota Palopo Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian dilakukan selama 18 bulan mulai Oktober 2018 hingga Maret 2020. Tujuan penelitian pertama, kedua, dan ketiga menggunakan disain penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium (*Laboratory experiment*), sedangkan tujuan penelitian keempat menggunakan disain penelitian Non eksperimental yang bersifat kualitatif. Jenis data yang digunakan adalah data primer, yaitu data yang diperoleh dari penelitian di laboratorium berupa data karakterisasi dan proses produksi biogas, sedangkan data yang diperoleh di lapangan adalah data hasil wawancara.

Populasi penelitian adalah ampas sugu yang diperoleh dari pabrik ekstraksi sugu dan masyarakat dalam wilayah pengolahan sugu. Sampel yang digunakan adalah ampas sugu dari pabrik sugu yang merupakan sisa hasil penyaringan pati berupa serat kasar dan air limbah sugu yang merupakan air hasil pencucian pati sugu yang terbuang ke lingkungan. Sampel diambil langsung dari pabrik pengolahan sugu di Kecamatan Telluwanua, Kota Palopo, Sulawesi Selatan. Sampel responden diambil berdasarkan pertimbangan lokasi pabrik pengolahan sugu yang dilakukan secara berkelompok. Penentuan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik *simple random sampling* karena subjek bersifat homogen. Karakterisasi air limbah sugu, ampas sugu, dan analisis pupuk organik dilakukan di Laboratorium pengujian BPTP Sulawesi Selatan dan Laboratorium Uji dan Kalibrasi BBIHP Makassar, uji komposisi lignoselulosa dilakukan di Laboratorium Kimia Makanan Ternak Universitas Hasanuddin Makassar, analisis FTIR dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang, analisis SEM-EDX dan GC-MS dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Karakteristik limbah sugu yang dihasilkan: 1) karakteristik air limbah sugu yang yaitu: temperatur berkisar 28,5 – 29 °C; nilai pH 6; kandungan COD (98,9174; 109,3554; 177,3985 mg/L), kandungan N-total 0,01%; phosphor (0,12; 0,02; 0,01 ppm), kalium (50,71; 32,33; 10,46 ppm), magnesium (7,94; 7,91; 5,84 ppm), dan kalsium (2,62; 1,15; 0,62 ppm). 2) Karakteristik ampas sugu, yaitu: Nitrogen total sebesar 1,66%; P₂O₅ sebesar 0,04%; C-Organik 33,01%; rasio C/N 20; Kalsium 27716 ppm; Magnesium 4247 ppm; dan Sulfur 743 ppm. 3) Karakteristik lignoselulosa ampas sugu adalah terjadi deformasi gugus -CH₂ dan CH₃ pada lignin dan selulosa, serta gugus C-O-C pada selulosa dan hemiselulosa. Permukaan ampas sugu menjadi lebih kasar, terbuka, dan berpori, serta terdapat sisa senyawa NaOH dan sisa senyawa Na₂O berdasarkan hasil SEM-EDX. Komposisi lignoselulosa mengalami penurunan kandungan lignin 3,47% dan hemiselulosa 8,01% karena pemberian pretreatment, sedangkan komposisi selulosa meningkat untuk masing-masing pretreatment sebesar 7,62%; 18,29, dan 18,60%. Pengaruh pemberian pretreatment terhadap perubahan komposisi lignin dan hemiselulosa, serta komposisi selulosa yang tidak memberikan pengaruh terhadap pemberian pretreatment diperoleh berdasarkan hasil analisis regresi linier.

Disain eksperimental untuk produksi biogas dari ampas sagu yang diperoleh dalam penelitian ini adalah suhu ruang 27-33 °C (kisaran suhu mesofilik), pH sebelum dan setelah fermentasi yaitu 7, tekanan < 1 atm (0,533 bar setara dengan 0,526 atm). RSM bertujuan untuk melihat adanya pengaruh variabel bebas terhadap variabel respon. Hasil yang diperoleh adalah variabel ampas sagu, kotoran sapi, dan NH_4HCO_3 (variabel bebas) secara individual dan interaksi berpengaruh terhadap produksi biogas dari ampas sagu. Beberapa pengujian dilakukan untuk mempelajari disain eksperimen yang sesuai untuk produksi biogas dari ampas sagu, yaitu: pengujian kesesuaian data dan model yang digunakan berdasarkan uji koefisien determinasi diperoleh nilai-nilai: R^2 respon, *Lack of Fit*, nilai pengujian koefisien regresi secara individu dan serentak, nilai pengujian asumsi residual melalui uji identik dan uji distribusi normal dilakukan untuk verifikasi dan menentukan kesesuaian model dengan data. Hasil pengujian kesesuaian model produksi biogas ampas sagu diperoleh persamaan model matematis yang sesuai adalah model polinomial orde-dua dengan bentuk persamaannya adalah: $Y = 11197 + 2895X_1 + 3311X_2 - 4220X_3 + 182247(X_1)^2 - 75903(X_2)^2 - 105603(X_3)^2 + 745(X_1 * X_2) - 2348(X_1 * X_3) - 1491(X_2 * X_3)$.

Plot optimasi respon digunakan untuk melihat nilai optimasi respon proses produksi dengan mendekati nilai produksi biogas yang dihasilkan dengan nilai target. Optimasi dilakukan dengan menentukan kombinasi level-level kepada nilai yang diinginkan untuk menghasilkan respon Y yang paling optimal. Hasilnya diperoleh proporsi variabel yang menghasilkan biogas yang optimal adalah: 300,00 g ampas sagu, 301,01 g kotoran sapi, dan 50,00 g NH_4HCO_3 dengan rata-rata biogas yang bisa dihasilkan adalah 10000 mL/g.TS. Model kinetika produksi biogas untuk sistem *batch* diprediksi menggunakan model pendekatan persamaan Gompertz termodifikasi dengan mengasumsikan laju produksi biogas yang dihasilkan sesuai dengan laju pertumbuhan spesifik bakteri dalam digester. Kurva menunjukkan bahwa produksi biogas kumulatif yang diperoleh dari hasil eksperimen memiliki nilai yang tidak berbeda jauh dengan model kinetika hasil perhitungan menggunakan persamaan Gompertz termodifikasi. Kinetika produksi biogas menggunakan model Gompertz termodifikasi untuk kondisi optimal diperoleh konstanta kinetik, yaitu: kecepatan produksi biogas (U) 281,8 mL/g.TS.hari; produksi biogas maksimum (A) 70451,4 mL/g.TS; dan waktu minimum produksi biogas 2,1 hari. Konstanta kinetik U, A, dan L produksi biogas untuk ampas sagu sebagai kontrol, yaitu: 120,3 mL/g.TS.hari; 17463,9 mL/g.TS; dan 29,2 hari; sedangkan konstanta kinetik produksi biogas untuk kotoran sapi, yaitu: 212,6 mL/g.TS.hari; 22024,9 mL/g.TS; dan 36,9 hari, dengan nilai R^2 masing-masing ($R^2 > 0,7369$) yaitu: 0,997; 0,991; dan 0,995. Kualitas biogas yang diperoleh untuk lama waktu fermentasi 157 hari berdasarkan hasil karakterisasi senyawa dengan GC-MS adalah masih dalam bentuk senyawa antara yang dihasilkan dalam tahap asidogenesis. Warna nyala api dari senyawa biogas yang dihasilkan adalah biru dan kemerahan di ujung lidah api. Sludge yang diperoleh dapat digunakan sebagai pupuk organik.

Persepsi masyarakat yang dihasilkan terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu adalah masyarakat mengetahui jenis limbah dari proses ekstraksi sagu tetapi tidak dimanfaatkan secara maksimal. Hal ini menyebabkan masyarakat menjadi tertarik untuk mengolah ampas sagu menjadi biogas tapi kurang memperoleh informasi dan pengetahuan tentang proses produksi biogas. Masyarakat juga bersedia berpartisipasi dan menerima keberlanjutan teknologi biogas sebagai energi alternatif terutama penggunaannya untuk operasional mesin pada proses pengolahan sagu jika teknologi ini betul-betul digunakan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan meningkatkan kesadaran dan kesediaan masyarakat terutama masyarakat di sekitar pabrik pengolahan sagu untuk mengolah dan memanfaatkan limbah sagu sebagai energi alternatif ramah lingkungan agar dapat mengurangi beban pencemar lingkungan dan memberikan nilai tambah secara ekonomi. Bagi pemerintah dan instansi terkait dapat memberikan kontribusi berarti terutama perlunya sosialisasi tentang pengolahan ampas sagu sebagai energi alternatif.



ABSTRAK

Kandungan pati yang masih cukup tinggi dalam ampas sagu menyebabkan masih terdapat kemungkinan untuk mengolahnya menjadi produk yang berguna, salah satunya adalah mengubah menjadi biogas. Tujuan penelitian ini adalah untuk: 1) memperoleh karakteristik komposisi kimia limbah pengolahan sagu, 2) mengkaji disain eksperimental pada digester untuk menghasilkan biogas dari ampas sagu, 3) memperoleh kondisi optimum proses produksi biogas dari ampas sagu, dan 4) mengetahui persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu sebagai sumber energi alternatif berdasarkan karakteristik sosial ekonomi masyarakat. Penelitian dilakukan di laboratorium IPA Terpadu Universitas Diponegoro dan penelitian lapangan di lokasi pengolahan sagu lokal di Kecamatan Telluwanua Kota Palopo, Sulawesi Selatan. Penelitian dilakukan dari bulan Oktober 2018 sampai bulan Maret 2020. Sampel penelitian adalah ampas sagu, sedangkan penentuan sampel responden dilakukan dengan teknik *simple random sampling*.

Karakteristik limbah sagu (air limbah sagu dan ampas sagu) yang dihasilkan, yaitu: a) karakteristik air limbah sagu yang diperoleh yaitu: temperatur berkisar 28,5 – 29 °C; nilai pH 6; kandungan COD (98,9174; 109,3554; 177,3985 mg/L), kandungan N-total 0,01%; phosphor (0,12; 0,02; 0,01 ppm), kalium (50,71; 32,33; 10,46 ppm), magnesium (7,94; 7,91; 5,84 ppm), dan kalsium (2,62; 1,15; 0,62 ppm). b) Karakteristik ampas sagu, yaitu: Nitrogen total 1,66%; P₂O₅ 0,04%; C-Organik 33,01%; rasio C/N 20; Kalsium 27716 ppm; Magnesium 4247 ppm; dan Sulfur 743 ppm. Disain eksperimental untuk produksi biogas dari ampas sagu yang diperoleh adalah variabel bebas (ampas sagu, kotoran sapi, dan NH₄HCO₃) secara individual dan interaksinya berpengaruh terhadap produksi biogas dari ampas sagu. Kondisi optimum proses produksi yang dihasilkan: Proporsi variabel yang menghasilkan biogas yang optimal adalah: 300,00 g ampas sagu, 301,01 g kotoran sapi, dan 50,00 g NH₄HCO₃ dengan rata-rata biogas yang bisa dihasilkan adalah 10000 mL/g.TS. Parameter kinetika biogas yang dihasilkan adalah kecepatan produksi biogas (U) 281,8 mL/g.TS.hari; produksi biogas maksimum (A) 70451,4 mL/g.TS; dan waktu minimum produksi biogas 2,1 hari dengan nilai R² > 0,7369), yaitu: 0,997. Sedangkan substrat ampas sagu tanpa penambahan substrat lainnya diperoleh konstanta kinetik U, A, L, dan R², yaitu: 120,3 mL/g.TS.hari; 17463,9 mL/g.TS; 29,2 hari.; dan 0,991. Karakteristik sludge biogas dari campuran ampas sagu, kotoran sapi, dan NH₄HCO₃ masih mengandung mikronutrien yang diperlukan untuk aktivitas mikroba sehingga dapat digunakan sebagai pupuk organik siap pakai. Persepsi masyarakat yang dihasilkan terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu adalah masyarakat mengetahui jenis limbah dari proses ekstraksi sagu tetapi tidak dimanfaatkan secara maksimal. Masyarakat bersedia berpartisipasi dan menerima keberlanjutan teknologi biogas sebagai energi alternatif terutama penggunaannya untuk operasional mesin pada proses pengolahan sagu.

Kata kunci: *produksi biogas, ampas sagu, metode pretreatment, Gompertz, termodifikasi*

ABSTRACT

The starch content is still high in sago waste makes it possible to process it into useful products, one of which is converting it into biogas. The purpose of this research is to: 1) obtain the characteristics of the chemical composition of sago processing waste, 2) further study the experimental design of the digester to produce biogas from sago hampas, 3) obtain the optimum conditions for the biogas production process from sago hampas, and 4) knowing the public's perception of the utilization of sago processing waste as an alternative energy source based on the socio-economic characteristics of the community. The research was conducted in UPT Integrated Laboratory of Diponegoro University and field research at a local sago processing site in Telluwanua District, Palopo City, South Sulawesi. The research was done from October 2018 until March 2020. The research sample was sago hampas and the sample of respondents was determined using simple random sampling technique.

The characteristics of the sago waste (sago wastewater and sago hampas) produced are: a) the characteristics of the sago wastewater obtained are: temperatures ranging from 28.5 – 29 °C; pH value 6; COD content (98.9174; 109.3554; 177.3985 mg/L), Nitrogen total content of 0.01%; Phosphorus (0.12; 0.02; 0.01 ppm), potassium (50.71; 32.33; 10.46 ppm), magnesium (7.94; 7.91; 5.84 ppm), and calcium (2.62; 1.15; 0.62 ppm). b) Characteristics of sago hampas, namely: N-total 1.66%; P₂O₅ 0.04%; C-Organic 33.01%; C/N ratio 20; Calcium 27716 ppm; Magnesium 4247 ppm; and 743 ppm Sulfur. Experimental design for biogas production from sago hampas obtained are independent variables (sago hampas, cow dung, and NH₄HCO₃) individually and their interactions affect biogas production from sago hampas. The optimum conditions of the resulting production process: the proportions of variables that produce optimal biogas are: 300.00 g of sago hampas, 301.01 g of cow dung, and 50.00 g of NH₄HCO₃ and 10000 mL/g.TS of biogas yield. The kinetic parameters of biogas produced are biogas production speed (U) 281.8 mL/g.TS.days; maximum biogas production (A) 70451.4 mL/g.TS; and the minimum time for biogas production is 2.1 days with an R² value > 0.7369), namely: 0.997. While the substrate of sago pulp without the addition of other substrates obtained kinetic constants U, A, L, and R², namely: 120.3 mL/g.TS.days; 17463.9 mL/g.TS; 29.2 days.; and 0.991. The characteristics of biogas sludge still contain micronutrients needed for microbial activity than could be used as ready-to-use organic fertilizer. The resulting public perception of the utilization of sago processing waste is

that the community knows the type of waste from the sago extraction process but is not utilized optimally. The community is willing to participate and accept the sustainability of biogas technology as alternative energy, especially its use for machine operations in the sago processing process.

Keywords: *biogas production, sago waste, pretreatment method, modified Gompertz*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
RIWAYAT HIDUP	vi
RINGKASAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxii
DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	10
C. Orisinalitas	10
D. Tujuan Penelitian	22
E. Manfaat Penelitian	23

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	25
A. Tanaman Sagu	25
B. Energi Baru Terbarukan	35
C. Biogas	38
D. Kondisi Optimum Biogas	46
E. Persepsi Masyarakat	51
BAB III KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP	60
A. Kerangka Teori	60
B. Kerangka Konsep	63
BAB IV METODE PENELITIAN	66
A. Tempat dan Waktu Penelitian	66
B. Disain Penelitian	67
C. Populasi dan Sampel	67
D. Variabel Penelitian	68
E. Teknik Pengumpulan Data	71
F. Pengolahan dan Analisis Data	82
G. Alur Penelitian	86
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	89
A. Karakteristik Limbah Sagu	89
B. Disain Eksperimen Produksi Biogas	104
C. Optimasi Proses Produksi Biogas	115
D. Persepsi Masyarakat terhadap Pemanfaatan Limbah Sagu	130

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	143
A. Kesimpulan	143
B. Saran	145
DAFTAR PUSTAKA	146
LAMPIRAN	163



DAFTAR GAMBAR

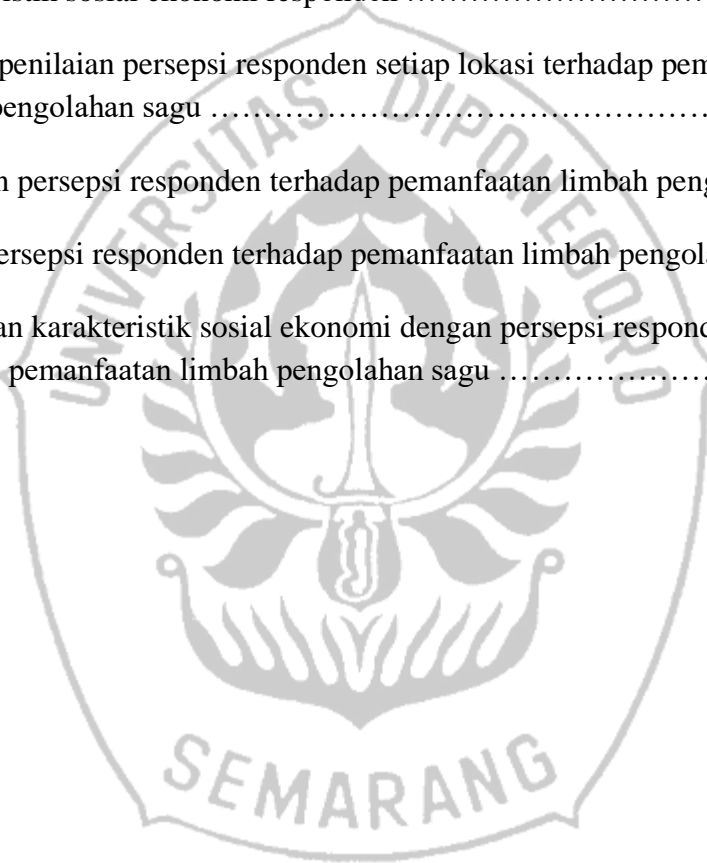
Gambar 1.	Pohon sagu di dalam hutan sagu	28
Gambar 2.	Bagan proses ekstraksi pati sagu secara umum	29
Gambar 3.	Lokasi proses pengolahan sagu di dalam hutan sagu	30
Gambar 4.	Proses pengolahan sagu yang dilakukan oleh pabrik skala kecil	31
Gambar 5.	Ampas sagu yang dihasilkan dari pencucian pati sagu	33
Gambar 6.	Kerangka teori	62
Gambar 7.	Kerangka konsep	65
Gambar 8.	Peta daerah penelitian	66
Gambar 9.	Diagram alir tahap preparasi dan karakterisasi limbah sagu	72
Gambar 10.	Diagram alir tahap karakterisasi lignoselulosa ampas sagu	74
Gambar 11.	Disain alat digester	76
Gambar 12.	Diagram alir tahap analisis produksi biogas	81
Gambar 13.	Alur penelitian	88
Gambar 14.	Spektrum FTIR ampas sagu: a) sebelum pretreatment, b) pretreatment Secara biologi, c) pretreatment secara kimia, d) pretreatment secara fisik	96
Gambar 15.	Morfologi permukaan ampas sagu menggunakan perbesaran 1000x untuk setiap perlakuan: a) sebelum pretreatment, b) pretreatment secara kimia, c) pretreatment secara biologi, d) pretreatment secara fisik	99
Gambar 16.	Output disain eksperimen dengan aplikasi Minitab 16	105
Gambar 17.	Hasil analisis varians untuk produksi biogas	107
Gambar 18.	Plot Residual-Observation Order untuk produksi biogas	111

Gambar 19. Uji kenormalan residual: a) plot distribusi normal residual model hasil uji Kolmogorov-Smirnov, b) output plot distribusi normal residual hasil observasi	111
Gambar 20. 3D <i>response surface plot</i> dan <i>contour plot</i> : (a) dan (b) pengaruh berat kotoran sapi dan berat ampas sagu; (c) dan (d) pengaruh berat kotoran sapi dan berat NH_4HCO_3 ; (e) dan (f) pengaruh berat ampas sagu dan berat NH_4HCO_3 terhadap produksi biogas	114
Gambar 21. Grafik desirability plot optimum	116
Gambar 22. Produksi biogas harian terhadap lama waktu pengamatan	117
Gambar 23. Perbandingan antara produksi biogas kumulatif eksperimen dan prediksi model kinetika dan persamaan Gompertz termodifikasi	120
Gambar 24. Hasil uji nyala api kelima perlakuan: a) kondisi optimum, b) ampas sagu, c) sampel J-12, d) sampel J-3, e) kotoran sapi	126
Gambar 25. Gambaran umum karakteristik sosial ekonomi responden berdasarkan: a) jenis kelamin, b) usia, c) tingkat pendidikan, d) penghasilan, e) jumlah tanggungan keluarga, f) lama domisili	131

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Matriks penelitian terdahulu	12
Tabel 2. Kandungan ampas sagu	34
Tabel 3. Tahapan termal dan lama waktu retensi	41
Tabel 4. Nilai kesetaraan biogas dengan beberapa jenis bahan bakar	55
Tabel 5. Matrik definisi operasional variabel	70
Tabel 6. Variabel penelitian	77
Tabel 7. Disain eksperimen variabel dengan sistim pengkodean	78
Tabel 8. Sebaran kelompok responden	82
Tabel 9. Rentang skala penilaian persepsi masyarakat	84
Tabel 10. Rentang nilai koefisien korelasi keeratn hubungan	85
Tabel 11. Rangkuman metode pengumpulan data, sumber, dan metode pengujian berdasarkan tujuan penelitian	85
Tabel 12. Karakteristik komposisi fisikokimia air limbah sagu	89
Tabel 13. Karakteristik komposisi fisikokimia ampas sagu	92
Tabel 14. Daerah serapan inframerah ampas sagu sebelum dan sesudah pretreatment	97
Tabel 15. Hasil analisis EDX ampas sagu pada berbagai perlakuan	100
Tabel 16. Hasil analisis lignoselulosa ampas sagu pada berbagai perlakuan	101
Tabel 17. Hasil analisis regresi linier terhadap konsentrasi lignin	103
Tabel 18. Hasil analisis regresi linier terhadap konsentrasi hemiselulosa	104
Tabel 19. Hasil analisis regresi linier terhadap konsentrasi selulosa	104
Tabel 20. Respon hasil pengukuran biogas dan hasil prediksi oleh CCD	105

Tabel 21. Nilai koefisien regresi individu dari hasil ANOVA produksi biogas	109
Tabel 22. Nilai koefisien regresi serentak dari hasil ANOVA produksi biogas	110
Tabel 23. Konstanta kinetik model Gompertz termodifikasi	119
Tabel 24. Komposisi biogas berdasarkan GC-MS	125
Tabel 25. Karakteristik sludge biogas	129
Tabel 26. Karakteristik sosial ekonomi responden	132
Tabel 27. Kriteria penilaian persepsi responden setiap lokasi terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu	135
Tabel 28. Penilaian persepsi responden terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu ...	136
Tabel 29. Aspek persepsi responden terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu	138
Tabel 30. Hubungan karakteristik sosial ekonomi dengan persepsi responden terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu	140



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data volume biogas harian	163
Lampiran 2.	Data produksi biogas dan hasil prediksi menggunakan model Gompertz termodifikasi	169
Lampiran 3.	Data FTIR sampel analisis ampas sagu sebelum pretreatment	175
Lampiran 4.	Data FTIR sampel analisis ampas sagu pemberian pretreatment secara biologi	177
Lampiran 5.	Data FTIR sampel analisis ampas sagu pemberian pretreatment secara kimia	179
Lampiran 6.	Data FTIR sampel analisis ampas sagu pemberian pretreatment secara fisik	181
Lampiran 7.	Data hasil analisis SEM-EDX ampas sagu sebelum pretreatment	183
Lampiran 8.	Data hasil analisis SEM-EDX ampas sagu dengan penambahan mikroba Konsorsium	186
Lampiran 9.	Data hasil analisis SEM-EDX ampas sagu dengan penambahan NaOH	188
Lampiran 10.	Data hasil analisis SEM-EDX ampas sagu dengan pretreatment secara Fisika	191
Lampiran 11.	Data hasil analisis komposisi lignoselulosa ampas sagu berbagai perlakuan	193
Lampiran 12.	Lembar persetujuan responden	194
Lampiran 13.	Kuesioner penelitian sosial	196
Lampiran 14.	Data analisis regresi linier sederhana pengaruh perlakuan terhadap komposisi lignin	200
Lampiran 15.	Data analisis regresi linier sederhana pengaruh perlakuan terhadap komposisi selulosa	201
Lampiran 16.	Data analisis regresi linier sederhana pengaruh perlakuan terhadap komposisi hemikselulosa	202

Lampiran 17. Data input hasil kuesioner persepsi masyarakat	203
Lampiran 18. Interpretasi hubungan karakteristik sosial ekonomi dengan persepsi masyarakat menggunakan uji Korelasi Rank Spearman	204
Lampiran 19. Data hasil analisis GC-MS campuran ampas sagu, kotoran sapi, dan NH_4HCO_3 (J-3)	206
Lampiran 20. Data hasil analisis GC-MS ampas sagu (kontrol)	208
Lampiran 21. Data hasil analisis GC-MS kotoran sapi (kontrol)	211
Lampiran 22. Data hasil analisis GC-MS campuran ampas sagu, kotoran sapi, dan NH_4HCO_3 (J-12)	214
Lampiran 23. Data hasil analisis GC-MS kondisi optimum	217
Lampiran 24. Data hasil analisis pupuk organik sludge biogas	220
Lampiran 25. Kuesioner penelitian <i>Willingness to Accept</i>	222
Lampiran 26. Data input hasil kuesioner kesediaan menerima <i>Willingness to Accept</i> teknologi biogas	224
Lampiran 27. Interpretasi hubungan karakteristik sosial ekonomi dengan kesediaan masyarakat menerima keberlanjutan teknologi biogas menggunakan Uji Hubungan Bivariate Pearson	225
Lampiran 28. Interpretasi hubungan karakteristik sosial ekonomi dengan kesediaan masyarakat berpartisipasi dalam keberlanjutan teknologi biogas menggunakan Uji Hubungan Bivariate Pearson	227
Lampiran 29. Dokumentasi penelitian	229

DAFTAR SINGKATAN

AAS	: <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>
AD	: <i>Anaerobic Digestion</i>
Al	: Aluminium
Al ₂ O ₃	: alumina
BOD	: <i>Biological Oxygen Demand</i>
CaCO ₃	: kalsium karbonat
Ca(OH) ₂	: kalsium hidroksida
CaO	: kalsium oksida
CCD	: <i>Central Composite Design</i>
CH ₂	: metilen
CH ₃	: metil
CH ₄	: karbon tetrahidrida (metana)
C/N	: karbon per nitrogen
CO ₂	: karbon dioksida
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
C-Organik	: karbon organik
Fe	: Besi
Fe-EDTA	: ferrum-etilendiammintetraasetat
FTIR	: <i>Fourier Transform Infrared</i>
GC-MS	: <i>Gas Chromatography – Mass Spectrometry</i>
H ₂	: hidrogen
H ₂ O	: dihidrogen monoksida (Igoni et al.)
H ₂ S	: hydrogen sulfida
H ₂ SO ₄	: asam sulfat
K ₂ O	: kalium oksida
LPG	: <i>Liquid Petroleum Gase</i>
MgO	: magnesium oksida
MS-Excell	: Microsoft Excell
NaOH	: natrium hidroksida
Na ₂ O	: natrium oksida
NH ₃	: ammonia
NH ₄ HCO ₃	: ammonium bikarbonat
NPK	: nitrogen, phosphor, kalium
N-total	: Nitrogen total
P ₂ O ₅	: phosphorus pentoxide
pH	: power of hydrogen
PPO	: <i>Pure Vegetable Oil</i>
RDF	: <i>Refused Derived Fuel</i>
RSM	: <i>Response Surface Methodology</i>
TDS	: <i>Total Dissolved Solid</i>
TSCF	: <i>Triliun Standart Cubic Feet</i>
TS	: <i>Total Solid</i>

TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>
SEM-EDX	: <i>Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray</i>
SiO ₂	: silika oksida
SPSS	: <i>Statistical Product and Service Solution</i>
SSAD	: <i>Solid State Anaerobic Digestion</i>
SVO	: <i>Straght Vegetable Oil</i>
C=C	: ikatan ganda karbon-karbon
C-H	: ikatan karbon-hidrogen
C-O	: ikatan karbon-oksigen
C-O-C	: ikatan eter
O-H	: ikatan oksigen-hidrogen



DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

±	: kurang lebih
°C	: derajat Celcius
%	: persen
% w	: persen berat
atm	: atmosfir
BTU/ft	: <i>British Thermal Unit per foot</i>
Ca	: Kalsium
cfu/gram	: <i>Colony Forming Unit</i> per gram
cm ³	: centimeter kubik
cm ⁻¹	: satuan bilangan gelombang
Cu	: tembaga
g	: gram
GJ	: giga joule
ha	: hektar
kg	: kilogram
KJ/m ³	: kilo joule per meter kubik
kkal	: kilokalori
kkal/m ³	: kilokalori per meter kubik
kPa	: kilopascal
kW/m ²	: kilowatt per meter persegi
kWh	: kilowatt hour
L	: liter
m	: meter
m ³	: meter kubik
M	: Molaritas
mg	: milligram
Mg	: Magnesium
mg/g	: milligram per gram
mg/L	: milligram per liter
MJ/kg	: mega joule per kilogram
mL	: milliliter
mL/g	: milliliter per gram
mL/g.TS	: milliliter per gram dikali total padatan
Mn	: Mangan
mol	: molar
MW	: megawatt
mWh	: milliwatt hour
Na	: Natrium
P	: phosphor
ppm	: part per million
S	: sulfur