

TINJAUAN RINGKAS TEKNOLOGI GASIFIKASI PLASMA DALAM PENGOLAHAN LIMBAH PADAT MENJADI ENERGI BARU TERBARUKAN

Bayu Prasetya Putra^{1*}, dan Nazarudin Sinaga²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro, Jl. Imam Bardjo, SH No.5, Semarang, 50241

²Dapartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedarto, Semarang, 50275

*E-mail: Bayuprasetyaputra@students.undip.ac.id

Abstrak

Permasalahan sampah di Indonesia masih banyak menimbulkan masalah sosial dan lingkungan, sehingga aplikasi teknologi yang mampu menangani tingginya volume sampah semakin mendesak untuk diaplikasikan. Solusi teknologi termal dalam penanggulangan sampah yang tersedia saat ini masih membutuhkan kajian kelayakan untuk dapat diterapkan di Indonesia. Salah satu teknologi termal yang telah banyak di aplikasikan di berbagai negara adalah gasifikasi plasma. Gasifikasi plasma merupakan suatu metode efektif dalam menguraikan berbagai senyawa organik dan anorganik menjadi elemen-elemen dasar dari sebuah senyawa. Proses gasifikasi plasma meliputi: *Feed Handling*, *Plasma Gasification*, Pendingin, kompresi, dan pembersihan sintetik gas (*syngas*). Gasifikasi plasma dapat mengubah material sampah organik menjadi *syngas* yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi yang efisien dan memenuhi kebutuhan listrik.

Kata Kunci: *Sampah, Teknologi termal, Gasifikasi plasma, Syngas, Listrik*

PENDAHULUAN

Sampah padat baik biomassa dan plastik di kawasan perkotaan banyak menimbulkan masalah sosial dan lingkungan hampir diseluruh kota-kota besar di Indonesia. Penanganan sampah perkotaan di berbagai Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah tidak dilaksanakan secara konsisiten seperti yang direncanakan. Berdasarkan website Ditjen PPKL-Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, jumlah sampah Indonesia pada tahun 2016 mencapai 66 juta ton/tahun. Komposisi sampah Indonesia berupa sampah organik (sisa makanan, kayu ranting daun) sebesar 57%, sampah plastik sebesar 16%, sampah kertas 10%, serta lainnya (logam, kain teksil, karet kulit, kaca) 17%. Rata-rata presentase sampah terolah dengan cara pengomposan untuk kota di Indonesia dengan cara sebesar 16,2%, sekitar 11 juta ton/tahun. Masih terdapat 82% sampah belum terkelola.

Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak negatif. Menurunnya kualitas lingkungan yang disebabkan oleh sampah harus ditangani secara serius.

Metode pengelolaan sampah ada beberapa cara, seperti tempat pembuangan terbuka, (*open dump*), *sanitary landfill*, pengomposan (*compositing*), dan pembakaran. Akan tetapi pengelolaan sampah dengan jenis tersebut dapat memunculkan masalah-masalah lingkungan, salah satunya pencemaran air tanah. Pencemaran lingkungan dapat menyebabkan meningkatnya penyebaran penyakit, mengurangi estetika lingkungan, dan berdampak pada pemanasan global. (Sari, 2016)

Teknologi Termal seperti insinerasi, gasifikasi, dan pirolisi yang digunakan untuk pengolahan sampah adalah cara paling efektif karena dapat mengurangi volume sampah, mereduksi tingkat racun sampah, dan menghasilkan produk bernilai guna dan dapat diolah lebih lanjut. (C-Tech Innovation Ltd, 2003) Saat ini teknologi plasma termal dan non-termal banyak digunakan dalam aplikasi industri, tak terkecuali dalam pengolahan sampah. Plasma termal digunakan dalam gasifikasi plasma untuk pengolahan merupakan pilihan yang aman dan efisien karena dilakukan dengan cara yang ramah lingkungan. Gasifikasi plasma dapat mengolah beragam sampah termasuk limbah berbahaya. Keuntungan utama gasifikasi plasma adalah dapat mengkonversi sampah menjadi energi dan membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Selain itu gasifikasi plasma hanya menghasilkan dioksin sampai 100 kali lebih rendah dari insinerasi. (Edbhertho, 2004)

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan dengan kajian-kajian literatur mengenai pemanfaatan limbah padat dan teknologi gasifikasi plasma yang digunakan untuk merubah limbah padat menjadi sumber energi baru terbarukan. Teknologi termal konversi sampah menjadi energi memang belum diterapkan di Indonesia hingga saat ini. Namun, saat ini terdapat lebih dari 1200 PLTSA beroperasi di lebih dari 40 negara di seluruh dunia (ISWA, 2013). Teknologi insinerasi yang beroperasi ini telah dilengkapi dengan peralatan flue gas cleaning (pembersihan gas buang) yang memadai, dan kontrol pembakaran yang canggih sehingga dapat memenuhi kebutuhan standar emisi yang sangat ketat (KemenESDM, 2016). Dalam jurnal ini penulis akan mencoba menggali teknologi-teknologi tepat guna untuk mengatasi permasalahan limbah di Indonesia. Salah satu teknologi yang dapat menjadi solusi dalam mengatasi limbah adalah pemanfaatan teknologi plasma, atau yang dikenal dengan istilah

Gasifikasi Plasma Untuk Pengolahan LimbahBayu Prasetya Putra, dkk
 plasma gasifikasi. Dalam bab ini akan dibahas mengenai konversi limbah padat, teknologi plasma, dan jenis-jenis plasma.

Konversi Limbah Padat

Pada dasarnya terdapat dua alternatif proses pengolahan sampah menjadi energi, yaitu proses biologis dan proses termal. Perbedaan mendasar antara keduanya adalah proses biologis menghasilkan gas-bio yang kemudian dibakar untuk menghasilkan tenaga yang akan menggerakkan motor dan generator, sedangkan proses termal menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk membangkitkan steam dan mengerakkan turbin uap dan generator. Proses biologis dapat dicapai dengan cara digestion secara anaerobik (biogas) atau tanah urug (landfill). Sedangkan proses termal dapat dicapai melalui beberapa cara, yaitu insinerasi, pirolisis, dan gasifikasi. (Hutagalung, 2007)

Tabel 1. Perbedaan teknologi termal

Parameter	Pembakaran	Gasifikasi	Pirolisis
Suhu (°C)	800 - 1450	500 - 1800	250 - 900
Atmosphere	Air	O ₂ , H ₂ O	Inert, N ₂
Produk	>1	<1	0
- Fase Gas	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O	CO, CO, H ₂ O, N ₂ , HC
- Fase Solid	Ash, slag	Ash, slag	Ash, coke
- Fase Liquid	-	-	Pirolisis oil, water

Sumber: (Hill dkk., 2003)

Teknologi Plasma

Plasma adalah bentuk keempat dari zat utama yang ada di muka bumi ini, selain padat, cair, dan gas. Plasma adalah gas yang terionisasi yang dihasilkan dari *electrical discharge* secara spontan. Plasma dalam skala laboratorium dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu plasma temperatur tinggi (*fusion plasma*) dan plasma temperatur rendah (*gas discharge*). Klasifikasi dari berbagai jenis plasma dapat dilihat dalam Tabel 2 di bawah ini. Plasma temperatur tinggi berarti semua muatan (elektron, ion, maupun muatan netral) berada dalam kondisi keseimbangan termal. Plasma temperatur rendah dibagi lagi menjadi *termal plasma (quasi-equilibrium plasma)* yang berada dalam kondisi LTE (*local thermal equilibrium*), dan *non-thermal plasma* atau *cold plasma (non-equilibrium plasma)*. (H. Huang dan L. Tang, 2007)

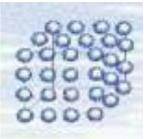
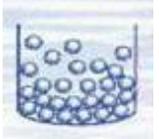
Tabel 2. Klasifikasi jenis plasma

Jenis Plasma	Temperatur	Contoh
Plasma Temperatur Tinggi (<i>Equilibrium plasma</i>)	$T_e = T_i = T_h$; $T_p = 10^6 - 10^8 \text{ K}$; $n_e \geq 10^{20} \text{ m}^{-3}$	<i>Laser fusion plasma</i>
Plasma Temperatur Rendah / plasma thermal (<i>Quasi-equilibrium plasma</i>)	$T_e \approx T_i \approx T_h$; $T_p = 2 \times 10^3 - 3 \times 10^4 \text{ K}$; $n_e \geq 10^{20} \text{ m}^{-3}$	Busur Plasma; <i>Atmospheric RF discharge</i>
Non-thermal plasma (<i>Non-equilibrium plasma</i>)	$T_e \gg T_h$; $T_p \approx 3 \times 10^2 - 4,5 \times 10^2 \text{ K}$; $n_e \approx 10^{10} \text{ m}^{-3}$	<i>Corona discharge</i>

Sumber: (H. Huang dan L. Tang, 2007)

Seperti yang telah dituliskan sebelumnya bahwa plasma sering disebut sebagai keadaan materi keempat. Plasma berbeda dari keadaan materi berenergi lebih rendah lainnya, seperti padatan, cairan, dan gas. Perbedaan antara keempat materi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini

Tabel 3. Perbedaan Plasma dengan ketiga jenis materi lainnya

Jenis Material	Padatan	Cairan	Gas	Plasma
Contoh	Es (H_2O)	Air (H_2O)	Steam (H_2O)	Gas terionisasi ($\text{H}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}^+ + 2e^-$)
Temperatur	Dingin $T < 0^\circ\text{C}$	Hangat $0 < T < 100^\circ\text{C}$	Panas $T > 100^\circ\text{C}$	Sangat Panas $T > 100.000^\circ\text{C}$
Gambar Molekul				

Sumber: (H. Huang dan L. Tang, 2007)

Plasma adalah materi di alam yang bisa mendukung agar reaksi fusi bisa berhasil. Plasma merupakan kumpulan gas berdensitas tinggi ($10^7-1.032 \text{ m}^2$) yang terionisasi dan berada di dalam lautan elektron. Plasma dibangkitkan dengan memberikan energi yang cukup besar sehingga elektron-nya terlepas dengan tetap menjaga muatan totalnya netral, biasanya dengan cara memberikan energi termal. Temperatur plasma sendiri diukur dengan satuan eV dan bisa mencapai 105 eV atau setara dengan 1010 K. Ini adalah temperatur elektron, sementara temperatur ion biasanya jauh lebih rendah. Plasma menurut temperaturnya bisa dikategorikan ke dalam dua jenis, yakni plasma panas (*hot plasma*) dan plasma dingin (*cold plasma*). Plasma panas digunakan di dalam reaksi fusi, sementara plasma dingin digunakan untuk purifikasi/ pemurnian gas, teknologi permukaan (*surface treatment*), penanganan limbah sampai dekomposisi hidrokarbon.

Plasma Termal

Merupakan plasma yang memiliki densitas energi tinggi, kesamaan suhu antara partikel berat (atom, molekul, ion) dan elektron. Karena mobilitas yang jauh lebih tinggi, energi yang diberikan kepada plasma ditangkap oleh elektron yang dipindahkan ke partikel-partikel berat dengan tumbukan elatis. Karena densitas jumlah elektron tinggi, dikaitkan dengan operasi pada tekanan atmosferik, frekuensi tumbukan elastis sangat tinggi dan kesetimbangan termal tercapai dengan cepat. Contoh plasma termal adalah plasma dari arus DC atau frekuensi radio (RF). Keuntungan plasma termal meliputi: suhu tinggi; intensitas tinggi, radiasi non-ionisasi dan densitas energi tinggi. Sumber panas juga berhadapan dengan permukaan tajam dan gradien termal yang curam yang dapat dikendalikan tanpa tergantung kimiawi. Jika batas atas suhu yang dapat dicapai dalam pembakaran bahan bakar fosil adalah 2000°C, plasma termal yang dihasilkan dari listrik dapat mencapai suhu 20.000°C atau lebih. Reaktor plasma termal menawarkan berbagai kelebihan diantaranya : Laju pemadaman (*quench*) tinggi yang memungkinkan dihasilkan komposisi material gas dan padat yang spesifik, Laju alir gas rendah (kecuali untuk peralatan plasma non-transfer) dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil, dengan demikian mengurangi kebutuhan pengolahan *off-gas*. Plasma termal digunakan dalam pengolahan material karena densitas energi tinggi dan kemampuan memanaskan, melebur, dan dalam berbagai kasus, menguapkan material yang akan diolah. Plasma termal juga digunakan untuk sintesis kimia karena merupakan sumber spesi reaktif pada suhu tinggi. Hal ini penting dalam preparasi pigmen, silica sintetis dengan kemurnian tinggi, keramik ultra halus kemurnian tinggi dan bubuk inorganik.

Plasma Dingin atau Non Termal

Plasma Dingin atau non termal memiliki densitas energi lebih rendah, terdapat perbedaan suhu besar antara elektron dan partikel yang lebih berat. Elektron dengan energi yang cukup bertumbukan dengan gas latar (*background*) menghasilkan disosiasi, eksitasi dan ionisasi tingkat rendah tanpa peningkatan entalpi gas yang cukup besar. Hasilnya, suhu elektron melampaui suhu partikel-partikel berat hingga beberapa derajat perpangkatan dan karenanya memungkinkan untuk mempertahankan suhu keluaran (*discharge*) pada suhu yang jauh lebih rendah, bahkan pada suhu ruang. Plasma Dingin atau Non termal menghasilkan spesi-spesi aktif yang lebih beragam, dan atau lebih besar energinya dibandingkan dengan spesi yang biasa dihasilkan pada reaktor kimia. Keberadaan spesi-

spesi aktif ini memungkinkan dilakukannya proses pada permukaan material yang tidak dapat dilakukan dengan cara lain atau tidak praktis atau tidak ekonomis jika dilakukan dengan metode lain. Aplikasi: modifikasi permukaan local, karena ion, atom dan molekul tetap relatif dingin dan tidak menyebabkan kerusakan termal pada permukaan yang disentuh Plasma jenis ini dihasilkan dalam berbagai jenis discharge pijar, discharge RF tekanan rendah dan corona discharge, yang mempunyai densitas energi berkisar antara 10^{-4} hingga puluhan watt per cm^{-3} . (Bardos dan Barankova, 2009)

Saat ini, teknologi plasma dingin atau plasma non thermal banyak digunakan oleh Industri-industri untuk proses pelapisan (*coating dan etching*), serta digunakan untuk mengatasi gas buangan NO_x dan SO_x . Gas buang yang mengandung NO_x dan atau SO_x , akan dikontakkan dengan plasma. Akibatnya akan terbentuk radikal yang menyebabkan terjadinya reaksi kompleks yang mengonversi NO_x dan atau SO_x menjadi produk tertentu. Mekanisme ini terjadi di dalam reaktor plasma penghilangan NO_x dan atau SO_x . Ketika terjadi kontak antara gas buang dengan plasma maka akan terbentuk radikal. Gas adiktif seperti ammonia (NH_3) atau hidrokarbon seperti metana (CH_4) perlu ditambahkan untuk turut membangkitkan radikal sehingga menyebabkan reaksi pembentukan partikulat. Selain itu, penambahan gas aditif juga disesuaikan dengan produk akhir yang diharapkan terbentuk. Beberapa produk hasil dari pengolahan gas buang ini dapat dimanfaatkan untuk pupuk seperti ammonium nitrat (NH_4NO_3). (Grothaus dan Fanick, 1996)

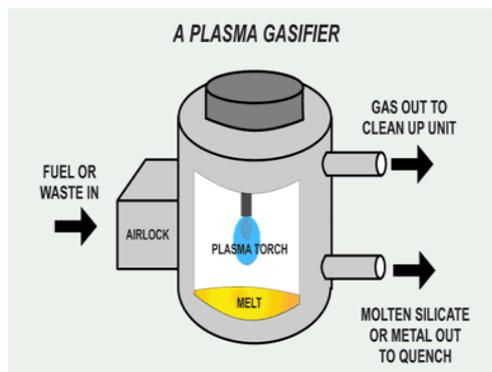
PEMBAHASAN

Gasifikasi plasma bukanlah insinerasi dan tidak membakar sampah. Gasifikasi plasma merupakan transformasi materi berbahan dasar karbon dalam lingkungan kekurangan oksigen menggunakan suatu sumber panas tinggi eksternal (plasma) untuk menghasilkan bahan bakar gas (yang disebut gas sintesis) yang dapat digunakan untuk aplikasi lain. Dalam bab ini akan dibahas mengenai gasifikasi plasma, metode, dan proses kerja gasifikasi plasma.

Gasifikasi Plasma

Merupakan suatu metode efektif dalam menguraikan berbagai senyawa organik dan anorganik menjadi elemen-elemen dasar dari sebuah senyawa, sehingga dapat dipergunakan kembali (*reuse*) dan didaur ulang (*recycle*). Komponen terpenting dari sistem plasma gasifikasi adalah sebuah reaktor plasma, yang dapat terdiri dari sebuah

Gasifikasi Plasma Untuk Pengolahan LimbahBayu Prasetya Putra, dkk plasma torch atau lebih. Plasma torch dapat dibentuk dengan memberikan tegangan DC pada dua buah elektroda. Selanjutnya dengan memberikan gas yang dilewatkan pada kedua elektroda tadi terbentuklah plasma torch dengan memiliki suhu yang sangat tinggi antara 5.000 °C hingga 10.000 °C. Saat ini jenis plasma yang umumnya digunakan untuk proses gasifikasi plasma adalah plasma termal. Plasma reaktor akan dioperasikan pada kondisi sub-stoichiometric atau tanpa oksigen yang masuk dalam plasma reaktor, sehingga tidak terjadi proses pembakaran. Jadi sistem plasma gasifikasi bukan sebuah insinerator atau tungku pembakaran lainnya.



Gambar 1. Skema Sederhana Reaktor Gasifikasi Plasma

Dengan temperatur yang mencapai 10.000 °C, plasma dapat menguraikan berbagai senyawa beracun dalam waktu 1/1.000 detik. Sehingga dapat mengeliminasi proses pembentukan senyawa lain dan pembentukan gas beracun yang biasanya terjadi pada sebuah pembakaran dari insinerator. Temperatur ekstrim tersebut hanya akan didapat jika menggunakan sistem plasma torch, temperatur tinggi sangat diperlukan dalam menguraikan molekul senyawa organik menjadi senyawa dasar gas seperti karbon monoksida dan hidrogen. Demikian pula senyawa anorganik selain dapat dilelehkan menjadi molten glass yang kemudian mengkristal.

Unit Gasifikasi Plasma dapat mengeliminasi kebutuhan lahan yang luas untuk tempat pembuangan serta masalah-masalah lainnya dengan cara mengkonversi limbah padat perkotaan dan limbah berbahaya menjadi bahan bakar. Unit gasifikasi plasma mengubah material yang mengandung karbon seperti limbah padat perkotaan dan bahkan limbah B3 seperti limbah bio dari rumah sakit, menjadi dua jenis produk samping yang bermanfaat dan menguntungkan, antara lain : Bahan bakar kaya energi yang disebut Gas Sintesis (*Synthesis Gas*), yang digunakan untuk menghasilkan “listrik hijau” dari sumber yang

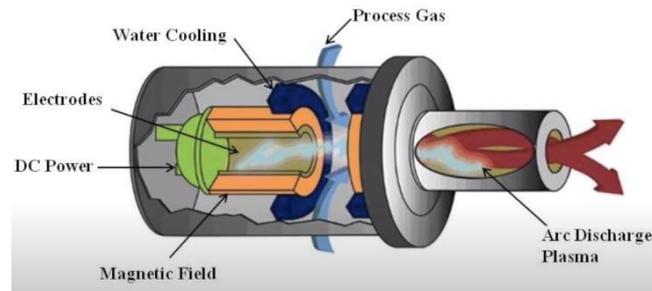
Gasifikasi Plasma Untuk Pengolahan LimbahBayu Prasetya Putra, dkk
berkelanjutan dan terbarukan, Zat padat inert yang bermanfaat secara komersil yang biasa disebut “slag”. Slag dapat digunakan sebagai bahan pembuat jalan dan material bangunan.

Metode Gasifikasi Plasma

Ada dua metode yang digunakan pada gasifikasi plasma yaitu “busur plasma” dan “obor plasma”. Unit Gasifikasi Plasma “busur plasma” beroperasi pada prinsip yang sama dengan mesin las-busur, di mana sebuah busur listrik dibentuk antara dua elektroda. Busur berenergi tinggi menghasilkan temperatur yang tinggi, gas yang terionisasi tinggi. Busur plasma tersebut ditutup dalam sebuah ruangan. Material limbah dimasukkan ke dalam ruangan tersebut dan panas yang tinggi dari plasma menyebabkan terjadinya pemecahan molekul-molekul organik (seperti minyak, pelarut, dan cat) menjadi atom-atom dasarnya. Dalam sebuah proses yang terkontrol dengan baik, atom-atom ini membentuk gas-gas yang tidak berbahaya seperti CO₂. Padatan seperti kaca dan logam meleleh membentuk material seperti lava yang membeku, di mana logam beracun akan terenkapsulasi. Dengan teknologi busur plasma, tidak lagi ada pembakaran dan *insinerasi* serta debu yang terbentuk.

Unit Gasifikasi Plasma “busur plasma” memiliki efisiensi penghancuran yang sangat tinggi. Unit ini sangat kokoh, unit ini dapat menghancurkan segala jenis limbah dengan pengolahan awal maupun tidak, serta menghasilkan bentuk limbah yang stabil. Gas yang terbakar dibersihkan dengan sistem off-gas dan dioksidasi menjadi CO₂ dan H₂O pada oksidator keramik. Potensi terjadinya polusi udara sedikit dikarenakan penggunaan pemanasan elektrik dalam ketidakterediaan oksigen bebas. Bagian anorganik dari limbah tetap terjaga dalam bentuk slag yang stabil dan tahan luluh.

Pada Unit Gasifikasi Plasma “obor plasma”, sebuah busur dibentuk antara sebuah elektroda tembaga dan lelehan slag atau elektroda lainnya dengan polaritas yang berbeda. Sama seperti sistem “busur plasma”, sistem obor plasma memiliki tingkat efisiensi penghancuran yang sangat tinggi, kokoh, dan dapat mengolah segala jenis limbah atau media dengan atau tanpa perlakuan awal. Bagian anorganik dari limbah tetap terjaga dalam bentuk slag yang stabil dan tahan luluh. Sistem pengaturan polusi udara yang digunakan lebih besar daripada sistem busur plasma dikarenakan kebutuhan untuk menstabilkan gas obor (“Plasma Gasification”, n.d). Berikut adalah gambar ilustrasi kerja obor plasma.



Gambar 2. Ilustrasi kerja obor plasma

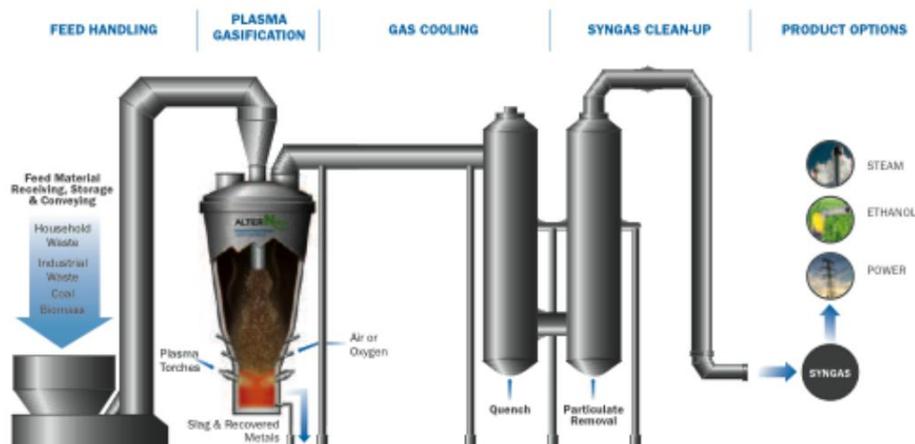
Proses Gasifikasi Plasma

Terdapat beberapa langkah dalam proses gasifikasi plasma meliputi : *Feed handling*, Reaksi gasifikasi plasma, Unit Pendingin, kompresi dan pembersihan syngas, dan produk hasil gasifikasi plasma. Proses pertama yang dilakukan dalam gasifikasi plasma adalah sampah dimasukkan ke dalam konverter atau reaktor plasma. Plasma yang dihasilkan sangat panas hingga mencapai 5000°C yang dibentuk oleh gas terionisasi. Reaktor plasma ini dioperasikan tanpa oksigen masuk ke dalam reaktor sehingga tidak terjadi pembakaran. Oleh karenanya, gasifikasi plasma tidak membakar sampah seperti halnya insinerator, melainkan mendekomposisi sampah ke dalam struktur dasarnya sehingga zat buangnya dalam bentuk *synthetic gas* dan kerak logam yang cenderung tak berbahaya.

Umumnya terdapat tiga reaksi yang terjadi dalam gasifikasi plasma untuk menghasilkan *synthesis gas* (*syngas*) yang terdiri dari gas karbon monoksida dan hydrogen, yaitu Reaksi pertama adalah gasifikasi atau *thermal cracking*. Pada proses ini molekul berukuran besar di uraikan menjadi gas, molekul yang lebih kecil dan ringan. Proses pyrolisa ini menghasilkan gas hidrokarbon dan gas hidrogen. Umumnya terbentuk radikal dalam proses ini dengan berbagai cara. Hasil akhir dari proses ini adalah hidrokarbon ringan seperti metana dan hidrogen. Reaksi kedua yang terjadi dalam proses pembentukan *syngas* adalah oksidasi parsial. Oksidasi parsial dapat menghasilkan karbon monoksida, dan dengan proses oksidasi yang lebih rumit akan menghasilkan karbon dioksida dan air. Karbon dioksida dan air adalah merupakan hasil terakhir dari sebuah proses oksidasi. Reaksi ketiga yang terjadi adalah reaksi *reforming*. Reaksi yang terjadi merupakan kombinasi dari reaksi-reaksi yang terjadi selama proses gasifikasi berlangsung. Sebagai contoh, karbon dapat bereaksi dengan air dan menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen, atau karbon dapat bereaksi dengan karbon dioksida dan menghasilkan dua buah

Gasifikasi Plasma Untuk Pengolahan LimbahBayu Prasetya Putra, dkk
melekul karbon monoksida. Reaksi *reforming* ini memiliki kemungkinan untuk membentuk *fuel gas* (Saifur, 2015).

Gasifikasi proses akan dikontrol pada suhu plasma plume 4.000-5.000 °C (khusus untuk plasma termal) dengan suhu *syngas* yang keluar dari reaktor 1.250-1.450 °C. Dengan mempertahankan suhu di atas, dapat meminimalisasi ukuran reaktor dan dapat menghasilkan *syngas* sebagai *fuel gas* dalam jumlah yang besar. Reaksi yang terbentuk dapat berupa CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂O, N₂, O₂, H₂S, COS, HCN, NH₃, S, SO₂, SO₃, NO₂, NO, Cl₂, HCl, C₂H₂, dan karbon padat.



Gambar 3. Gasifikasi Plasma berdasarkan rancangan Westinghouse USA

Begitu *syngas* keluar dari gasifier plasma, dibutuhkan pendingin sebelum dikenai pembersihan dari senyawa seperti hidrogen klorida (HCl), hidrogen sianida (HCN) dan amonia (NH₃). Proses pendinginan dilakukan dalam dua langkah pertama pada suhu tinggi 900 °C dan yang kedua pada suhu rendah 450 °C menggunakan *convective heat exchanger*. Kedua panas mengubah, memulihkan panas ke uap bertekanan tinggi yang digunakan dalam siklus uap. Partikulat kemudian dihapus melalui filter lilin, dan suhu *syngas* lebih jauh dikurangi menjadi 120 °C, dimana panasnya dipulihkan oleh uap tekanan tinggi dari siklus uap. Pada titik ini *syngas* dapat dibersihkan dari HCl, HCN, dan amonia melalui venturi dan *baki scrubber*. (Mazzoki dkk., 2017) Untuk menghilangkan senyawa sulfur yang tidak diinginkan, pertama karbon sulfida (COS) diubah menjadi hidrogen sulfida (H₂S) yang kemudian dilucuti dari *syngas* melalui proses amonium.

Sampah setelah mengalami proses gasifikasi plasma dapat dimanfaatkan menjadi sintetis gas (*syngas*). *Syngas* dapat digunakan untuk memproduksi listrik. Proses pembangkitan energi listrik mengacu pada kombinasi siklus pembangkitan tenaga sebab

Gasifikasi Plasma Untuk Pengolahan LimbahBayu Prasetya Putra, dkk
tenaga listrik yang dihasilkan diperoleh dari *syngas* dan uap yang terbentuk selama proses konversi berlangsung. *Syngas* yang bersih dan dingin kemudian disalurkan ke dalam peralatan pembangkit tenaga yang berhubungan seri dengan turbin uap. Sisa pembakaran dari peralatan pembangkitan tenaga ini digunakan untuk menciptakan uap di ketel pengendali panas sisa pembakaran. Sisa pembakaran yang telah didinginkan dan ramah lingkungan dalam ketel tersebut kemudian dilepaskan ke udara. Kemudian uap yang dihasilkan dari proses gasifikasi dan yang berasal dari ketel pengendali panas sisa pembakaran itu dimasukkan ke dalam turbin uap untuk membangkitkan listrik lebih banyak. Produk lain dari proses gasifikasi plasma adalah sampah non-organik seperti logam. Logam akan mencair dan terkumpul di bagian dasar ruang pembakaran menjadi kerak sehingga dapat diambil dan digunakan kembali untuk industri logam atau campuran aspal. (Saifur, 2015)

SIMPULAN

Teknologi pengolahan sampah secara termal merupakan bagian dari sistem pengolahan sampah berkelanjutan. Gasifikasi adalah salah satu teknologi termal yang dapat digunakan untuk memproses sampah kota sekaligus menghasilkan energi dengan kemampuan reduksi sampah yang sangat signifikan. Teknologi gasifikasi mampu merubah material sampah menjadi sintetik gas yang dapat menghasilkan energi, dan memenuhi kebutuhan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bardos, Ladislav and Barankova, Hana. 2009. Plasma processes at atmospheric and low pressure. Vacuum 83 p 552-527.
- [2] C-Tech Innovation Ltd. 2003. Thermal methods of municipal waste treatment. <http://www.resol.com.br/textos/Thermowaste.pdf>
- [3] Grotaus, MichaelG. and Fanick, E. Robert. 1996. Harmful coumpounds yield to nonthermal plasma rekator. Southwest Research Institude.
- [4] Hill Inc. ISBN 0-07-049134-8. USA Pio. C.; Barros, H.; Cavalheiro, J.; Dias,R. & Formosinho, S. 2003. Co-Inseneration, a war to eight o'clock news. Campo das Letras. ISBN 972-610-654-0. Porto.

- [5] H. Huang, L. Tang. 2007. Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management*. 48 p 1331-1337.
- [6] ISWA. 2013. White paper-Alternative waste conversion technologies in india & a detailed study of waste to energy plant in Delhi. *International Journal of Advanced*. 2 p 109-116.
- [7] KemenESDM RI Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2016. *Buku Panduan Sampah menjadi Energi*.
- [8] Leal-Quiros, Edbertho. 2004. Plasma processing of municipal solid Waste. *Brazilian Journal Physics*. Vol 34 No. 4B p 1587.
- [9] Mazzoni, Luca., Rizwan, Ahmed, Jenajreh, Isam. 2017. Plasma Gasification of two waste streams: Municipalsolid waste and Hazardous waste from oil and gas industry, *Elsavier* vol 105 p 4159-4166.
- [10] Michael, Hutagalung. 2007. *Teknologi pengolahan sampah*.
<https://depokbebassampah.wordpress.com/artikel/michael-hutagalung/>
- [11] Rei. 2003. *Plasma Gasification*. <http://www.plasmagasification.com/>
- [12] Saifur. 2015. Plasma gasifikasi sebuah usaha mengubah sampah kota menjadi energi listrik. [https://cpr.undip.ac.id/plasma-gasifikasi-sebuah-usaha-mengubah-sampah-kota-menjadi-energi-litrik/#:~:text=Gasifikasi%20plasma%20merupakan%20suatu%20metode,dan%20didaur%20ulang%20\(recycle\)](https://cpr.undip.ac.id/plasma-gasifikasi-sebuah-usaha-mengubah-sampah-kota-menjadi-energi-litrik/#:~:text=Gasifikasi%20plasma%20merupakan%20suatu%20metode,dan%20didaur%20ulang%20(recycle))
- [13] Sari, P.N. 2016. Analisa pengelolaan sampah padat di kecamatan banuhampu Kabupaten Agam. *JKMA*. 10(2), 157-165