

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sagu adalah salah satu sumber bahan pangan karena kandungan karbohidratnya yang tinggi bagi. Tanaman sagu di Indonesia tersebar di beberapa daerah, yaitu: Papua, Papua Barat, Maluku, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, Kalimantan selatan, Kalimantan Barat, Jambi, Sumatera Utara (Mentawai), dan Riau (Novariant, 2012). Sagu dalam kehidupan masyarakat di beberapa wilayah Indonesia Timur memiliki peranan penting sehingga keberadaannya tidak dapat dibiarkan. Masyarakat adat Papua Sagu di kawasan Danau Sentani menempatkan sagu sebagai sesuatu yang penting karena nilai sosial yang dimiliki sangat tinggi. Peran sagu bagi masyarakat tersebut adalah sebagai bahan makanan utama, sebagai sumber penghasilan masyarakat, dan sebagai pemersatu antara pemilik lahan sagu yang memberikan pohon sagunya kepada masyarakat lain yang tidak memiliki pohon sagu untuk dikelola (Lakuy & Limbongan, 2003).

Sagu juga memiliki nilai budaya sebagai salah satu kearifan lokal dalam masyarakat tradisional yang senantiasa dipertahankan turun temurun. Sagu memiliki peran dan fungsi sebagai pengatur dan pengikat kelompok berdasarkan keragaman budaya dan kearifan lokal yang terbentuk melalui pengalaman yang panjang sehingga tetap menjaga kesadaran masyarakat akan kearifan lingkungannya. Sagu memperlihatkan prinsip kesetaraan yang mempersatukan konsumennya dalam tingkatan dan derajat yang tidak berbeda. Sagu tidak mengklasifikasikan atau mengategorikan konsumen ke dalam batas-batas strata sosial. Secara ekonomi, sagu tidak hanya berfungsi untuk memenuhi kebutuhan hidup keluarga atau

kelompok tetapi juga dijual dalam bentuk pangan ke kota lainnya. Seluruh bagian dari tanaman sagu seperti pelepah untuk dinding rumah, daun sagu dapat dijadikan atap rumah, kulit luar batang sagu untuk lantai rumah, hingga ampas untuk pakan ternak bernilai ekonomis (Numberi, 2011). Sagu bukan hanya sebagai bahan makanan utama tetapi juga memiliki kedudukan utama dalam mitos dan ritual yang berlangsung turun temurun (Ruddle et al., 1978).

Beberapa daerah di Sulawesi Selatan khususnya di Tana Luwu, sagu banyak tumbuh dan telah menjadi sumber makanan dan pendapatan utama bagi penduduk lokal. Tanaman sagu tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat di Tana Luwu: Kabupaten Luwu, Kota Palopo, Kabupaten Luwu Utara dan Kabupaten Luwu Timur. Sagu memiliki nilai sosial yang tinggi karena sagu merupakan sumber makanan dan pendapatan utama bagi penduduk lokal. Sagu juga menjadi sumber penghasilan keluarga sehingga dapat menghidupi sebagian besar masyarakat yang bermukim di bagian pesisir (Metaragakusuma et al., 2016).

Potensi sagu untuk dikembangkan sebagai bahan pangan pengganti beras sangat besar. Sagu mampu memberikan pati kering sepanjang tahun mencapai 25ton per hektare, melebihi kemampuan produksi pati dari beras sebesar 6ton atau jagung yang hanya 5,5 ton per hektare. Tepung sagu basah mampu dihasilkan oleh setiap batang sagu hingga 200 kg per tahun. Tepung sagu juga memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi, yaitu 84,7 gram per 100gram bahan. Kandungan karbohidrat pati sagu setara dengan karbohidrat tepung beras, singkong, kentang, atau jika dibandingkan dengan jagung dan terigu maka kandungan karbohidrat sagu masih lebih tinggi. Energi yang dikandung tepung sagu dalam setiap 100 g tepung sagu adalah 353 kkal, setara dengan bahan pangan lain, seperti: beras, jagung, singkong, dan

kentang. Selain itu, sagu menghasilkan pati tidak tercerna yang sangat baik untuk pencernaan (Nggobe, 2005).

Proses pengolahan sagu dilakukan oleh masyarakat secara perorangan maupun berkelompok pada lokasi-lokasi tertentu. Hingga saat ini pengolahan sagu masih dilakukan secara tradisional dan masih terbatas pada pengambilan tepung sagu untuk kebutuhan bahan makanan. Penggunaan sagu secara tradisional untuk bahan makanan secara umum dikelompokkan ke dalam enam cara, yaitu: 1) berbentuk adonan lengket seperti nasi, antara lain: papeda (Papua), kapurung (Sulawesi Selatan), dan sinonggi (Sulawesi Tenggara). 2) Sagu panggang seperti lempeng sagu (dange, sagu rangi), 3) mie sagu, 4) aneka makanan ringan (bagea, ongol-ongol, cendol), (5) mutiara sagu, dan (6) pati sagu kering atau tepung sagu kering (Haryanto & Pangloli, 1992).

Proses pengolahan sagu dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu: metode tradisional dan modern. Metode tradisional dibagi menjadi dua skala, yaitu: skala domestik dan pengolahan skala kecil. Skala domestik dilakukan oleh secara perorangan, dimana pohon sagu ditebang dan diproses langsung di kebun sehingga batang-batang sagu yang telah dipotong tidak perlu diangkat atau dipindahkan jauh dari lokasi pohon. Pengolahan sagu skala kecil atau skala pabrik, proses pengolahan sagu dilakukan secara berkelompok dan telah menggunakan beberapa alat mekanis. Pada skala pabrik, batang-batang pohon sagu dipotong dengan ukuran yang lebih pendek, 1-1,2 m kemudian diangkut ke pabrik melalui sungai atau menggunakan kendaraan (Flach, 1997; Ruddle et al., 1978). Pabrik pengolahan sagu skala kecil ini memproduksi lamentak (tepung sagu olahan basah) yaitu tepung sagu yang prosesnya dilakukan dengan mengeringkan dibawah sinar matahari. Sebagian besar daerah di Indonesia

yang memiliki perkebunan sagu masih menggunakan proses pengolahan dengan cara tradisional (Zulpilip et al., 1991).

Proses pengolahan sagu dengan cara modern dilakukan dengan modifikasi proses ekstraksi pada pabrik skala kecil. Proses ekstraksi berlangsung lebih cepat karena seluruh proses pengolahannya menggunakan sistem mekanis (Karim et al., 2008). Proses pengolahan sagu cara modern ini digunakan oleh pabrik-pabrik skala besar dengan jumlah produksi pati sagu mencapai 25 ton/ha/tahun. Pati yang dihasilkan merupakan pati kering yang mengalami proses pengeringan dengan mesin. Pabrik sagu skala besar digunakan di Sarawak, Malaysia (Singhal et al., 2008).

Proses pengolahan sagu menggunakan air dalam jumlah banyak sehingga lokasi pengolahannya dilakukan di sekitar lokasi dengan air yang banyak, misalnya daerah sekitar sungai, bahkan beberapa pabrik pengolahan menggunakan air sumur bor. Pabrik pengolahan pati sagu menghasilkan tiga macam limbah, yaitu empulur serat sagu atau ampas sagu, kulit luar batang sagu (bark), dan air sisa cucian pati sagu. Setiap bobot total balok sagu menghasilkan limbah kulit batang sebesar 26% dan ampas sagu sebesar 14% (Singhal et al., 2008). Dalam pengolahannya, pabrik sagu menghasilkan sejumlah besar bahan buangan dengan beban pencemar yang sangat banyak. Pelepasan limbah ke lingkungan menyebabkan dampak lingkungan yang dapat mencemari karena jumlah bahan organik yang ikut terbuang cukup tinggi untuk kehidupan organisme air (Balasundaram et al., 2014).

Ekstraksi sagu menghasilkan bahan buangan dalam bentuk padat dan cair berupa air sisa ekstraksi pati sagu dan ampas (Nggobe, 2005). Air limbah sagu yang masih mengandung pati dengan rasio perbandingan konsentrasi karbon dan nitrogen 105:0,12 menyebabkannya menjadi lebih sesuai untuk fermentasi secara anaerobik yang digunakan pada bak *upflow*

digester (Phang et al., 2000). Sisa buangan lain yang dihasilkan dari proses ekstraksi sagu adalah kulit bagian luar batang sagu sekitar 17-25% dan ampas sagu 75– 83% (McClatchey et al., 2006).

Ampas sagu yang dihasilkan dari pengolahan sagu, sebagian kecil digunakan oleh masyarakat untuk makanan ternak dan kompos. Sedangkan ampas sagu lainnya ditimbun sedemikian rupa sehingga keberadaannya dapat mengakibatkan pencemaran air tanah. Ampas sagu yang ditimbun dalam waktu lama akan menimbulkan bau busuk dan menghasilkan air lindi yang terbuang ke lingkungan di sepanjang perairan pada lokasi pengolahan sagu tersebut. Selang waktu tertentu, ampas sagu tersebut akan menyebabkan pembusukan pada permukaan air kemudian mengeras dan menutupi permukaan air. Limbah serat yang masih muda juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran makanan ternak dan kompos, sedangkan residu pati sagu yang terlarut dalam air buangan dapat digunakan sebagai biopestisida dan bioenergi (Nggobe, 2005).

Kandungan pati yang masih cukup tinggi dalam ampas sagu menyebabkan masih terdapat kemungkinan untuk mengolahnya menjadi produk yang berguna, salah satunya adalah mengubah menjadi bioenergi. 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 (Singh & Mishra, 2005).

Ampas sagu banyak mengandung bahan organik terutama unsur karbon sehingga dapat dimanfaatkan sebagai campuran substrat biogas. Salah satu senyawa yang dikandung ampas

sagu adalah lignoselulosa, yaitu senyawa yang komposisi utamanya adalah lignin, selulosa, dan pati sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon untuk bioenergi. Kandungan pati ampas sagu sekitar 65,7%, dengan komposisi residu lignin 21%, selulosa sebesar 20%, dan sisanya adalah zat ekstraktif dan abu. Kulit luar batang sagu juga mengandung lignoselulosa dengan selulosa sekitar 57% dan lignin 38% (Lim, 2006).

Biomassa diubah menjadi bahan bakar nabati (bioenergi) dengan proses yang berbeda dan menghasilkan nol emisi CO₂, terutama karena biomassa adalah bahan organik dengan kepadatan energi rendah tetapi dapat terdegradasi saat penyimpanan. Bioenergi yang diperoleh dari biomassa berbeda dan dapat dikelompokkan menjadi padat, cair dan gas (Singh & Mishra, 2005).

Indonesia adalah negara yang memiliki sumberdaya alam yang sangat banyak yang dapat digunakan sebagai sumber bioenergi, salah satunya bersumber dari sektor pertanian. Komoditas pertanian yang potensial sebagai sumber bioenergi dan sudah dibudidayakan oleh masyarakat, antara lain: jagung, kelapa, tanaman jarak, tebu, ubi kayu, dan sagu (Prastowo, 2015). Tanaman sagu merupakan salah satu sumber bahan bakar nabati dari sektor pertanian yang sangat potensial dan belum banyak dilirik oleh pemerintah. Hal ini disebabkan karena saat ini tanaman sagu masih tumbuh di daerah yang sulit dijangkau dan populasinya tersebar tidak merata. Pati sagu yang dihasilkan rata-rata hanya 10 ton/ha dan peningkatannya dapat dilakukan melalui perbaikan budidaya hingga mencapai 15 ton/ha. Diperkirakan sekitar 20% tanaman budidaya di Indonesia yang bersumber dari pati, gula, dan bahan selulosa yang dapat dipanen sehingga jika dirata-ratakan maka 30%, pohon sagu dapat dipanen untuk menghasilkan bioenergi sekitar 58 juta GJ/tahun (Jong, 2005).

Undang-Undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2007 tentang Konservasi Energi menunjukkan bahwa energi baru adalah energi yang diperoleh dari sumber energi baru dimana teknologi baru dapat menjadi sumber energi baru, baik dalam bentuk sumber energi terbarukan maupun sumber energi tak terbarukan (Ouda et al., 2017). Salah satu sumber energi terbarukan adalah biogas yang menggunakan mikroorganisme yang terdapat di alam untuk mengurai berbagai biomassa dan limbah bahan organik menjadi energi secara anaerobik (Wahyuni, 2013).

Biogas terbentuk dalam ruangan hampa udara (tertutup) melalui beberapa tahapan, yaitu: hidrolisis, asidifikasi, dan metanogenesis. Hidrolisis adalah tahapan awal dimana senyawa makromolekul (lemak, protein, dan karbohidrat) diurai menjadi lebih sederhana dalam bentuk asam-asam organik, glukosa, dan asam-asam amino. Tahap asidifikasi adalah pembentukan asam, dimana mikroorganisme akan mengubah senyawa organik sederhana hasil hidrolisis menjadi asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat, serta hasil samping seperti alkohol, CO₂, hidrogen, dan ammonia. Metanogenesis adalah tahap pembentukan metana dimana bakteri metanogenik menggunakan hidrogen, karbondioksida, dan asam asetat untuk membentuk gas metan dan karbondioksida (Harahap, 2018).

Biogas yang digunakan sebagai sumber energi alternatif memberikan banyak manfaat, antara lain energi yang digunakan untuk proses produksi rendah, ramah lingkungan, dapat mengurangi timbulan sampah, dan lumpur sisa yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai pupuk organik tinggi dan bahan campuran untuk pakan ternak. Konsentrasi gas metan yang diperoleh dapat mempengaruhi kualitas energi yang terkandung dalam biogas. Semakin tinggi kandungan metana yang tinggi menyebabkan kandungan energi (nilai kalor) pada biogas akan semakin besar, demikian pula sebaliknya kandungan gas metana yang kecil bahkan cenderung

tidak bersih akan menghasilkan nilai kalor yang kecil pula (Harihastuti, 2015). Rata-rata nilai kalor biogas antara 500-700 BTU/ft³ setara dengan 4.500-6.300 kkal/m³ atau 17.900-25.000 KJ/m³ (Polprasert & Koottatep, 2007).

Secara ekonomis, pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan menjadi biogas dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari (rumah tangga). Hasil analisis kelayakan ekonomi berdasarkan nilai sekarang (*Net Present Value/NPV*) dan nilai pengembalian modal investasi (*Payback Period*) tiga tahun jika dibandingkan dengan harga minyak tanah setara dengan Rp 105.078, maka biogas dengan menggunakan digester plastik dapat diaplikasikan (Irsyad & Yanti, 2016). Analisis potensial ekonomi terhadap biaya operasional, modal, dan pemeliharaan untuk produksi biometana dari air limbah sagu dengan menggunakan berbagai jenis teknologi serta skala produksinya. Hasilnya adalah volume air limbah sagu 800 m³/hari dapat menghasilkan biogas potensial 1040 m³/d dan produksi energi listrik 1238 kWh dengan total biaya listrik yang diproduksi setiap tahun adalah USD 78.799 dan *Payback Period* selama 2,48 tahun (Mel et al., 2012).

Nilai efisiensi penggunaan teknologi biogas bergantung pada biaya investasi, biaya operasional pabrik biogas, dan produksi gas metana optimum yang dihasilkan. Hasil analisis biaya manfaat pada pabrik biogas dengan kapasitas digester 9.000 m³ untuk populasi sebanyak 118,912 m³/tahun dan biogas yang digunakan per kapita/tahun adalah 0,0099 m³/orang/hari menghasilkan 47.450 kg biogas yang setara dengan pemakaian LPG per tahun. Pabrik biogas berpotensi menghemat biaya untuk mengolah limbah hingga 7.207 kali proses/tahun dengan biaya 468.440 dolar/tahun dengan pabrik beroperasi kapasitas penuh.

Pemanfaatan ampas sagu untuk pakan ternak secara ekonomis dapat memberikan keuntungan bagi masyarakat setempat. Berdasarkan hasil analisis kelayakan secara finansial,

potensi limbah ampas sagu sebanyak 5000ton dapat menghasilkan pakan ternak sebanyak 2100 kg/tahun dan nilai NPV sebesar Rp 114.014.659,48 dengan *Payback Period* 3 tahun, akan tetapi aspek teknis pengadaan sarana dan prasarana operasional serta biaya investasi masih sangat tinggi (Haedar & Kasran, 2017).

Produksi tepung sagu yang dilakukan secara kontinu untuk memenuhi kebutuhan sumber bahan makanan dan pendapatan utama penduduk lokal menyebabkan limbah ampas sagu yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Setiap kali produksi, dihasilkan limbah ampas sagu mencapai 14% dari total produksi tepung sagu sehingga ketersediaan bahan baku (feed) untuk produksi biogas dapat terpenuhi. Pengolahan ampas sagu menjadi biogas memberikan banyak manfaat dan keuntungan bagi masyarakat setempat. Biogas memberikan energi murah dan bersih sehingga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca karena penggunaan LPG, minyak tanah, atau kayu bakar. Secara ekologi, pengolahan ampas sagu dapat mengurangi timbulan sampah, bau tidak sedap yang ditimbulkannya, pencemaran terhadap air tanah dan air sumur, dan mengurangi kerusakan tanah pertanian.

Secara ekonomi, penggunaan biogas dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk pembelian bahan bakar untuk keperluan rumah tangga yang semakin mahal dan langka, mengurangi pembelian pupuk kimia untuk pertanian, dan pakan untuk ternak. Sedangkan secara teknologi dapat dilakukan dengan membangun digester komunal untuk setiap desa sehingga dapat dijangkau oleh setiap rumah tangga untuk mengakses teknologi biogas.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi teknologi ramah lingkungan yang digunakan untuk mengolah ampas sagu menjadi biogas sehingga dapat menurunkan tingkat pencemaran akibat limbah sagu yang dilepaskan ke lingkungan. Penggunaan teknologi ramah lingkungan ini diharapkan dapat digunakan masyarakat untuk meningkatkan nilai

perekonomian sekaligus mengurangi beban pencemaran lingkungan. Selain itu, penggunaan teknologi tersebut dalam mengolah limbah sagu dapat menumbuhkan motivasi masyarakat sehingga lebih meningkatkan perekonomian keluarga sekaligus menjaga lingkungannya dengan menerapkan konsep *zero waste* pada produksi pengolahan sagu.

B. Perumusan Masalah

Latar belakang yang dijelaskan diatas digunakan untuk merumuskan masalah dan dinyatakan sebagai pertanyaan penelitian, sejauh mana potensi tanaman sagu menjadi biogas dan menjadi sumber energi alternatif terbarukan yang dapat digunakan secara berkelanjutan. Pertanyaan-pertanyaan penelitian dapat dirumuskan secara lebih spesifik sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik komposisi kimia limbah pengolahan sagu (ampas sagu dan air limbah sagu)?
2. Bagaimana disain eksperimental pada digester untuk menghasilkan biogas dari ampas sagu?
3. Bagaimana kondisi optimum proses produksi biogas dari ampas sagu?
4. Bagaimana persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan limbah sagu sebagai sumber energi alternatif ditinjau dari karakteristik sosial ekonomi masyarakat?

C. Orisinalitas

Berbagai penelitian tentang pengolahan limbah padat menjadi biogas telah banyak dilakukan dalam usaha untuk mengurangi jumlah pencemaran di lingkungan serta bagaimana mengatasi krisis energi nasional yang semakin memprihatinkan saat ini. Fokus rencana penelitian ini adalah pengembangan teknologi dan menghasilkan inovasi yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat serta pengelola pabrik pengolahan sagu untuk mengolah ampas

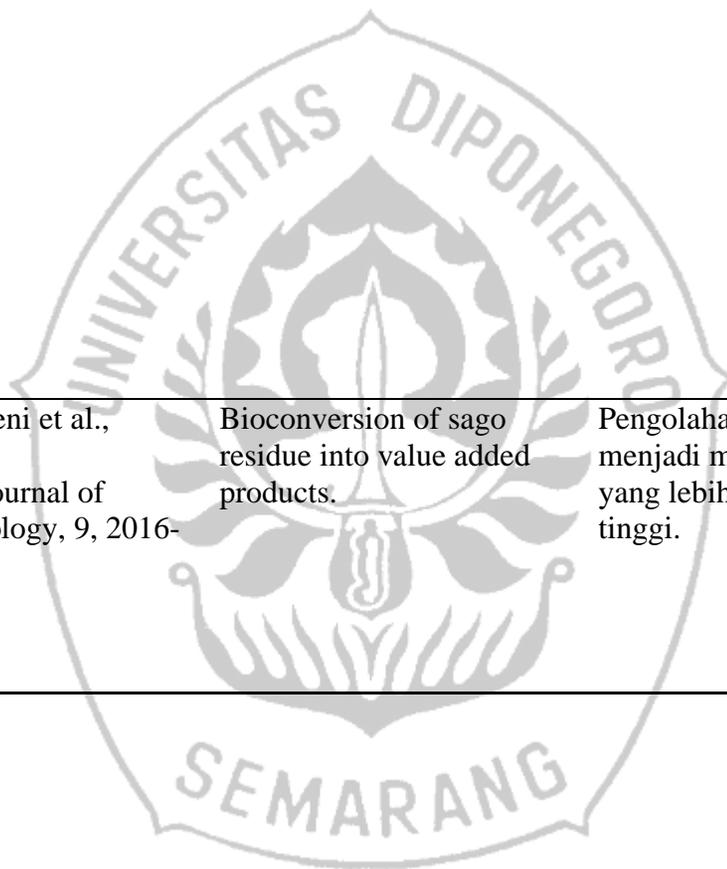
sagu menjadi biogas sebagai sumber energi baru terbarukan. Hasilnya diharapkan sistem pengolahan sagu yang diterapkan di pabrik-pabrik pengolahan sagu lebih berorientasi lingkungan dan berkelanjutan sehingga meminimalisasi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan. Beberapa topik penelitian yang searah dan mendukung upaya pengolahan limbah padat menjadi energi baru terbarukan disajikan sebagai berikut:



Tabel 1. Matriks penelitian terdahulu

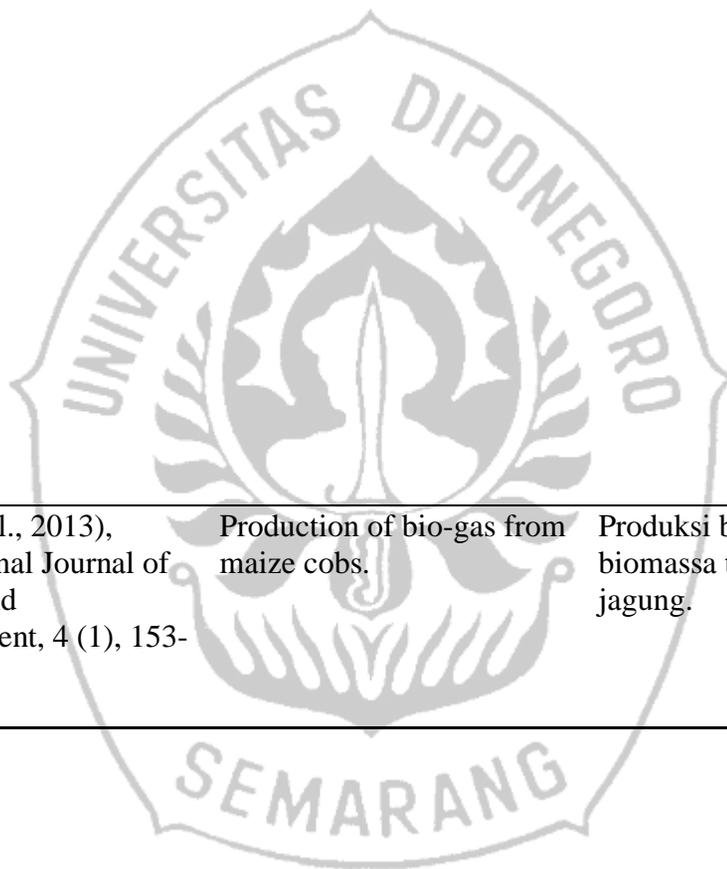
No	Sumber	Judul Penelitian	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian
1	(Singhal et al., 2008), Carbohydrate Polymers, 72, 1-20.	Industrial production, processing, and utilization of sago palm-derived products.	Pengolahan sago dan pemanfaatannya menjadi produk- produk lain.	Tanaman sago merupakan sumber pati yang sangat baik, dimanfaatkan sebagai sumber bahan pangan, polimer, bahan kosmetik, dan industri tekstil. Ampas sago lebih banyak dimanfaatkan sebagai substrat untuk pertumbuhan mikroba, difermentasikan menjadi produk yang bernilai jual tinggi seperti enzim. Pembuatan karbon aktif dari ampas sago sebagai biosorben karena selulosa dan ligin yang dikandung masih sangat besar. Adsorben dari ampas sago ini dapat menyerap ion timbal, ion tembaga, ion kromium, dan ion merkuri yang dihasilkan oleh air limbah industri dengan sangat baik.
2	(Dhiputra et al., 2015), Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTMXIV) Banjarmasin	Pemanfaatan ampas ela sagu sebagai bioetanol untuk kebutuhan bahan bakar rumah tangga di Provinsi Papua	Pengolahan ampas sagu menjadi bioetanol	Meneliti pemanfaatan ampas ela sago untuk meningkatkan perekonomian rakyat, menghasilkan energi alternatif dan teknologi dalam bidang energi di Papua. Penelitian ini menggunakan 3 tahapan: 1) fermentasi dan pemurnian dengan metode distilasi bertingkat diperoleh kadar bioetanol 80% dari ampas ela sago. 2) Pengujian energi untuk bahan bakar (<i>Lower Heating Value</i>) memakai <i>bomb calorimeter</i> dengan metode ASTM D.4809-09a, diperoleh nilai LHV bioetanol ampas ela sago untuk konsentrasi 80% sebesar 16,166 MJ/Kg. 3) Pengujian <i>Heat Release Rate</i> (HRR) selama

			proses pembakaran dengan alat <i>cone calorimeter</i> diperoleh laju kecepatan pelepasan kalor 20–45 kW/m ² . Pembakaran selama kurang lebih 6 menit diperoleh suhu pembakaran 450 °C.
3	(Anuar & Zul, 2014)	Potensi limbah sago (<i>Metroxylon</i> sp.) di Kecamatan Tebing Tinggi Barat Kabupaten Kepulauan Meranti sebagai substrat penghasil biogas.	Pengolahan limbah padat dan cair sagu, dan dicampur dengan ekstrak rumen sapi untuk produksi biogas
			Penambahan rumen sapi segar yang berasal dari rumah potong hewan Kota Pekanbaru sebagai campuran substrat untuk menghitung volume biogas yang dihasilkan, total populasi bakteri, temperatur, dan derajat keasaman limbah sagu dari pabrik sago di Sungai Nambus Kec. Tebing Tinggi Barat, Kab. Kepulauan Meranti. Hasil penelitian menunjukkan campuran limbah cair sagu : ampas sagu : rumen sapi menggunakan perbandingan 1 : 1 : 1 diperoleh volume biogas terbanyak hingga 45.760 mL dibandingkan dengan perlakuan lain selama 30 hari. Jumlah populasi bakteri aerob menurun selama proses fermentasi berlangsung. Kondisi keasaman campuran substrat hampir konstan berkisar antara 3,45 – 7,62, sedangkan suhu substrat juga relatif konstan berkisar antara 28,1°C – 31,6 °C.
4	(Awg-Adeni et al., 2010), African Journal of Biotechnology, 9, 2016-2021	Bioconversion of sago residue into value added products.	Pengolahan sago menjadi material baru yang lebih bernilai tinggi.
			Industri pengolahan sago menghasilkan sumber material baru seperti kulit sago (<i>sago bark</i>), ampas sagu, dan air limbah sagu yang dapat digunakan untuk konservasi lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Serat yang dihasilkan merupakan persoalan utama yang dialami khususnya pada pabrik-pabrik besar karena sulit dikeringkan, kelembaban dan



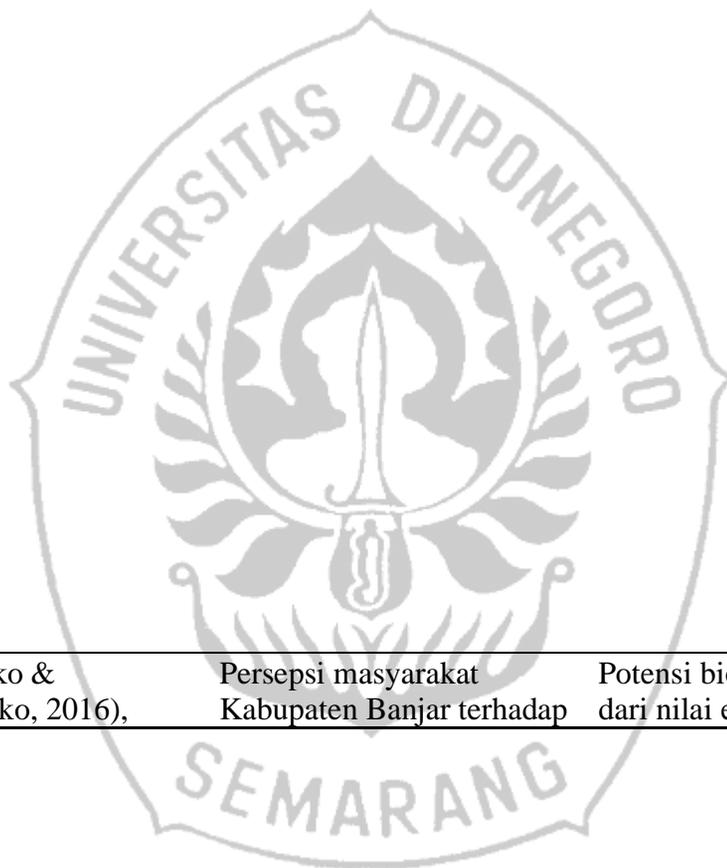
				kandungan pati yang masih cukup tinggi. Masyarakat lokal menggunakan sagu sebagai bahan bakar kayu, bahan dinding, plafon dan pagar.
5	(Karthika et al., 2010), International Journal of Engineering Science and Technology, 2(6), 1867-1879.	Utilization of sago waste as an adsorbent for the removal of timbal (Nadliriyah & Triwikantoro) from aqueous solution: kinetic and isotherm studies.	Penggunaan limbah sagu sebagai adsorben.	Menggunakan limbah sagu sebagai karbon aktif untuk mengadsorpsi timbal (Nadliriyah & Triwikantoro) dari limbah industri. Kapasitas adsorpsi maksimum timbal (Nadliriyah & Triwikantoro) hingga 14,35 mg/g pada pH 3,5 dengan konstanta kecepatan adsorpsi Lagergren, kinetika orde pertama.
6	(Syakir & Karmawati, 2013), Perspektif, 12, 57-64.	Potensi tanaman sagu (<i>Metroxylon</i> sp.) sebagai bahan baku bioenergi.	Potensi tanaman sagu sebagai sumber bioenergi.	Luas areal tanaman sagu 95% sebagian besar masih dalam bentuk hutan yang tersebar di bagian Timur dan sekitar 4,1% terletak di bagian Barat. Hutan sagu menghasilkan sekitar 90-700 kg per batang tepung basah untuk setiap kali produksi dan bervariasi sesuai dengan usia dan tempat tumbuh. Ditinjau dari luas areal hutan sagu, setiap satu kali panen untuk 30 pohon/ha/tahun produksi sagu dapat mencapai 100 kg tepung sagu sehingga total sagu yang diperoleh di seluruh wilayah Indonesia setara dengan 6,84 juta ton/tahun.
7	(Prastowo, 2015), Perspektif, 6, 85-93.	Potensi sektor pertanian sebagai penghasil dan pengguna energi terbarukan.	Potensi biomassa sektor pertanian menjadi energi terbarukan.	Potensi bioenergi yang bersumber dari biomassa pertanian, tidak termasuk industri kayu kehutanan dan jagung, berkisar 441,1 juta GJ. Potensi Indonesia dalam menghasilkan bioenergi dari biomassa pertanian sekitar 360,99 juta GJ dengan total mencapai 802,09 juta GJ. Nilai tersebut ekuivalen dengan 25000 unit pembangkit listrik

			tenaga energi terbarukan skala menengah yang dijalankan kontinu untuk ukuran 10 MW.
8	(Moya et al., 2017), Energy Procedia, 134, 286-295.	Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using waste-to-energy technologies.	Pengolahan limbah padat menjadi energi terbarukan
			Sistem pengelolaan limbah padat dilakukan dengan sistem pengolahan terintegrasi. Sistem pengolahan limbah ini menggunakan prinsip mengubah limbah menjadi energi (<i>Waste to Energy Technologies</i>). Limbah diberi treatment secara biologis dengan proses aerobik dan anaerobik. Pengolahan limbah dengan cara memberikan panas (termal) pada limbah dilakukan dengan cara pirolisa. Teknologi pengolahan termal lainnya dilakukan dengan proses gasifikasi dan menggunakan insenerator. Teknologi ini dapat mengurangi jumlah dan volume limbah hingga 90%, mengurangi emisi dan beban lingkungan, sesuai dengan kondisi lingkungan untuk pembangkit tenaga listrik (produksi panas dan listrik), layak secara teknis dan ekonomi, dan dapat bekerja pada suhu tinggi (700-900 °C). Selanjutnya gas landfill digunakan untuk mendapatkan biogas yang kaya akan metana. Tahap terakhir adalah biorefineri, mengubah limbah menjadi bioproduct yang bermanfaat (biofuel gas cair dan gas).
9	(Leke et al., 2013), International Journal of Energy and Environment, 4 (1), 153- 160.	Production of bio-gas from maize cobs.	Produksi biogas dari biomassa tongkol jagung.
			Membuat biogas dengan mencampur tongkol jagung dengan limbah biogenik lainnya (cairan rumen sapi, kotoran unggas, dan kotoran kambing). Hasilnya menunjukkan peningkatan produksi biogas yang dihasilkan hingga 63,00 cm ³ melalui menambahkan limbah biogenik



				tersebut. Proses anaerobik berlangsung pada suhu 88 °C.
10	(Li et al., 2011), <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 15, 821-826.	Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste.	Pengolahan limbah organik untuk menghasilkan biogas menggunakan Metode <i>Solid State Anaerobic Digestion</i> (SSAD).	Menggunakan metode SSAD untuk menghasilkan biogas dari limbah makanan dan pertanian. Perlakuan awal dilakukan untuk menghilangkan lignoselulosa seperti tongkol jagung, jerami padi, jerami gandum, dan dedaunan, sebelum masuk kedalam proses SSAD dengan metode kimia atau termokimia.
11	(Rasheed et al., 2016), <i>Pakistan Journal of Agricultural Sciences</i> , 53 (3), 647-652.	Techno-economic impacts of innovative commercial industrial scale bioenergy plant in Pakistan.	Potensi dampak ekonomi inovasi teknologi penghasil bioenergi.	Melakukan inovasi teknologi ukuran media untuk kebutuhan produksi bioenergi industri komersial. Reaktor didesain berdasarkan sistem digester anaerobik menggunakan tiga <i>fixed dome</i> yang dihubungkan lewat bawah tanah. Inovasi rancangan disertai dengan pengaduk mekanik, <i>gas scrubbers</i> , penyaringan, kompresi, dan sistem penyimpanan. Potensi bioreaktor ini secara tekno-ekonomi dapat digunakan untuk sektor industri kecil dan menengah dengan kemampuan pembangkit energi 142 MWh per tahun, tingkat pengembalian 15,42% dan prospek pertumbuhan lapangan kerja hingga 55%.
12	(Mirmohamadsadeghi et al., 2014), <i>BioMed Research International</i> , 2014, 1-6.	Enhanced solid-state biogas production from lignocellulosic biomass by organosolv pretreatment.	Produksi biogas dengan memberikan perlakuan awal pada biomassa yang mengandung lignoselulosa	Meningkatkan produksi biogas dengan memberikan perlakuan awal yaitu larutan etanol 75% sebagai pelarut organik dan menambahkan asam sulfat sebagai katalis. Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian perlakuan awal dengan pelarut organik lebih efektif untuk meningkatkan produksi biogas biomassa berbahan lunak dibandingkan biomassa berbahan keras atau

				limbah pertanian. Biomassa berbahan keras membutuhkan beberapa kondisi untuk mencapai produksi maksimal selama perlakuan. Kandungan lignin menjadi faktor negatif penting yang mempengaruhi produksi metana.
13	(Mohammed et al., 2017). Egyptian Journal of Petroleum, 26, 695-703.	Feasibility study for biogas integration into waste treatment plants in Ghana.	Potensi biogas dari segi ekonomi dan lingkungan	Menemukan bahwa efisiensi penggunaan teknologi biogas bergantung pada biaya investasi, biaya operasional pabrik biogas, dan produksi gas metana optimum yang dihasilkan. Hasil analisis biaya manfaat pada pabrik biogas dengan kapasitas digester 9.000 m ³ untuk populasi sebanyak 118,912 m ³ /tahun dan biogas yang digunakan per kapita/tahun adalah 0,0099 m ³ /orang/hari menghasilkan 47.450 kg biogas yang setara dengan pemakaian LPG per tahun. Pabrik biogas berpotensi menghemat biaya untuk mengolah limbah hingga 7.207 kali proses/tahun dengan biaya 468.440 dolar/tahun dengan pabrik beroperasi kapasitas penuh. Menghemat penggunaan air dari pemakaian daur ulang (air limbah yang di olah kembali, 60% air dari limbah domestik) sebanyak 64.861 m ³ /tahun dengan biaya 49.806 dolar. Instalasi pabrik biogas mampu mengganti 100% penggunaan septik tank dengan biaya 230 m ³ /unit. Listrik yang dihasilkan dari biogas mampu mengurangi emisi gas-gas rumah kaca.
14	(Biyatmoko & Wijokongko, 2016),	Persepsi masyarakat Kabupaten Banjar terhadap	Potensi biogas ditinjau dari nilai ekonomi,	Mengetahui persepsi masyarakat tentang manfaat, nilai tambah, nilai efisiensi, dan dampak



EnviroScienteeae, 7, 1-5.

pemanfaatan energi biogas dan kualitas pupuk limbah biogas.

sosial, dan lingkungan.

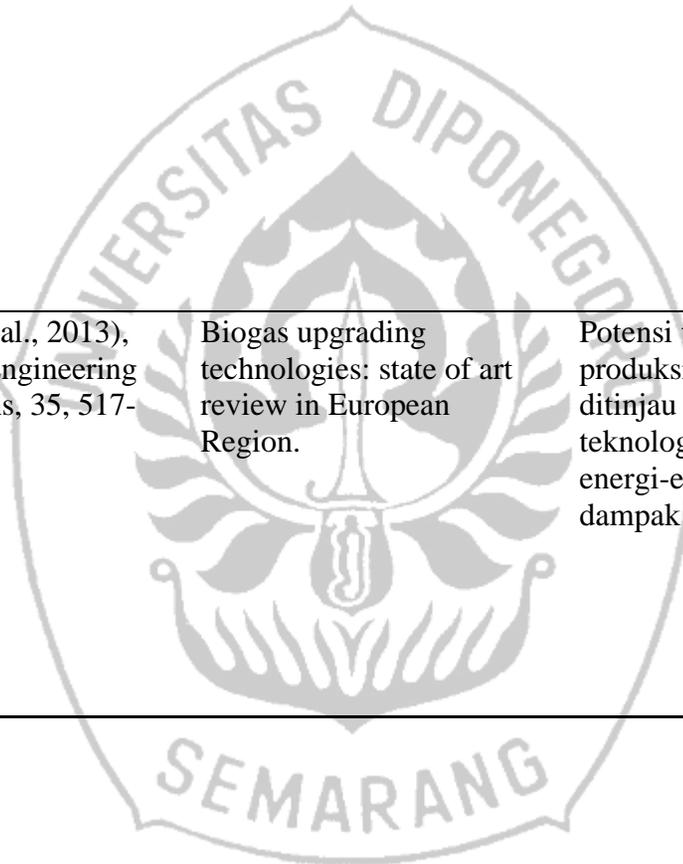
lingkungan dari penggunaan biogas yang berasal dari kotoran ternak. Hasil penelitian menunjukkan manfaat yang diperoleh masyarakat adalah biogas lebih murah, lebih efisien pada penggunaan bahan bakar, produksi gas yang kontinu, terpenuhinya keperluan bahan bakar, dapat menghemat pengeluaran untuk membeli bahan bakar untuk memasak. Dari aspek nilai tambah, lebih ekonomis dan murah, menghemat biaya pembelian bahan bakar, ketergantungan minyak tanah berkurang. Efisiensi biaya yang dihemat 41,37% atau sekitar 120rb/bulan untuk membeli minyak tanah. Sedangkan dampak lingkungan yang dirasakan oleh masyarakat, gas yang dihasilkan tidak menimbulkan emisi, limbah padat (*sludge*) yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pupuk, sanitasi lingkungan terjaga dan tidak menimbulkan penyakit karena bau yang dihasilkan oleh kotoran ternak.

15 (Niesner et al., 2013),
Chemical Engineering
Transactions, 35, 517-
522.

Biogas upgrading
technologies: state of art
review in European
Region.

Potensi teknologi
produksi biogas
ditinjau dari aspek
teknologi proses,
energi-ekonomi, dan
dampak lingkungan.

Mengkaji potensi lima teknologi untuk meningkatkan produksi biogas: *water scrubbing* (Zieminski et al.), *pressure swing adsorption* (Danarto & Hapsari), *chemical scrubbing* (CS), *physical scrubbing* (Danarto & Hapsari), dan *pemisahan menggunakan membran* (MS). Aspek proses teknologi ditinjau dari kemurnian metana dan rata-rata kecepatan aliran gas, aspek energi dan ekonomi berdasarkan penilaian konsistensi dan pemanfaatan data yang dihasilkan dari setiap teknologi, sedangkan aspek lingkungan ditinjau



dari jumlah metana yang dilepaskan. Hasil kajian menunjukkan berdasarkan tiga aspek diatas adalah teknologi yang paling baik WS (40%) diikuti dengan PSA dan CS (25%), dan paling rendah adalah MS (4%) tetapi MS menjadi peluang penelitian ke depan yang menarik dalam mengembangkan adsorben-adsorben baru.

- | | | | |
|---|--|--|--|
| 16 (Arifin et al., 2011),
Journal of Mechatronics,
Electrical Power, and
Vehicular technology, 2
(2), 73-78. | Kajian biogas sebagai
sumber pembangkit tenaga
listrik di pesantren Saung
Balong Al-Barokah,
Majalengka, Jawa Barat. | Potensi penggunaan
biogas pada <i>pilot plant</i>
yang sudah terinstalasi. | Menguji penggunaan biogas pada <i>pilot plant</i> sebagai sumber pembangkit listrik yang siap untuk dikomersialisasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan dari digester dengan kapasitas 7 m ³ hanya 1,92 m ³ . Hal ini disebabkan karena suhu yang terlalu tinggi, bahan yang dimasukkan dalam digester kurang, komposisi campuran substrat tidak rata. Biogas yang digunakan untuk genset antara 0,018-0,021 m ³ /menit. Biogas yang digunakan selama 0,019 m ³ /menit menghasilkan beban listrik tertinggi (1,047 watt). Biaya yang dapat dihemat untuk satu rangkaian instalasi biogas (Daya maksimal untuk satu buah genset sebesar Rp. 40.896/bulan setara dengan 2,5 kW untuk satu bioreaktor dengan volume 7 m ³). |
|---|--|--|--|
-



Analisis terhadap hasil penelitian terdahulu yang dilakukan berkaitan dengan proses pengolahan sagu, sebagian besar mengulas tentang proses pengolahan pati sagu mulai dari karakteristik pati sagu, pemanfaatan pati sagu menjadi salah satu bahan baku dalam industri makanan, kosmetik, farmasi, hingga industri bahan bakar (bioethanol). Penelitian tentang pati sagu yang dilakukan oleh (Singhal et al., 2008) menemukan bahwa karakteristik fisikokimia pati sagu (komposisi kimia dan karakteristik gelatinisasi dan granula pati), bentuk-bentuk produk modifikasi dari pati sagu, yaitu: etanol, gula fermentasi, asam laktat, asam kojik, siklodekstrin, pati sagu yang dimodifikasi agar lebih fungsional (hydroxypropylated dan acetylated), polimer ethersuccinylated hydroxyl, lapisan hidrogel sagu, produk amilosa, pyrodekstrin, bentuk-bentuk pati dalam makanan (seperti jelly, biskuit, roti, dan kue), serta dalam polimer biodegradabel dan tekstil, sedangkan ampas sagu dapat diolah untuk bahan baku substrat enzim, juga digunakan sebagai adsorben dalam bentuk karbon aktif. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Quek et al., 1998) untuk memanfaatkan ampas sagu sebagai adsorben dilakukan untuk menyerap logam timbal dan tembaga yang berada di perairan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ampas sagu sangat baik dalam menyerap timbal dibandingkan tembaga pada penyerapan awal dan kapasitas penyerapan yang lebih baik.

Proses ekstraksi pati sagu yang dilakukan oleh industri menghasilkan bahan buangan, yaitu: kulit sagu (yang diperoleh dari awal proses), ampas sagu (dihasilkan dalam bentuk serat dari proses penghancuran dan penyaringan), dan air limbah sagu (dihasilkan dari proses pencucian dan penyaringan pati sagu). Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah limbah dari proses ekstraksi sagu telah dilakukan. Ampas sagu yang masih mengandung banyak pati dan lignoselulosa sangat baik digunakan sebagai bahan untuk

menghasilkan gula fermentasi, enzim, pakan, dan kompos. Kulit sagu yang masih mengandung lignin dan strukturnya yang kuat diolah dengan metode biokomposit untuk menghasilkan kayu lapis sagu, ubin dinding, dan papan partikel. Komposisinya menjadikan kulit batang sagu sangat potensial sebagai material bangunan (Awg-Adeni et al., 2010).

Ampas sagu memiliki potensi yang masih dapat digunakan sebagai bahan makanan dan pakan ternak (Karim et al., 2008), sebagai bioetanol (Dhiputra et al., 2015), sebagai adsorben logam berat dalam pengolahan air limbah (Karthika et al., 2010), potensinya sebagai sumber bioenergi (Prastowo, 2015; Singh & Mishra, 2005). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ampas sagu dapat dimanfaatkan sebagai substrat untuk memproduksi bioetanol (Numberi, 2018; Nuryanti et al., 2014; Thangavelu et al., 2019; Vincent, 2015). Ampas sagu juga dapat dimanfaatkan sebagai substrat untuk produksi laccase dengan metode fermentasi substrat padat (*Solid Substrate Fermentation*) (Rifat et al., 2003), ampas sagu kering dapat diolah menjadi gula fermentasi melalui proses hidrolisis asam dan enzimatik (Kumoro et al., 2008). Selain dijadikan sebagai bioetanol, ampas sagu juga berpotensi dijadikan biogas karena kandungan pati yang terlarut dalam ampas sagu masih cukup besar sehingga dapat menjadi salah satu upaya alternatif dalam mengolah limbah hasil pengolahan sagu.

Penelitian tentang pemanfaatan limbah sagu sebagai sumber energi terbarukan masih terbatas pada pemanfaatan air limbah sagu (effluent) sebagai substrat. Penambahan air limbah sagu kedalam kotoran sapi sebagai pengencer dapat menghasilkan 29505 mL biogas (Palanisamy & Rajasekaran, 1986). Selain itu penggunaan air limbah sagu dapat menghasilkan biogas sebanyak 99,4 mL/hari pada pH 7, suhu 32 °C, dan nilai BOD awal 1374 mg/L (Sangeetha & Sivakumar, 2016). Air limbah pengolahan sagu yang di proses dengan

fermentasi anaerobik menggunakan bakteri metanogenik dapat menghasilkan biogas yang dimurnikan hingga mencapai 99,9% metana (Thivyah, 2019).

Seluruh hasil penelitian yang diperoleh dalam bentuk jurnal dan tertulis dalam kajian pustaka, mengkaji proses pengolahan sugu mulai dari pola hidup dan sebaran tanaman sugu, karakteristik fisikokimia pati sugu, karakteristik limbah yang dihasilkan, biokonversi limbah sugu menjadi produk yang bermanfaat dalam industri makanan, kosmetik, farmasi, bioenergi, hingga usaha untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar dalam air hasil pencucian pati sugu yang terbuang ke lingkungan.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian terdahulu yang berasal dari kajian pustaka dan jurnal-jurnal yang tercantum pada tabel 1, belum ditemukan penelitian tentang pemanfaatan ampas sugu sebagai energi alternatif, khususnya biogas. Kajian terhadap potensi pemanfaatan ampas sugu sebagai energi alternatif untuk skala laboratorium dan bagaimana persepsi masyarakat dalam mendukung upaya pengolahan limbah sugu perlu dikaji sehingga diharapkan hasil penelitian ini direkomendasikan untuk menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan lingkungan khususnya di lokasi-lokasi pengolahan sugu. Luaran penelitian ini adalah menemukan metode pretreatment yang tepat untuk degradasi lignoselulosa ampas sugu serta kondisi optimal produksi biogas dari ampas sugu.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan Umum

Salah satu teknologi yang coba dikembangkan adalah bagaimana mengolah limbah padat (ampas) sugu menjadi produk yang bermanfaat dan dapat digunakan yaitu dengan menjadikan biogas yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai energi alternatif.

Penelitian ini bertujuan menghasilkan inovasi teknologi dalam proses pengolahan limbah sagu yang ramah lingkungan khususnya untuk wilayah studi. Biogas yang diperoleh diharapkan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat menggantikan bahan bakar yang digunakan dalam menjalankan proses produksi pabrik pengolahan sagu skala kecil, selain itu juga memenuhi kebutuhan energi rumah tangga sehari-hari. Pengolahan ampas sagu menjadi biogas diharapkan dapat mengurangi konsentrasi bahan buangan organik ke lingkungan. Proses pembuatannya yang sederhana diharapkan dapat dilakukan oleh masyarakat sendiri sehingga dapat memberikan nilai ekonomis dan mengurangi pengeluaran keluarga.

Tujuan Khusus

Tujuan khusus penelitian digunakan untuk menjawab rumusan masalah. Tujuan khususnya adalah:

1. Memperoleh karakteristik komposisi kimia limbah pengolahan sagu (ampas sagu dan air limbah sagu).
2. Mengkaji disain eksperimental pada digester untuk menghasilkan biogas dari ampas sagu.
3. Menentukan kondisi optimum proses produksi biogas dari ampas sagu.
4. Mengetahui persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan limbah pengolahan sagu sebagai sumber energi alternatif berdasarkan karakteristik sosial ekonomi masyarakat.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan sumbangan untuk berbagai pihak terutama:

1. Dunia ilmu pengetahuan dan teknologi, memberikan kontribusi ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang energi baru terbarukan yang ramah lingkungan.
2. Pemerintah daerah, informasi ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengambil kebijakan pengolahan limbah padat pengolahan sagu sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.
3. Pemilik usaha sagu yang menghasilkan limbah, dapat memperoleh energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

