

Gasifikasi Plasma Mengatasi Masalah Sampah Perkotaan dan Menghasilkan Energi Listrik

Andi Wibowo Kinandana^{1,2}, Alfatihatuz Zulfah Zain^{1,2}, Puryadi^{1,2},
Intan Zahar^{1,2} & Muhammad Nur²

¹ *Magister Ilmu Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro*

² *Center for Plasma Research, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro*

1. Latar Belakang

Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Pengelolaan sampah merupakan permasalahan yang masih terus dicari solusi terbaiknya hingga sekarang. Pembuangan sampah yang berakhir di TPU justru menimbulkan masalah baru. Apalagi dengan bertambahnya jumlah penduduk mengakibatkan volume sampah yang semakin bertambah sehingga akan selalu dibutuhkan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang baru atau tambahan jika sampah tersebut tidak dikelola atau didaur ulang untuk menghasilkan sesuatu yang bermanfaat. Menurut data yang diperoleh dari Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KNLH) tahun 2008, sampah yang dihasilkan Indonesia 38,5 juta ton / tahun. Dan 21,2 juta ton / tahun dihasilkan oleh Pulau Jawa. Dari data, diperoleh bahwa perharinya diperoleh sampah sebedar 105 ribu ton. Kemudian sampah naik menjadi 200 ton / hari pada tahun 2010. Di Semarang sekitar 800 ton sampah yang di buang di TPA Jatibarang setiap harinya. Jika tidak dikelola maka TPA dapat mencapai batas maksimum atau *overload* (Novianty dkk, 2015). Oleh karena itu Pengelolaan sampah menjadi krusial terutama di kota.

Cara pengelolaan sampah yang saat ini masih dilakukan yaitu dengan pengurangan (landfill), pengomposan, insinerator skala kecil, dibakar, dan dibuang ke sungai. Akan tetapi pengelolaan sampah dengan cara inipun 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).

Dalam beberapa tahun terakhir telah dikembangkan pengelolaan sampah menggunakan sistem gasifikasi plasma. Dalam gasifikasi plasma, material sampah organik diubah menjadi sintetik gas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi melalui mesin generator, turbin,

dan boiler (Lal dan Singh, 2012). Gasifikasi plasma dapat digunakan untuk mengubah berbagai jenis limbah sampah menjadi bentuk energi yang efisien. Ini menggunakan system pembakaran berbagai limbah sampah seperti limbah industri, medis atau jenis limbah kota, jenis biomassa menjadi syngas yang meliputi terutama CO, H₂ dan CO₂. Diketahui syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam sistem pembakaran, untuk generasi listrik dan untuk produksi hydrogen (A. Sanlisoy, 2017). Dalam pembangkit tenaga listrik, generator adalah bagian utamanya. Yaitu mesin yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini dapat diaktifkan dengan sintetik gas hasil dari gasifikasi plasma.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Plasma

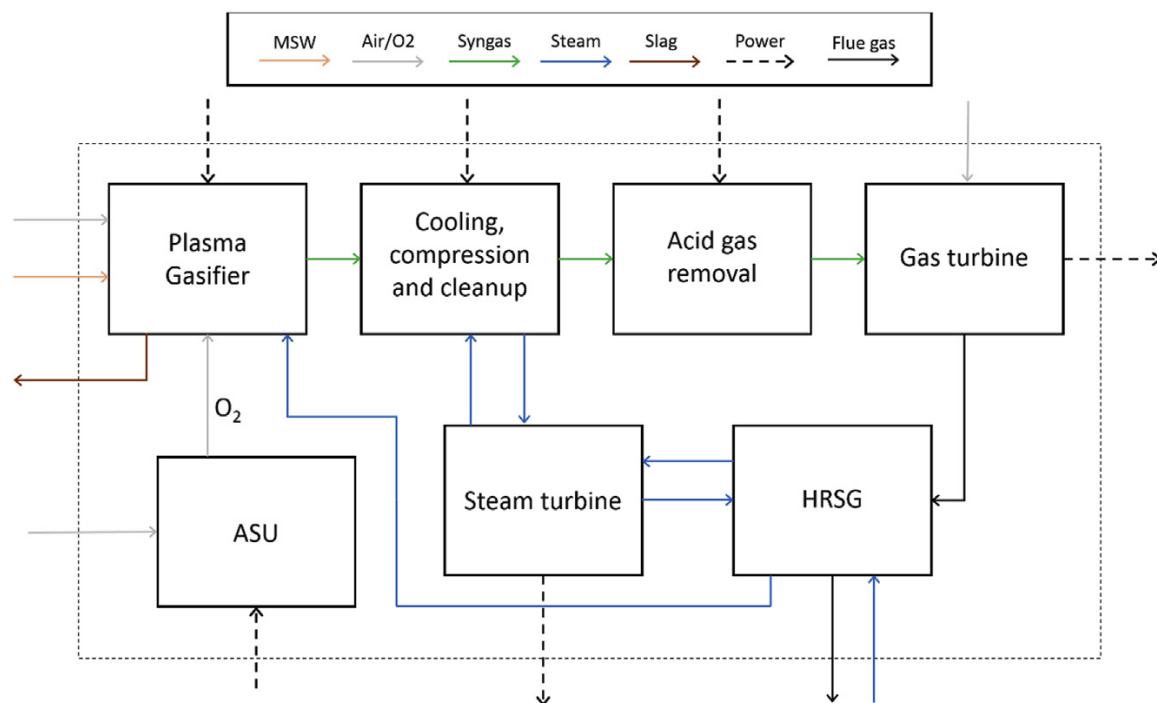
Plasma dianggap sebagai keadaan keempat materi, terdiri dari campuran elektron, ion dan partikel netral (Jiang dkk., 2014). Plasma dikategorikan menjadi tiga jenis, plasma termal, plasma dingin dan hangat (intermediate) plasma. Plasma termal mencapai suhu tinggi, meski tidak setinggi 'plasma panas' yang ditemukan di termonuklir penelitian astrofisika, dan berada dalam kesetimbangan termal (Ruj dan Ghosh, 2014). Bogaerts dkk. (2002) diklasifikasikan jenis plasma sebagai plasma fusi, sejenis plasma yang biasa ditemukan pada bintang dengan rentang suhu 4000-20.000 K. Plasma termal telah digunakan secara tradisional dalam pengolahan berbagai macam limbah (Gomez dkk., 2009).

Dua jenis plasma lainnya adalah diklasifikasikan sebagai plasma kesetimbangan non-termal. Dua jenis dasar konfigurasi arc torch plasma yaitu yang berpindah dan tidak berpindah dapat digunakan dalam pengolahan limbah padat. Di sebuah arc torch yang tidak berpindah, arc plasma dihasilkan dalam torch tubuh dimana gas diubah menjadi plasma yang diaplikasikan ke limbah, menghasilkan syngas dan slag (ampas bijih). Dalam kasus kedua bahan yang akan diolah ditempatkan dalam bejana logam yang beraliran listrik dan berfungsi sebagai anoda, karenanya bahan bereaksi harus menjadi bahan konduktif elektrik (Huang dan Tang, 2007). Arc torch yang tidak berpindah lebih sering digunakan perangkat untuk pembuangan limbah generator plasma bisa disambung dengan reaktor melalui dua mode: (1) Salah satunya adalah reaktor satu tahap yang disertakan reaktor plasma dan sumbu plasma menjadi satu bodi; (2) Yang lainnya adalah reaktor dua tahap yang reaktor konvensionalnya adalah diikuti oleh converter plasma, di mana syngas mentah dan residu padat dari tahap

sebelumnya diubah. Kasus pertama adalah mode yang lebih umum digunakan. Jet plasma terletak pada bagian bawah atau bagian atas reaktor, dan limbah dipanaskan langsung dengan jet plasma. Dalam kasus kedua, panas plasma digunakan untuk menyediakan panas untuk 'memoles' syngas mentah, dan / atau untuk vitrifikasi residu padat berasal dari proses thermal konvensional (Fourcault dkk., 2010). Dibandingkan dengan sistem plasma dua tahap, syngas yang dihasilkan dari reaktor satu tahap menunjukkan lebih banyak karakteristik yang menguntungkan, sedangkan pemulihan residu padat sebagai slag (ampas bijih) vitrifikasi merupakan keuntungan dari set-up dua tahap (Agon dkk., 2016; Cao dkk., 2014b).

2.2 Integrated plasma gasification combined cycle model (IPGCC)

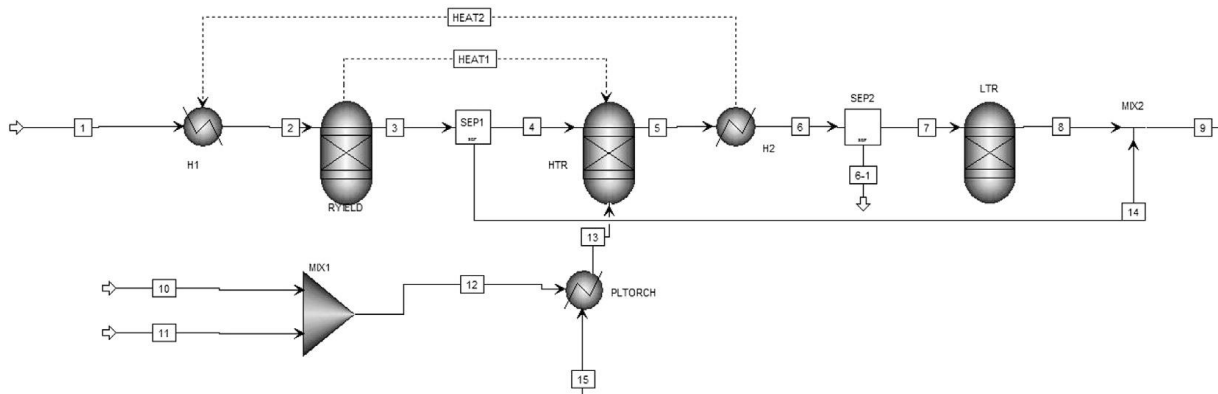
Model rancangan IPGCC dikembangkan dengan Aspen Plus mengacu pada literature terbaik untuk implementasi gasifikasi plasma (Janajreh dkk, 2013). Alur dari pabrik IPGCC sebagai model di Aspen Plus ditunjukkan dalam Gambar 1 dan sub bagiannya meliputi: (1) Gasifikasi plasma, (2) Unit pendingin, kompresi dan pembersihan syngas, (3) pelepasan belerang. (4) Turbin gas., (5) Heat Recovery Steam Generator (HRSG), (6) Turbin uap, (7) The Air Separation Unit (ASU).



Gambar 1. Bagan Alur IPGCC dalam Aspen Plus

2.2.1 Gasifikasi Plasma

Bagian gasifikasi plasma adalah bagian inti dari IPGCC, dan alurnya seperti yang dirancang di Aspen Plus ditunjukkan pada Gambar 2. Reaktor suhu tinggi beroperasi pada 2500 °C dan mengakibatkan terjadi reaksi antara plasma termal dengan bahan baku padat. Reaksi yang dapat terbentuk berupa CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂O, N₂, O₂, H₂S, COS, HCN, NH₃, S, SO₂, SO₃, NO₂, NO, Cl₂, HCl, C₂H₂ dan Karbon padat (C_{solid}). Reaktor kedua beroperasi pada suhu di kisaran 1250 °C-1315 °C (Mazzoni dkk.,2017)



Gambar 2. Bagan Alur Gasifikasi Plasma dalam Aspen Plus

Ringkasan komponen gasifikasi plasma Bagian diberikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Komponen model gasifikasi plasma

Komponen	Deskripsi	Aspen Plus Satuan
Pemanasan Bahan	Model pemanasan itu terjadi saat bahan baku dikenai gasifier	Heater
Penguraian	Model bahan baku padat dekomposisi menjadi unsurnya komposis	RYield
Evaporator	Model penguapan kelembaban hadir dalam padatan bahan baku dan pencampurannya dengan menghasilkan syngas di pintu keluar gasifier	Sep
High Temperature Reactor (HTR)	Model reaksi gasifikasi terjadi saat termal plasma bersentuhan langsung dengan bahan baku. Ini mensimulasikan reaksi berlangsung di 2.500 °C	RGibbs

Pencampuran gas Plasma	Model pencampuran antara udara dan oksigen yang berasal dari unit pemisahan udara	Mixer
Torch Plasma	Model DC tidak ditransfer torch plasma dengan memanaskan gas pembentuk plasma sampai 4000 C	Heater
Pemisahan Slag	Model pemisahan dari fraksi anorganik dari bahan baku sebagai slag vitrifikasi	Sep
Low Temperature Reactor (LTR)	Model gasifikasi yang tersisa reaksi berlangsung lebih rendah suhu di kisaran 1250 °C - 1315 °C	RGibbs

2.2.2 Unit Pendingin, Kompresi dan Pembersihan Syngas

Begitu syngas keluar dari gasifier plasma, dibutuhkan pendinginan 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 pengubah, memulihkan panas ke uap bertekanan tinggi yang digunakan dalam siklus uap Hal-hal 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 (Mazzoni dkk., 2017)

2.2.3 Pemisahan Belerang (S)

Untuk menghilangkan senyawa sulfur yang tidak diinginkan, pertama karbon sulfida (COS) diubah menjadi hidrogen sulfida (H₂S) yang kemudian dilucuti dari syngas melalui proses berbasis amonium. Hidrolisis COS terjadi sesuai reaksi



di mana faktor konversi dari 99,9% dari COS diasumsikan (Fiaschi dkk., 2017).



2.2.4 Turbin gas

Turbin gas dimodelkan dengan empat reaksi berikut bagian utamanya. Jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran adalah di 1417 °C. Udara dikompres menjadi 19,66 bar dan saat itu diperkenalkan ke dalam pembakaran dimana spesies utama, termasuk H₂ dan CO, yang teroksidasi. Oksidasi Reaksi (3-7) di bawah dimodelkan dalam ruang bakar di mana reaksi yang berlangsung adalah



2.2.5 Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

Generator uap pemulihan panas dimodelkan dengan panas exchanger dimana energi termal gas buangan dilepaskan oleh turbin gas yang ditemukan oleh beberapa aliran rendah suhu air dari siklus uap. Gas buangan kemudian dilepaskan ke lingkungan pada suhu 127 °C

2.2.6 Turbin uap

Siklus uap turbin terdiri dari tiga tahap. Pertama, turbin tekanan tinggi menghasilkan tenaga dengan cara mengembangnya uap pada suhu 565 °C dengan tekanan 124,1 sampai 24,6 bar. Tahap kedua mengembang pada uap bertekanan 23,6 bar menjadi 2,41 bar. Tahap terakhir kemudian mengembang uap dari 2,41 bar sampai 0,048 bar. Setelah ekspansi, Air dikondensasikan dan diedarkan melalui deaerator. Air kemudian dipompa sampai 153 bar sebelum diresirkulasi melalui berbagai exchanger panas untuk pemulihan panas.

2.2.7 Air Separation Unit (ASU)

Oksigen dibutuhkan untuk memperkaya udara yang digunakan sebagai plasma. Pembentukan gas disediakan oleh air separation unit kriogenik (ASU). Diasumsikan bahwa ASU dapat menyediakan oksigen mengalir dengan kemurnian 95% dengan biaya energi 0,261 kWh per kg O₂ (Minutillo dkk., 2017).

3. Pembahasan

3.1 Penghasil energi syntetik

Proses gasifikasi terdiri dari reaksi retak polimer eksotermik melalui oksidasi sebagian bahan organik pada suhu tinggi (550-1400C) dan tekanan bervariasi (dari sekitar 1 sampai 33 bar). Biasanya karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), karbon dioksida (CO₂), tar, abu dan senyawa volatil lainnya diperoleh dari gasifikasi bahan organik. Penting untuk dijelaskan bahwa proses penggabungan didahului dengan langkah pengeringan. (penguapan endotermik pada suhu rendah (dari 25 sampai 110C) senyawa dengan titik didih rendah, seperti air) dan pirolisis (dekomposisi endotermik polimer dengan densitas rendah, dan penguapan senyawa lain dengan berat molekul rendah, pada suhu berkisar antara 110 sampai 550 °C). Untuk terjadinya tiga langkah tersebut, gasifier harus dibangun dengan subdivisi yang memiliki area pertukaran termal (baik dengan konveksi atau radiasi) untuk reaksi pengeringan dan reaksi pirolisis. Untuk gasifikasi itu sendiri, senyawa pra-pemanasan dioksidasi dalam lingkungan sub stoikiometri dengan udara atmosfer.

Dengan komposisi unsur yang dilakukan dalam satuan massa (dalam basis basah dan kering), dan dengan persamaan Mendeleev, nilai kalori yang lebih rendah (LCV, basis basah) dan nilai kalori HCV yang lebih tinggi (HCV, dasar kering) dapat dihitung

$$\text{HCV} = 399\text{C} + 1,030\text{H} - 109 (\text{O} - \text{S})$$

$$\text{LCV} = 399\text{C} + 1,030\text{H} - 109 (\text{O} - \text{S}) - 25\text{W}$$

dimana:

C = persentase fraksi karbon dalam MSW

H = persentase fraksi hidrogen dalam MSW

O = persentase fraksi oksigen dalam MSW

S = persentase fraksi sulfur di MSW

W = persentase fraksi uap air di MSW

Hasil untuk komposisi gravimetrik dijelaskan pada Tabel 1. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sebagian besar MSW, lebih dari 90%, dapat digitasi. Komposisi gravimetrik MSW merupakan informasi penting untuk memahami pembentukan gas-gas yang ditentukan yang menyusun campuran syngas yang dihasilkan selama pembuatan gasifikasi, dan juga untuk mengidentifikasi bahan mana yang menghasilkan prekursor polutan selama

penggilingan.

Table 1
Gravimetric composition of MSW used in a moving bed gasifier.

Components	\bar{x} (%)	σ (%)	CI (%)
Organic remains	47.9	0.050	± 2.79
Paper and cardboard	16.6	0.044	± 1.37
Carton packings	1.9	0.003	± 0.08
Plastics	16.1	0.010	± 0.71
PET	1.7	0.003	< 0.01
HDPE	0.7	0.002	± 0.05
LDPE	8.6	0.031	± 0.94
Other plastics	5.1	0.007	± 0.36
Diapers and absorbents	5.4	0.018	± 0.63
Leather, textiles, wood	4.7	0.014	± 0.53
Rubber and tires	0.6	0.001	± 0.04
Total of waste as potential fuel	93.2	0.021	± 1.33
Total inorganic (non-fuel) waste	6.8	0.021	± 1.33

\bar{x} = mean; σ = standard deviation; CI = confidence interval.

Kuasa kalori MSW yang digunakan dalam uji coba dan uji pembakaran ditentukan melalui komposisi dasar komponen yang diidentifikasi (Tabel 2) melalui komposisi gravimetri yang telah ditentukan sebelumnya.

Table 2
Base for HCV and LCV calculations with the estimated values.

Components	Total H (%)	Total O (%)	Total C (%)	Component mass (%)	Partial HCV (kJ/kg)	Total moisture (%)	Total ash (%)
Organic remains	2.97	20.69	24.24	47.90	1305	33.3	5.82
Paper and cardboard	0.96	7.24	8.40	16.60	1356	6.6	1.07
Carton packings	0.14	0.80	0.96	1.90	308	0.5	0.24
PET	0.10	0.57	1.03	1.70	354	0.0	0.0
HDPE	0.10	0.00	0.60	0.70	283	0.0	0.0
LDPE	0.86	0.00	7.74	8.60	2709	1.3	0.19
PVC	0.51	0.26	4.34	5.10	1911	0.2	0.01
Other plastics	0.35	4.05	1.00	5.40	243	4.9	0.30
Diapers and absorbents	0.30	2.07	2.33	4.70	507	1.7	0.08
Leather, textiles, wood	0.05	0.00	0.55	0.60	187	0.0	0.05
Rubber and tires	0.00	0.00	0.00	6.80	0.0	0.0	6.80
Inorganics	2.97	20.69	24.24	47.90	1305	33.3	5.82
Total	6.35	35.67	51.19	100	9163	48.6	14.55

Untuk persamaan Mendeleev, nilai HCV komponen individu (Tabel 3) MSW digunakan (dalam basis kering dengan pengurangan nilai abu berikut). Dari nilai yang ditunjukkan pada Tabel 3, HCV keseluruhan yang dihitung untuk MSW adalah 9160 kJ/kg, sedangkan LCV keseluruhan adalah 7948 kJ/kg. Nilai HCV dan LCV tersebut menunjukkan potensi energi MSW yang besar.

Table 3
MSW elementary composition (dry basis) for calculations with Mendeleev equation.

MSW elementary composition	HCV (kJ/kg)	% MSW mass
C	33,900	45.7
H	141,800	5.5
S	92,000	1.1
N	NC	1.6
O	NC	31.2
Ash	NC	14.9

Komposisi syngas bervariasi karena banyak faktor, seperti: model reaktor, bentuk energi yang digunakan dalam proses gasifikasi, kadar air, waktu retensi bahan bakar (bahan yang akan diangin-anginkan) dan jenis bahan karbon.

Tabel 4 menunjukkan komposisi kimia yang diperkirakan dari gas yang dihasilkan. Estimasi ini didasarkan pada: (a) perhitungan stoikiometri dari komposisi kimia bahan yang ditentukan dalam analisis gravimetrik, dan (b) hasil parsial pengukuran gas.

Table 4
Chemical composition of syngas. LCV in wet basis – 3327 kJ/kg or 3584 kJ/Nm³.

Syngas	% Mass	Mol	% Mol wet basis	% Mol dry basis
CO	11.8	6.0	9.74	17.34
CO ₂	16.2	5.2	8.46	15.06
CH ₄	2.3	2.0	3.33	5.93
C _x H _y O	2.6	0.5	0.82	1.46
SO ₂	0.7	0.2	0.24	0.43
N ₂	31.5	15.9	25.85	46.03
H ₂	0.7	4.7	7.72	13.75
H ₂ O	34.3	26.9	43.84	
TOTAL	100.00	61.5	100.00	100.00

Selain perhitungan untuk perkiraan komposisi syngas yang dihasilkan oleh peralatan dalam penelitian ini, sampel gas yang dikumpulkan dalam keluaran gasi fi dianalisis dengan GC-TCD dan / atau GC-FID. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 5.

Untuk penentuan nilai kalori gas, teori Dulong mengusulkan bahwa panas pembakaran bahan bakar hampir sama dengan panas pembakaran senyawa penyusunnya, dikalikan dengan persentase bahan bakar mereka. Ini diverifikasi melalui nilai-nilai yang ditunjukkan pada Tabel 5, bahwa jumlah hidrogen dalam syngas yang dihasilkan dari MSW kasar rendah, yang memberi gas LCV 3164 kJ / Nm atau 2809 kJ / kg (nilai yang diperoleh dengan jumlah perkalian dari kandungan H₂, CH dan CO dengan nilai kalori masing-masing berdasarkan kering).

Table 5
Chemical composition of syngas obtained from gasification of crude MSW.

Component	% molar	Content	Detector
H ₂	4.5	0.045	TCD
CH ₄	6.5	0.065	FID
CO (CH ₄ after methanation of CO)	9.7	0.097	FID
CO ₂ (CH ₄ after methanation of CO ₂)	10.2	0.102	FID

Pada Gambar 1 ditunjukkan simulasi variasi nilai kalori melalui persamaan Mendeleev, dengan kandungan organik yang berbeda, RDF dan juga gas yang dihasilkan dari MSW, yang disebut refuse derived fuel gas (RDFG). Penting juga untuk menyebutkan bahwa RDFG juga disebut sebagai "Syngas". Kedua kurva menunjukkan peningkatan dalam nilai kalori sesuai dengan peningkatan pemisahan bahan organik, namun dengan kemiringan yang berbeda, dengan kemiringan RDF lebih tinggi dalam kaitannya dengan kemiringan RDFG.

Fakta bahwa kurva LCV RDF dan RDFG tidak memiliki perilaku yang sama dijelaskan oleh peningkatan massa RDFG per ton MSW olahan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2, bahan pelengkap. Karena nilai kalori dihitung dengan menggunakan satuan energi per satuan massa, dapat disimpulkan bahwa jumlah energi yang dihasilkan dalam proses gasifikasi (per unit massa RDF) meningkat seiring dengan meningkatnya pemisahan limbah.

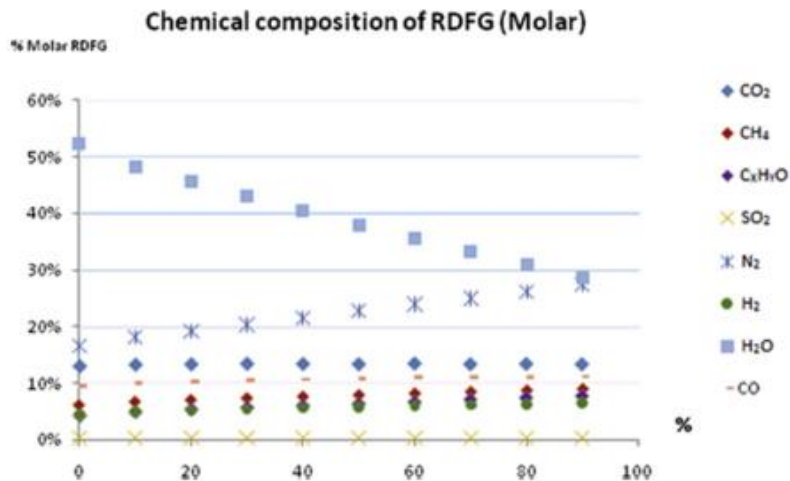


Fig. 2. Variation of RDFG molar chemical composition according to the segregation percentage.

Pada Gambar 2, bahan pelengkap, ditunjukkan kecenderungan meningkatnya jumlah energi (dalam kJ) yang tersedia di RDFG per ton MSW. Dari hasil ini, dimungkinkan untuk memverifikasi bahwa jumlah panas yang tersedia dalam keluaran ruang gasifikasi hampir

berlipat ganda jika diperoleh efisiensi 90% dari segregasi. Tetapi bahkan dengan efisiensi yang lebih rendah, adalah mungkin untuk mendapatkan RDFG dalam volume yang lebih besar dan nilai kalori yang lebih tinggi, dengan menggunakan teknologi yang sama.

Faktor lain dari kenaikan nilai kalori juga dapat dijelaskan oleh konsumsi energi yang lebih rendah untuk menaikkan suhu RDFG sampai 650 C. Dengan kandungan air yang lebih sedikit, yang menyajikan panas dan panas laten tertinggi dari penguapan di antara semua komponen RDFG, ada kebutuhan yang berkurang untuk konsumsi bahan bakar, sehingga menghemat energi untuk reaksi pembakaran.

Faktor lain yang harus dipertimbangkan adalah peningkatan massa RDF yang diproses per unit waktu, karena dengan mengurangi waktu pengeringan di dalam reaktor, reaksi pirolisis dan gasifikasi (yang secara efektif mengkonsumsi massa RDF) dimulai segera setelah masuknya bahan. Dan dengan lebih banyak waktu untuk reaksi ini, ada kemungkinan juga untuk meningkatkan muatan bahan di dalam lapisan yang sama, yang menyebabkan peningkatan kapasitas gasi menurut persentase segregasi bahan organik dari MSW.

3.2 Perspektus (Kemungkinan yang bias dilakukan)

Setiap tahun, ribuan kapal dibongkar pada akhir masa pakainya di tempat daur ulang kapal di seluruh dunia (Choi et al., 2016). Rata-rata, bahan dan komponen yang dapat digunakan kembali atau didaur ulang setelah diekstraksi dari kapal end-of-life terdiri dari sekitar 96% dari berat kapal (Mckenna et al., 2012). Meskipun kegiatan ini berguna untuk mendaur ulang bahan seperti baja, logam non-ferrous, dan lain-lain, namun masih menghasilkan limbah dalam jumlah besar yang harus diolah dengan saksama sebelum dibuang. Sebagai contoh, pada tahun 2015, total berat kapal yang dibongkar secara global adalah 7 juta ton (Robindesbois.Org, 2015), dan dengan asumsi bahwa limbah yang dihasilkan adalah 5% e10% dari berat kapal (Demaria, 2010), sebuah total 350.000 sampai 700.000 ton limbah pasti telah dihasilkan di tempat daur ulang di seluruh dunia.

Energi dapat dihasilkan dari limbah padat dengan menggunakan proses pengolahan biokimia, fisiokimia atau termokimia. Namun, proses perlakuan termokimia yang ditandai dengan suhu dan tingkat konversi yang lebih tinggi daripada dua proses lainnya, sejauh ini adalah proses pengobatan yang paling efektif yang digunakan dengan berhasil mengoperasikan sistem pengelolaan limbah secara global.

Sistem pengelolaan limbah tersebut menggunakan pembakaran, pirolisis, gasifikasi atau kombinasi dari ketiganya untuk mengubah nilai energi limbah menjadi bentuk energi yang berbeda seperti listrik dan panas proses (Arena, 2012). Namun, gasifikasi dianggap memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dua proses termokimia lainnya, terutama terkait dengan komposisi produk proses (Tang et al., 2013) dan kemungkinan menggabungkan kondisi operasi dan fitur reaktor spesifik (Arena, 2012). Misalnya, insinerasi dikaitkan dengan pembangkitan emisi berbahaya seperti SO_x, NO_x, dioksin terklorinasi dan furan, dan pirolisis dikaitkan dengan produktivitas gas rendah dan spektrum produk dekomposisi yang jauh, yang sulit diatasi karena laju yang lambat. pemanasan dan pendinginan (Tang et al., 2013).

Teknologi gasifikasi standar mengoperasikan reaktor di kisaran 400C-850C. Pada suhu rendah seperti itu, semua bahan tidak dapat rusak pada tingkat molekuler; Oleh karena itu, proses ini menghasilkan gas bahan bakar 'kotor', yang mengandung tars, char dan jelaga, dengan berat sampai 15% dari berat bahan yang masuk (Mountouris et al., 2006). Namun, sebaliknya, gasifikasi suhu tinggi dapat mengubah sampah menjadi produk bermanfaat? K.P. (2018) 1520e1531 1521 sebagai kaca tajam, logam bekas dan gas sintesis (syngas), yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi melalui generator, turbin gas dan boiler (Bosmans et al., 2013). ; Pourali, 2010). Syngas yang dihasilkan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses Fischer-Tropsch untuk produksi bahan bakar cair atau produk kimia seperti amonia, metanol dan hidrogen (Fabry et al., 2013). Dengan demikian, emisi polutan dapat dikurangi menjadi hampir nol dan valorisasi semua komponen limbah dapat dicapai (Li et al., 2016). Karena suhu tinggi yang terlibat, semua tars, char dan dioksins dipecah dan hampir semua karbon diubah menjadi syngas (Mountouris et al., 2006).

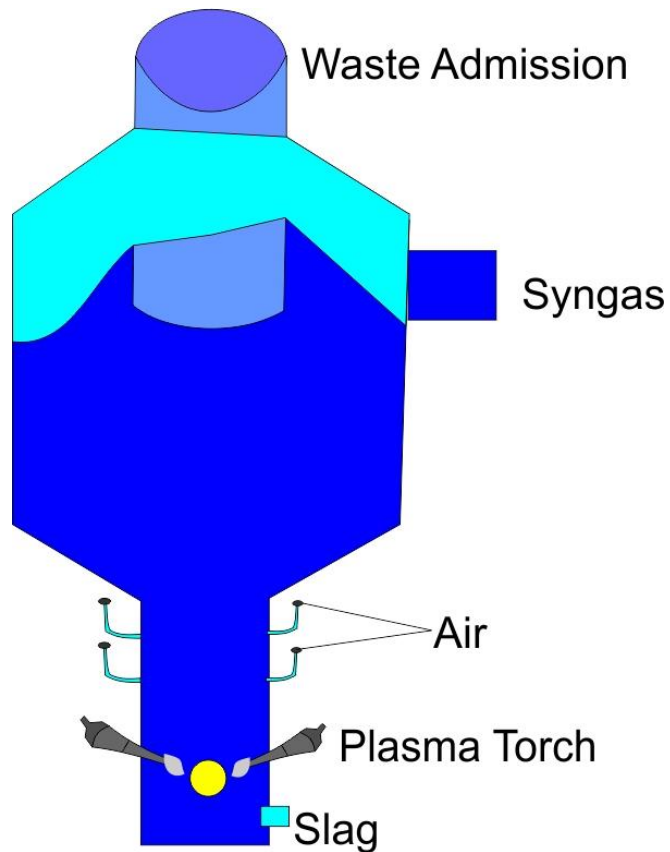
Dengan berkembangnya teknologi pengolahan sampah di dunia, dan adanya lebih banyak keuntungan yang dihasilkan pada pengolahan limbah sampah dengan menggunakan metode gasifikasi plasma.

Indonesia merupakan negara terbesar ke 15 di dunia dengan total luas wilayah : 1.904.569 km persegi dan panjang garis pantai : 54.716 km. Indonesia negara kita merupakan jenis negara berkembang, oleh karena itulah jumlah penduduknya juga sangat banyak. Jumlah penduduk Indonesia berdasarkan perhitungan pada tahun 2016 mencapai 258.316.051 jiwa. Dengan banyaknya jumlah penduduk di Indonesia akan menghasilkan jumlah sampah yang semakin banyak, didukung dengan status Indonesia sebagai negara berkembang akan

menghasilkan sampah industry yang semakin banyak. Indonesia juga termasuk negara penghasil sampah terbesar di dunia, ditambah dengan kurangnya kesadaran masyarakat di Indonesia tentang dampak yang ditimbulkan akibat sampah. Selama ini sampah di Indonesia di buang di tempat-tempat pengumpulan sampah (Tempat Pengumpulan Sampah/ TPS), bahkan ada juga yang membuang sampah di lingkungan sekitar termasuk salah satunya di buang di sungai, hanya sedikit sampah yang di olah kembali untuk dijadikan kompos, bahan daur ulang atau kerajinan tangan. Sampah yang menumpuk di TPS tanpa dilakukan pengolahan dan sampah yang di buang langsung ke lingkungan akan menimbulkan pencemaran lingkungan termasuk polusi udara.

Salah satu solusi untuk mengatasi limbah sampah dan polusi udara adalah dengan pengolahan sampah. Pengolahan sampah dapat dilakukan dengan metode gasifikasi plasma. Dengan pengolahan sampah dengan menggunakan metode gasifikasi plasma tidak menghasilkan limbah sisa hasil pengolahan. Pengolahan sampah dengan metode gasifikasi plasma akan menghasilkan material padat, gas dan energi. Material padat hasil pengolahan sampah dengan gasifikasi plasma dapat dimanfaatkan untuk bahan baku industry, salah satunya dapat digunakan untuk pengerasan jalan dan bahan bangunan. Gas hasil pengolahan sampah dengan gasifikasi plasma menghasilkan gas yang bersih dan aman untuk dilepas ke lingkungan. Energi hasil pengolahan sampah dengan gasifikasi plasma dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, sebagai pembangkit listrik tenaga sampah.

Kemungkinan yang bias dilakukan untuk melakukan pengolahan sampah dengan metode gasifikasi plasma adalah dengan cara membangun instalasi gasifikasi plasma. Instalasi gasifikasi plasma dapat dibuat dengan cara:



Gambar 3.1 Desain Gasifikasi Plasma

Limbah berbahaya dihasilkan oleh 19 sektor industri utama sebagai berikut: kilang minyak, pemompaan minyak, produksi produk minyak, pemulihan minyak limbah, pupuk, industri logam seperti baja, aluminium, ferrous-nikel, semen dan mangan, pengolahan permukaan logam, produksi baterai dan akumulator, daur ulang akumulator Pb, penyamakan kulit, industri sekarat, industri kimia, industri kayu sintesis, serat sintesis dan produksi pestisida (Moustaka, 2005) dan limbah padat kota. Pengolahan limbah padat kota bisa seperti pemulihan dan daur ulang bahan material, pemulihan energy dan penimbunan. Untuk limbah padat plastik (PSW) merupakan sumber yang kaya akan hydrogen yang biasanya diberi perlakuan didaur ulang, reaktusi dan pemulihan energy (yaitu proses pemulihan primer, sekunder dan tersier) [2]. Akan tetapi, pengolahan tersebut menunjukkan komposisi yang sangat bervariasi yang berbahaya pada lingkungan terutama terkait dengan emisi senyawa organic volatile (Volatile Organic Compound /VOC), aromatic, furan dan dioksin. Selain itu pengoahan dengan cara penimbunan dan pembakaran juga dapat membahayakan kesehatan lingkungan dan manusia (Moustaka, 2005).

Untuk mengatasi masalah ini, gasifikasi telah menjadi perhatian utama dalam beberapa tahun terakhir hingga sejumlah besar penelitian tertarik pada keuntungan menggunakan berbagai jenis bahan baku. Gasifikasi adalah proses termokimia yang mengubah bahan bakar mentah menjadi bahan bakar gas. Gas bahan bakar ini terutama terdiri dari karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), uap air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), tar dan abu. Setelah penyaringan untuk menghilangkan noda dan abu, produk akhir diperoleh, syngas, yang bisa digunakan sebagai bahan bakar. Gas sintesis ini, seperti yang juga disebut, diubah dari berbagai bahan bakar menjadi yang paling umum: limbah padat batubara, biomassa, plastik dan kota. Gasifikasi biomassa telah diubah menjadi salah satu metode yang paling menjanjikan dalam produksi syngas. Biomassa dan sumber daya yang melimpah, rendah kandungan nitrogen dan sulfur, karena sifat pembentukannya juga dilihat sebagai bahan bakar netral karbon, tidak menambahkan emisi CO ke lingkungan (Favas, J dkk. 2017).

Kesimpulan

Gasifikasi plasma dapat digunakan untuk mengatasi masalah sampah perkotaan dan dapat menghasilkan energi listrik. Gasifikasi plasma mengubah material sampah organik menjadi sintetik gas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi. Gas sintetik dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam sistem pembakaran, untuk menghasilkan listrik dan untuk produksi hydrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Agon, N., Hrabovsky, M., Chumak, O., Hlina, M., Kopecky, V., Maslania, A., Bosmansc, A., Helsenc, L., Skobljad, S., Van Oostb, G., Vierendeelse, J., 2016. Plasma gasification of refuse derived fuel in a single-stage system using different gasifying agents. *Waste Manage.* 47, 246–255.
- Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., van der Mullen, J., 2002. Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochim. Acta B* 57, 609–658.
- Fourcault, A., Marias, F., Michon, U., 2010. Modelling of thermal removal of tars in a high temperature stage fed by a plasma torch. *Biomass Bioenergy* 34, 1363–1374.
- Gomez, E., Rani, D.A., Cheeseman, C., Deegan, D., Wise, M., Boccaccini, A., 2009. Thermal plasma technology for the treatment of wastes: a critical review. *J. Hazard. Mater.* 161, 614–626.
- Huang, H., Tang, L., 2007. Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Convers. Manage.* 48, 1331–1337.
- Jain, Kanu Priya., Pruyn, Jeroen., 2018, Investigating the prospects of using a plasma gasification plant to improve the offer price of ships recycled on large-sized ‘green’ yards, *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, vol 171, pp 1520-1531.
- Janajreh I, Raza SS, Valmundsson RS. Plasma gasification process: modeling, simulation and comparison with conventional air gasification. *Energy Convers Manag* 2013; 65:801.
- Jiang, Y.M., Ni, G.H., Song, Y., Zhao, P., Liu, W., Meng, Y.D., 2013. Experimental analysis on solidification simulated organic low-level radioactive waste by thermal plasma. *High Voltage Eng.* 39, 1750–1756.

- Lal, P.M., Singh C. J., 2012. Plasma Gasification: A Sustainable Solution for the Municipal Solid Waste Management in the State of Madhya Pradesh, India. *International Journal of Environmental Science*. 3(2).
- Lopes, E.J., Okamura, L.A., Maruyama, S.A., Yamamoto, C.I., 2018, Evaluation of energy gain from the segregation of organic materials from municipal solid waste in gasification processes, *Renewable Energy*, Elsevier, vol 116, pp 623-629.
- Mazzoni, Luca., Rizwan, Ahmed, Janajreh, Isam, 2017, Plasma gasification of two waste streams: Municipal solid waste and hazardous waste from the oil and gas industry, Elsevier, vol 105, pp 4159 – 4166.
- Mazzoni L., Janajreh I., 2017, Plasma Gasification of Municipal Solid Waste with Variable Content of Plastic Solid Waste for Enhanced Energy Recovery, *International Journal of Hydrogen Energy*, Elsevier, pp 19446-19457.
- Minutillo M, Perna A, Di Bona D. Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant. *Energy Convers Manag* 2009;50:2837.
- Novianty T.S., Suadrono B., Subiyanto S., 2015, Analisis Geospasial Persebaran TPS dan TPA Di kota Semarang Menggunakan Sistem Informasi Geografi, *Jurnal Geodesi Undip*, Vol 4, hal. 2.
- Ruj, B., Ghosh, S., 2014. Technological aspects for thermal plasma treatment of municipal solid waste – a review. *Fuel Process. Technol.* 126, 298–308.
- Ruj, Biswajit., Ghosh, Subhajyoti., 2014, Technological aspects for thermal plasma treatment of municipal solid waste, *Fuel Processing Technology*, Elsevier, vol 126, pp 289-308.
- Sanlisoy A., Carpinlioglu, M.O, 2017, A Review on Plasma Gasification for Solid Waste Disposal, *international Journal of Hydrogen Energy* 42, pp 1361-1365.
- Sari, P.N., 2016. Analisis Pengelolaan Sampah Padat di Kecamatan Banuhampu Kabupaten Agam. *JKMA*. 10(2), 157-165.
- Tabasová, Andrea., Kropá, Jirí., Kermes, Vít., Nemet, Andreja., Stehlík, Petr., 2012, Waste-to-energy technologies: Impact on environment, *Energy*, Elsevier, vol 44, pp 144-155.