

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Seiring dengan meningkatnya pembangunan sektor ekonomi, maka konsumsi energi di semua sektor juga tumbuh sangat pesat dengan rata-rata 4% per tahun di kurun waktu tahun 2000-2007. Sektor industri merupakan pengonsumsi energi terbesar (Pusat Data dan Informasi ESDM, 2008). Terkait dengan kebijakan konservasi energi adalah adanya Rencana Induk Konservasi Energi Nasional tahun 2005 yang diturunkan melalui Perpres No.5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, UU No. 30 tahun 2007 tentang Energi, Inpres No.2 tahun 2008 tentang Penghematan Energi dan Air. Sasaran yang ditargetkan dalam kebijakan konservasi energi di semua sektor adalah tercapainya elastisitas energi kurang dari 1 pada tahun 2025 dan bauran energi (energi mix) yang optimal pada tahun 2025 (Perpres No. 5 tahun 2006). Elastisitas energi adalah perbandingan antara tingkat pertumbuhan konsumsi energi dengan tingkat pertumbuhan ekonomi. Elastisitas energi Indonesia sekarang mencapai 1,84 yang berarti masih sangat boros dalam mengonsumsi energi. Sebagai pembanding, negara Malaysia elastisitas energinya sebesar 1,69; Taiwan 1,36; Thailand 1,16; Italia 1,05; Singapura 0,73; Prancis 0,47; Amerika Serikat 0,26; Kanada 0,17; Jepang 0,10; Inggris 0,03; dan Jerman 0,12 (Blue Print Pengelolaan Energi Nasional Departemen ESDM, 2006).

Dari data tersebut di atas membuktikan bahwa Indonesia paling boros mengonsumsi energi di antara negara-negara lain. Untuk penggunaan energi primer mix pada tahun 2025 adalah optimal dengan rincian sebagai berikut: sumber energi dari

minyak bumi 20 %, batubara 33 %, gas bumi/gas alam 30 % dan yang lain 17 %. Sumber energi yang lain merupakan energi yang bersumber dari Energi Baru Terbarukan (EBT) di antaranya adalah energi nuklir, energi panas bumi, energi surya, energi air, dan energi biofuel.

Tuntutan yang semakin mendesak untuk mencari sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan, mengingat ketersediaan energi fosil yang kian waktu kian menipis, penghapusan subsidi yang menyebabkan harga minyak naik, dan kualitas lingkungan yang menurun akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Oleh sebab itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi suatu pilihan (Hozairi *et al.*, 2012).

Biogas merupakan bioenergi, yaitu salah satu sumber energi alternatif terbarukan yang berasal dari bahan organik yang didegradasi secara anaerobik oleh bakteri dalam lingkungan bebas oksigen (Soerawidjaja, 2006). Biogas merupakan gas yang sifatnya mudah terbakar yang dihasilkan melalui beberapa tahapan proses anaerobik, yaitu hidrolisis, asidifikasi dan metanasi. Komponen utama dari biogas yaitu metana (CH_4 54-70%-vol) dan karbondioksida (CO_2 20-45%-vol), di samping itu juga terdapat gas lain yang jumlahnya relatif lebih kecil, yaitu hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), hidrogen (H_2), nitrogen (N_2), dan uap air (H_2O).

Biogas mulai dikenal di Indonesia sekitar tahun 1980-an, tetapi pemanfaatannya baru mulai digunakan di awal tahun 1990 dalam skala kecil untuk keperluan rumah tangga. Padahal ada manfaat lain dari biogas apabila dikelola dengan baik, antara lain untuk lampu penerangan, bahan bakar mesin gas (*gas engine*) untuk pembangkit listrik ataupun penyediaan energi untuk keperluan lainnya. Saat ini, biogas sudah mulai

dikembangkan dan dimanfaatkan oleh beberapa industri sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak (Kwartiningsih, 2007). Selain berpotensi tinggi, pemanfaatan energi biogas memiliki banyak keuntungan antara lain: mengurangi efek terjadinya gas rumah kaca (GRK), mengurangi bau tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan panas dan daya (mekanis/listrik) serta memperoleh hasil samping berupa pupuk padat dan cair (Hozairi *et al.*, 2012). Arsana (2005) menyebutkan bahwa kegiatan yang berpotensi sebagai sumber biogas antara lain rumah potong hewan, tempat pemrosesan akhir (TPA), industri peternakan, industri makanan (tahu, tempe, susu, restoran), sampah organik pasar, limbah domestik/tinja, pengolahan limbah industri dan sebagainya. Sadzali (2010) menyebutkan bahwa dari jumlah industri tahu yang ada di Indonesia, limbah tahu sangat berpotensi untuk dijadikan sumber biogas. Hingga bulan Mei tahun 2010, jumlah industri tahu yang ada di Indonesia mencapai 84.000 unit usaha dengan produksi lebih dari 2,56 juta ton per hari. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu sebesar 15-20 liter/kg bahan baku kedelai, dan kandungan zat organiknyanya sangat tinggi dengan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) berkisar antara 7.500-14.000 mg/liter (Herlambang, 2002). Apabila air limbah tersebut dibuang langsung ke badan air, maka akan menimbulkan pencemaran lingkungan perairan, sehingga perlu dilakukan upaya pengendalian atau pemanfaatan limbah sebelum dibuang ke badan air, antara lain dengan pemanfaatan sebagai sumber energi berupa biogas, sesuai dengan UU No. 32 Tahun 2009. Pada proses degradasi secara anaerob, setiap 1 kg COD akan menghasilkan 350 liter CH₄ (Benfield dan Randall, 1980). Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair industri tahu memiliki potensi yang sangat besar sebagai bahan baku pembentukan biogas.

Komposisi senyawa gas yang terkandung dalam biogas berbeda-beda, tergantung dari bahan baku pembuatannya. beban organik yang masuk dalam digester, waktu, dan temperatur dekomposisi anaerobik. Biogas terbentuk melalui serangkaian reaksi, yang terbentuk dari polisakarida, lemak, dan protein melalui proses hidrolisis, asetonik, dan metanogenik. Komposisi kandungan senyawa gas dalam biogas yang dihasilkan dari limbah tahu pada proses perombakan biomassa secara anaerob mengandung metana (CH_4) sebesar 53,45-56,89%, karbondioksida (CO_2) 31,48-34,10%, hidrogen sulfida (H_2S) 6,04-10,69%, amonia (NH_3) 0,001-0,003%, karbon monoksida (CO) 0,0027-0,0030%, kadar air 2,17-3,37%, dan gas lainnya 0,80-1,00% (Hasil Analisis Laboratorium BBTPPI, 2010).

Dari data tersebut, tampak jelas bahwa biogas adalah gas-gas campuran dengan kandungan tertinggi adalah gas metana (CH_4), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Nilai kalori biogas berkisar antara 500-700 BTU/ft³ atau 4.500-6.300 kcal/m³ atau 17.900-25.000 kJ/m³ (Polprasert, 2007). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana akan semakin kecil nilai kalornya. Sebagai pembanding, gas alam (LNG) yang merupakan campuran metana, propana, dan butana memiliki nilai kalor 37.300 kJ/m³ (1.000 BTU/ft³). Konversi bahan organik menjadi biogas masih dianggap tidak terlalu ramah lingkungan, karena potensi kebocoran metana. Dengan memanfaatkan biogas sebagai sumber energi, berarti mengurangi gas rumah kaca yang terbentuk terlepas ke atmosfer yang dapat mempengaruhi suhu lingkungan.

Kualitas biogas yang masih belum optimal tersebut dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan terhadap beberapa komponen parameter gas yang ada di dalamnya, yaitu dengan menghilangkan gas-gas pengotornya, seperti hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), uap air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2). Sifat kebahayaan terhadap manusia dan lingkungan yang dimiliki oleh masing-masing komponen gas pengotor tersebut adalah sebagai berikut.

Hidrogen sulfida (H_2S) adalah gas yang tidak berwarna, berbau seperti telur busuk, pada konsentrasi rendah bau dapat tercium, bersifat iritan pada mata dan saluran pernafasan, pada konsentrasi sedang (150 ppm) akan mematikan syaraf penciuman sehingga tidak tercium. Pada konsentrasi 300 ppm atau lebih, amat berbahaya jika terhirup karena dapat menyebabkan kematian dalam beberapa menit. Efek jangka panjang (kronis) apabila menghirup terus menerus dengan konsentrasi rendah sampai sedang yaitu berdampak pusing, terganggunya keseimbangan tubuh, dan kelelahan. Nilai ambang batas hidrogen sulfida adalah sebesar 10 ppm (14 mg/m^3). Gas H_2S bersifat korosif terhadap logam Cu, Cd, dan Hg serta oksida logam. Gas H_2S bila terbakar akan menghasilkan gas sulfur dioksida/sulfur trioksida (SO_2/SO_3) yang sangat korosif dan beracun. Pada saat yang sama akan terbentuk sulphuric acid (H_2SO_3) yang merupakan suatu senyawa yang lebih korosif (Imamkhasani, 1998). Nilai ambang batas H_2S di udara ambien adalah sebesar 0,02 ppm (Kep-50/MenLH/11/1996).

Amonia (NH_3) adalah gas tidak berwarna, berbau tajam, iritan terhadap saluran pernafasan, hidung, tenggorokan, dan mata pada konsentrasi 400-700 ppm. Kontak dengan mata dapat menimbulkan kebutaan. Selain itu dapat menimbulkan gangguan paru-paru pada konsentrasi 5.000 ppm dan menimbulkan kematian. Gas NH_3 mudah

larut dalam air. Nilai ambang batasnya sebesar 25 ppm (18 mg/m^3). Pada suhu kamar, senyawa amonia bersifat stabil (Imamkhasani, 1998). Baku mutu gas NH_3 di udara ambien sebesar 2 ppm (Kep-50/MenLH/11/1996).

Uap air (H_2O) yang terkandung dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan logam pembakar dan juga menyebabkan nilai kalori biogas turun (rendah) apabila kandungan uap air terlalu banyak. Uap air dalam biogas dapat menyebabkan mati pada nyala api pembakaran. Gas-gas lain seperti H_2 dan N_2 bersifat inert dan dalam konsentrasi kecil.

Karbon dioksida (CO_2) yang terkandung dalam biogas dihasilkan dari proses fermentasi yang konsentrasinya cukup signifikan. Gas ini mempunyai dampak sebagai Gas Rumah Kaca dan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global di muka bumi berdasarkan Protokol Kyoto tahun 2007. Selain itu, gas CO_2 merupakan gas pengotor yang komponennya cukup besar dalam biogas $> 30\%$, sehingga adanya gas CO_2 dapat mempengaruhi nilai kalori biogas (rendah) dan menurunkan kualitas biogas sebagai gas pembakar, juga dapat menyebabkan terjadinya korosi pada peralatan logam.

Dari uraian di atas, biogas yang dihasilkan dari proses digestasi apabila tidak dimanfaatkan sebagai sumber energi akan menimbulkan kerugian terhadap manusia dan lingkungan. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi dilihat dari konsentrasi gas CH_4 yang terkandung di dalamnya, semakin tinggi konsentrasinya akan semakin baik, sehingga gas-gas pengotor yang terkandung di dalam biogas harus dihilangkan, untuk memperoleh gas metana dengan konsentrasi tinggi. Penghilangan gas-gas pengotor dapat dilakukan dengan berbagai teknik, antara lain adsorpsi pada padatan, absorpsi ke dalam cairan, permeabel melalui membran dan *cryogenic* (Biernat dan Samson-Brek,

2011). Namun, pada umumnya proses pemurnian biogas yang telah dilakukan hanya bertujuan untuk menyisihkan salah satu atau beberapa gas-gas pengotor saja, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk memurnikan biogas secara menyeluruh. Metode pemurnian yang dipilih harus ramah lingkungan (tidak menyebabkan permasalahan lainnya/*secondary waste*) agar biogas dapat benar-benar menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Untuk menghilangkan kandungan uap air dari biogas dapat digunakan proses kondensasi. Proses ini tidak menghasilkan *secondary waste* karena sistem yang digunakan adalah sistem tertutup. Kemudian, untuk menghilangkan kandungan H₂S, NH₃, dan CO₂ digunakan proses adsorpsi dengan adsorben karbon aktif dan zeolit. Karbon aktif dipilih sebagai adsorben karena daya reaktifnya terhadap kandungan H₂S dan NH₃, sedangkan zeolit dipilih karena reaktif terhadap CO₂. Maka, didapatkan suatu rangkaian proses secara terintegrasi untuk memurnikan biogas dari komponen gas-gas pengotornya.

B. PERUMUSAN MASALAH

Perilaku masyarakat industri tahu di Indonesia pada umumnya tidak mengolah air limbah yang dihasilkannya. Hampir semua industri tahu terletak di tepi sungai, yang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai tempat membuang air limbah tanpa dilakukan pengolahan. Sadzali (2010) mencatat jumlah industri tahu di Indonesia mencapai 84.000 unit usaha dengan produksi 2,56 juta ton per hari. Kegiatan produksi tahu masih tergantung pada tenaga kerja manusia, yang pada umumnya berasal dari masyarakat sekitar industri tahu tersebut. Dapat dikatakan bahwa industri tahu membawa dampak

positif secara sosial, tetapi berdampak negatif pada lingkungan. Banyaknya jumlah industri tahu tersebut, yang disertai perilaku tidak mengolah air limbahnya, dapat mencemari lingkungan perairan tempat dibuangnya air limbah tersebut. Hal ini mengingat dalam air limbah tahu terkandung zat organik (COD) yang cukup tinggi, yaitu antara 7.500-14.000 mg/l (Herlambang, 2002). Pengolahan air limbah industri tahu pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) konvensional, hanya bertujuan untuk menyisihkan kandungan polutan dalam air limbah. Beberapa industri tahu pada sentra industri tahu Sumber Rejeki memiliki unit pengolahan air limbah berupa digester biogas, yang tidak hanya berfungsi mendegradasi kandungan zat organik, tetapi juga dapat menghasilkan biogas.

Penggunaan energi biogas secara langsung semakin banyak dan marak diterapkan baik oleh masyarakat, industri, maupun kegiatan lainnya, hal ini disebabkan karena harganya relatif murah dibanding penggunaan energi fosil, karena bahan baku biomassa dengan *organic loading rate* (OLR) tinggi mudah didapat dan terbarukan, selain itu harganya juga relatif murah. Instalasi digester anaerob yang konvensional pun tidak terlalu sulit dalam pembuatannya, artinya *hydraulic retention time*-nya masih butuh waktu yang panjang atau lama.

Biogas yang dihasilkan dari digester anaerob limbah tahu masih mengandung berbagai komponen gas pengotor, antara lain H_2S , NH_3 , CO_2 , dan H_2O . Gas-gas pengotor ini selain akan mengganggu di dalam proses pembakaran, juga menurunkan nilai kalori dan akan dihasilkan juga gas-gas beracun, korosif serta berbau yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan gas beracun dan berbau, serta dapat menyebabkan korosi. Apabila biogas mengandung

senyawa ini dapat menyebabkan sifat gas yang berbahaya. Konsentrasi yang diijinkan di udara ambien maksimal 0,03 ppm (Imamkhasani, 1998). Bila gas hidrogen sulfida dibakar akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulfur dioksida/sulfur trioksida (SO_2/SO_3), senyawa ini lebih beracun dan berbahaya bagi lingkungan. Pada saat yang sama akan terbentuk *sulphuric acid* (H_2SO_3) yang merupakan suatu senyawa yang lebih korosif. Tujuan penghilangan komponen gas karbon dioksida (CO_2) adalah untuk mengurangi dampak gas rumah kaca dan efek pemanasan global, selain untuk meningkatkan kualitas biogas. Kandungan uap air (H_2O) dalam biogas akan menurunkan titik penyalaan biogas (api sering mati) serta dapat menimbulkan korosi. Oleh sebab itu, perlu dilakukan proses pemurnian terhadap biogas.

Pemurnian biogas dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi adsorpsi, absorpsi, permeabel melalui membran, *scrubber*, dan *cryogenic* (Biernat dan Samson-Brek, 2011). Teknologi absorpsi, membran, dan *scrubber* dapat menghasilkan *secondary waste* yang menyebabkan pencemaran lingkungan, sedangkan teknologi *cryogenic* merupakan teknologi yang sangat mahal. Beberapa penelitian telah dilakukan proses pemurnian biogas, namun hanya untuk proses penghilangan salah satu atau beberapa gas pengotor secara parsial, sehingga hasil yang diperoleh belum bisa mendapatkan gas metana dengan kemurnian tinggi. Selain itu, belum ada yang melakukan penelitian pemurnian biogas secara terintegrasi dan menyeluruh untuk menghilangkan komponen gas-gas pengotor yang terkandung di dalamnya, sehingga mendapatkan kemurnian metana (CH_4) yang tinggi mencapai *pipeline quality gas* (biometana). Yang dimaksud dengan *pipeline quality gas* adalah biogas yang telah

dibersihkan dari gas-gas pengotornya sehingga memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Svensson (2014) menyebutkan di Belgia dan Belanda, kadar CH₄ dalam biogas untuk dapat menjadi biometana minimal adalah 85%, dengan kadar CO₂ masing-masing pada kedua negara tersebut adalah $\leq 2,5\%$ dan $\leq 6\%$. Hal ini perlu diteliti dan digali dalam penelitian ini. Teknologi proses pemurnian secara terintegrasi yang dimaksud adalah rangkaian proses kondensasi untuk menghilangkan uap air dan proses adsorpsi bertingkat untuk menghilangkan komponen gas H₂S, NH₃, dan CO₂. Hasil dari penelitian ini merupakan salah satu upaya untuk mendapatkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Manfaat dari teknologi proses pemurnian ini akan diperoleh selain sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, diperoleh pula kenaikan nilai kalori yang cukup signifikan, dan mengurangi risiko terjadinya pencemaran lingkungan, mengurangi efek gas rumah kaca dan mencegah pemanasan global serta gas hasil pembakaran tidak berbahaya bagi lingkungan.

Dari uraian di atas, disusun perumusan permasalahan sebagai berikut.

- a. Apakah biogas dari limbah industri tahu dapat dikembangkan menjadi sumber energi terbarukan bagi industri tahu dan masyarakat?
- b. Apakah komponen gas-gas pengotor (H₂S, NH₃, CO₂, dan H₂O) yang terkandung dalam biogas dapat dihilangkan secara terintegrasi?
- c. Bagaimanakah penerapan teknologi pemurnian biogas yang terintegrasi dalam satu sistem untuk mendapatkan kemurnian metana (CH₄) mencapai *pipeline quality gas*?
- d. Rekomendasi apa yang dapat diberikan pada masyarakat industri untuk mendapatkan sumber energi terbarukan berbasis biogas yang ramah lingkungan dan berkelanjutan?

C. ORISINALITAS

Penelitian mengenai pembuatan biogas yang dikenal sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dari limbah organik sudah banyak dilakukan, salah satunya oleh Ihsan *et al.* (2013) yang membuat biogas dari campuran cairan isi rumen sapi dan limbah cair tempe dengan variasi rasio cairan isi rumen sapi dan limbah cair tempe dan waktu fermentasi dalam kaitannya dengan volume biogas yang dihasilkan. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa jika komposisi nutrisi yang dibutuhkan oleh bakteri dalam menghasilkan biogas seimbang, maka akan dihasilkan biogas dengan jumlah maksimal. Selain itu, Sadzali (2010) memanfaatkan limbah tahu sebagai bahan dasar untuk membuat biogas, didapatkan bahwa 1 kg kedelai dapat menghasilkan 15 liter biogas. Putri *et al.* (2012) membuat biogas dari kombinasi kotoran sapi dan air, dan kotoran sapi dan rumen. Dari penelitian ini diketahui bahwa rasio kotoran sapi dan air yang paling optimal dalam pembentukan biogas adalah 1 : 3, sedangkan rasio kotoran sapi dan rumen yang optimal adalah 1 : 2. Kotoran sapi juga dimanfaatkan oleh Hozairi *et al.* (2012) untuk dijadikan biogas untuk meningkatkan pertumbuhan UMKM di Kabupaten Pamekasan. Pembuatan biogas ini dilakukan dalam skala rumah tangga dengan model reaktor yang paling cocok adalah model sederhana dari tangki bekas dan tong plastik dengan kapasitas sebesar 4 m³.

Namun, dari biogas yang dihasilkan tersebut, terdapat kandungan pengotor yang cukup tinggi, sehingga mengurangi nilai kalor dari biogas dan menyebabkan berbagai masalah dalam aplikasi di kehidupan sehari-hari, seperti korosi pada pipa penyalur, korosi pada mesin apabila digunakan sebagai bahan bakar, atau korosi pada burner pada kompor apabila digunakan untuk memasak, serta permasalahan lingkungan yang dapat

berdampak pada kesehatan manusia. Untuk itu, kandungan pengotor dalam biogas perlu dihilangkan, sehingga biogas dapat menjadi salah satu solusi untuk sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Kandungan pengotor yang ada dalam biogas dalam jumlah yang cukup besar antara lain H_2S dan CO_2 . Cebula (2009) menyebutkan berbagai macam teknik yang dapat digunakan untuk memurnikan biogas, yaitu teknik adsorpsi, absorpsi, dan biologi (dengan bantuan makhluk hidup).

Kwartiningsih (2007) dan Negara *et al.* (2012) telah melakukan penelitian untuk memurnikan biogas dari H_2S dengan menggunakan limbah pembubutan logam. Adapun yang membedakan adalah, Kwartiningsih menggunakan limbah logam menjadi Fe-EDTA 0,2 M sebagai absorben dengan efisiensi penyisihannya mencapai 99%, sedangkan Negara *et al.* menggunakan limbah logam tersebut sebagai adsorben dengan efisiensi penyisihan mencapai 93,59%. Aditya *et al.* (2012) juga melakukan penelitian pemurnian biogas dari gas H_2S , tetapi absorben yang digunakan adalah NaOH, $CuSO_4$, dan $Fe_2(SO_4)_3$ dengan efisiensi penyisihan H_2S yang paling baik dari masing-masing absorben sebesar 96,32%, 87,19%, dan 78,05%. Namun, tidak disarankan penggunaan NaOH dan $CuSO_4$ dalam skala besar, karena tidak dapat diregenerasi. Alwathan *et al.* (2013) melakukan pemurnian biogas dari hasil pengolahan limbah cair rumah sakit dengan menggunakan karbon aktif dalam berbagai ukuran dengan hasil yang terbaik dalam menyerap H_2S adsorben berukuran 14 mesh. Teknik biologi juga digunakan untuk memurnikan biogas dari H_2S oleh Fischer (2010) yang menggunakan teknologi biofilter. Fischer mendapatkan hasil bahwa biofilter yang diinokulasikan lumpur aktif dapat mereduksi kandungan H_2S dalam biogas lebih baik daripada yang tidak diinokulasi lumpur aktif. Biofilter dengan inokulasi lumpur aktif dapat mereduksi

hingga 98,9% H₂S, sedangkan biofilter tanpa inokulasi lumpur aktif hanya mampu mereduksi 31-56% saja H₂S.

Di samping itu, Ofori-Boateng dan Kwofie (2009) juga melakukan penelitian pemurnian biogas dari CO₂ dengan menggunakan metode *water scrubbing* yang disebut sebagai metode paling ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan dengan metode biologi dan absorpsi kimia. Dalam penelitian tersebut, 93% kandungan CO₂ mampu direduksi dari biogas. Lain halnya dengan penelitian yang dilakukan Mara (2012) yang memurnikan biogas dari CO₂ dengan menggunakan larutan NaOH yang kemudian dihubungkan dengan daya yang dihasilkan oleh larutan NaOH. Semakin tinggi kandungan CO₂ yang dapat direduksi, akan semakin besar daya yang dihasilkan. Dari penelitian tersebut, didapatkan CO₂ yang paling banyak disisihkan adalah dengan perlakuan larutan NaOH 2,5 M dengan daya yang dihasilkan sebesar 108,5 watt. Vijay *et al.* (2006) melakukan pemurnian dengan menggunakan *packed bed scrubber* dengan efisiensi penyisihan mencapai 95%. Widyastuti *et al.* (2013) memurnikan biogas dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang sawit yang dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Setelah diadsorpsi, didapatkan hasil bahwa kadar CH₄ dalam biogas meningkat sebesar 7% dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dan 12,9% apabila menggunakan karbon aktif komersial. Selain itu, Apriyanti (2012) juga melakukan penelitian memurnikan biogas dari CO₂ dengan menggunakan zeolit, yang mana zeolit dengan berat 300 gr dapat mengadsorpsi CO₂ lebih baik, yang dipengaruhi oleh jenis, ukuran, partikel, ukuran pori, jumlah zeolit, serta bentuk dan ukuran kolom.

Purifikasi biogas dengan menggunakan zeolit juga dilakukan oleh Hamidi *et al.* (2011) dan Listyowati *et al.* (2012) dengan pengotor yang disisihkan adalah H₂S dan CO₂. Dengan disisihkannya kandungan pengotor dari biogas, diketahui bahwa kandungan CH₄ dalam biogas meningkat sebesar 37,375%. Kandungan CO₂ yang dapat disisihkan maksimal sebesar 87,041% dan H₂S maksimal sebesar 64,977%.

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut, setiap metode diketahui dapat menyisihkan gas pengotor dengan karakteristik proses masing-masing. Metode absorpsi dapat menghasilkan efisiensi penyisihan yang tinggi tetapi metode tersebut menghasilkan *secondary waste*. Metode *water scrubbing* diklaim oleh Ofori-Boateng dan Kwofie (2009) sebagai metode yang lebih ramah lingkungan dibandingkan metode pemurnian biogas secara kimia dan biologi. Tetapi metode tersebut membutuhkan air dalam jumlah yang relatif banyak dan untuk proses regenerasi air tersebut masih diperlukan bahan kimia. Metode adsorpsi dapat dikatakan lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan *secondary waste*, tetapi efisiensi penyisihannya tidak terlalu besar berdasarkan hasil penelitian-penelitian di atas. Untuk meningkatkan efisiensi penyisihan gas-gas pengotor, maka diperlukan adanya suatu integrasi metode adsorpsi bertingkat dengan menggunakan adsorben karbon aktif dan zeolit. Gas H₂S dalam biogas dapat disisihkan dengan menggunakan karbon aktif, dimana H₂S diubah menjadi unsur S dan air (Bansal dan Goyal, 2005). Karbon aktif juga dapat menyisihkan NH₃ (Galante *et al.*, 2012). Penelitian mengenai penyerapan gas CO₂ menggunakan karbon aktif dilakukan oleh Martin *et al.* (2010) dan Siriwardane *et al.* (2001a), hasilnya menunjukkan bahwa karbon aktif mampu menyerap CO₂ dengan baik tetapi membutuhkan tekanan yang cukup tinggi. Siriwardane *et al.* (2001) menyebutkan

bahwa zeolit 13X memiliki penyerapan CO₂ yang lebih baik dibandingkan karbon aktif pada tekanan hingga 250 psia. Penelitian lain mengenai kemampuan penyerapan CO₂ juga dilakukan oleh Susanto *et al.* (2013) yang mendapatkan bahwa zeolit memiliki penyerapan yang lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif. Selain itu, zeolit 13X juga diketahui dapat menyerap gas H₂S dengan baik pada temperatur 25°C (Melo *et al.*, 2006), yang didukung oleh Kohl dan Nielsen (1997) yang menyatakan bahwa zeolit 13X dapat menyerap H₂O, H₂S, dan CO₂. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif dan zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap gas-gas pengotor dalam biogas. Tetapi dalam penelitian-penelitian tersebut, hampir semuanya meneliti penyerapan hanya 1 jenis gas untuk 1 jenis adsorben dan belum dapat menghilangkan keseluruhan gas pengotor, sehingga CH₄ belum dapat mencapai kemurnian yang maksimal. Maka, konsep untuk mengintegrasikan kedua adsorben tersebut muncul untuk dapat saling melengkapi fungsinya, sehingga seluruh gas pengotor dapat dihilangkan dari biogas dan mendapatkan metana dengan kemurnian tinggi setara *pipeline quality gas* atau disebut dengan *biomethane*.

Penelitian pemurnian biogas telah dilakukan oleh beberapa peneliti, dengan berbagai bahan baku biogas yang digunakan. Biogas yang dimurnikan pada penelitian Alwathan *et al.* (2013) adalah biogas dari limbah cair rumah sakit. Ofori-Boateng dan Kwofie (2009) menggunakan biogas dari air limbah perkotaan, sedangkan Mara (2012) menggunakan biogas dari kotoran sapi untuk dimurnikan. Sementara Aditya *et al.* (2012) menggunakan biogas dari limbah cair alkohol. Widyastuti *et al.* (2013) menggunakan biogas hasil fermentasi sampah organik, dan Fischer (2010) menggunakan biogas dari limbah peternakan.

Dari uraian di atas, maka penelitian “Pemurnian Biogas Untuk Mencapai *Pipeline Quality Gas* Sebagai Sumber Energi Terbarukan yang Ramah Lingkungan” pada biogas dari air limbah industri tahu yang dilakukan melalui penghilangan seluruh gas-gas pengotor (H_2S , CO_2 , NH_3 , dan H_2O) secara terintegrasi dengan metode kondensasi dan adsorpsi bertingkat menggunakan 2 adsorben (karbon aktif dan zeolit) merupakan penelitian *original* dalam hal permasalahan yang diteliti, metode (teknologi pemurnian) dan bahan penelitian (biogas dari air limbah industri tahu), sehingga diyakini merupakan *novelties* dalam penelitian ini. Matriks hasil-hasil penelitian terdahulu yang mendukung orisinalitas penelitian dapat dilihat pada Lampiran 2.

D. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan umum: Melakukan penelitian untuk mencari sumber energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan berbasis biogas dengan menghilangkan atau mereduksi gas-gas pengotor yang terkandung di dalamnya untuk mencapai *pipeline quality gas*.

Tujuan Khusus

- a. Mengembangkan sumber energi terbarukan berbasis biogas dari air limbah industri tahu bagi industri tahu dan masyarakat.
- b. Menghilangkan/mereduksi gas-gas pengotor (H_2S , NH_3 , CO_2 dan H_2O) yang terkandung dalam biogas melalui proses kondensasi dan adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dan zeolit.
- c. Mengevaluasi penerapan teknologi yang terintegrasi dalam satu sistem untuk mendapatkan kemurnian metana (CH_4) mencapai *pipeline quality gas*.

- d. Merekomendasikan penerapan teknologi pemurnian biogas yang terintegrasi sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan pada masyarakat industri.

E. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan sumber energi terbarukan berbasis biogas untuk mencapai *pipeline quality gas* yang ramah lingkungan.

- b. Pemerintah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu Pemerintah dalam menentukan kebijakan dan rekomendasi di bidang pengembangan sumber energi alternatif terbarukan berbasis biogas untuk mendapatkan *pipeline quality gas* yang ramah lingkungan

- c. Industri dan masyarakat

Mendapatkan inovasi teknologi sumber energi terbarukan berbasis biogas pengganti bahan bakar fosil yang murah dan ramah lingkungan setingkat *pipeline quality gas*.

F. LUARAN PENELITIAN

Luaran dari penelitian ini adalah kebaruan teknologi pemurnian biogas yang terintegrasi melalui proses kondensasi dan adsorpsi bertingkat dengan adsorben karbon

aktif dan zeolit dan publikasi ilmiah berupa artikel-artikel yang dipublikasikan di jurnal internasional, *international conference*, jurnal nasional dan seminar nasional.