

PREDIKSI SUHU FLAME PADA PEMANFAATAN KONDENSAT SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF UNTUK KEPERLUAN INDUSTRI

Predicting Flame Temperatur in Using Condensate as Alternative Industrial Fuel

Ramli

Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Ciptomangunkusumo, Samarinda, Kalimantan Timur
e-mail: ramli_polismd@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kegiatan pengeboran migas tidak hanya menghasilkan minyak mentah tapi juga kondensat yang berpotensi untuk menjadi bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemungkinan pemakaian kondensat sebagai bahan bakar industri, mengetahui pengaruh AFR, memprediksi suhu flame. Proses pembakaran dilakukan pada burner industri yang dilengkapi dengan sistem preheater. Variabel penelitian meliputi variasi AFR yaitu 9,53 ; 14,88 ; 18,77 ; 23,10 dan 27,27. Pembakaran dilakukan dengan mengalirkan kondensat pada laju tertentu, kemudian diberi pemantik api untuk memulai pembakaran. Setelah pembakaran stabil, suhu flame diukur menggunakan termokopel dan konsentrasi GHP diukur dengan Gas Analyzer (Star Gas). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondensat dapat menjadi bahan bakar alternatif yang potensial untuk keperluan industri dengan suhu flame tertinggi 1480 °C dan warna api yang biru. Suhu prediksi maximum flame temperature selalu lebih tinggi dari suhu aktual flame yang terukur dengan prosentase selisih T_{fakt} dan T_{fh} adalah 10,41 %. Hal ini terjadi karena adanya kehilangan panas sebesar 10,34 % selama proses pembakaran.

Kata Kunci : kondensat, Air Fuel Ratio (AFR), burner, flame, bahan bakar, Gas Hasil Pembakaran (GHP)

ABSTRACT

Oil and gas drilling activity produce not only crude oil, but also condensate which is potential to be an alternative fuel. This study aims to examine the possibility of condensate as an industrial fuel, to study the effect of AFR, and predict the flame temperature. The combustion process carried out in industrial burners equipped with preheater system. The variations of variations AFR are 9.53, 14.88, 18.77, 23.10 and 27.27. Burning is done by the condensate drain at a particular rate, then given the match to start burning. After a stable combustion, flame temperatures was measured using thermocouples and flue gas concentrations were measured by Gas Analyzer (Star Gas). The results showed that the condensate can be a potential alternative industrial fuel, its highest flame temperature was 1480°C and with blue flame color. Predicted maximum flame temperature is always higher than the actual flame temperature, with a difference of T_{fh} is 10.41%. This is due to the heat loss of 10.34% during the combustion process.

Keywords: condensate, Air Fuel Ratio (AFR), burner, flame, fuel, flue gas

PENDAHULUAN

Secara umum, terjadinya peningkatan kebutuhan energi mempunyai keterkaitan erat dengan perkembangan kegiatan ekonomi dan pertumbuhan jumlah penduduk. Jumlah penduduk yang semakin bertambah dan pertumbuhan ekonomi yang terus berlangsung mengakibatkan peningkatan kebutuhan energi di Indonesia sebagai suatu hal yang tak bisa dihindari (Bakti, 2005). Energi memainkan peran yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat karena energi merupakan parameter penting bagi pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Hampir semua sektor kehidupan (industri, rumah tangga, transportasi, jasa, dan lain-lain) tidak bisa dipisahkan dari sektor energi. Pada sektor rumah tangga, energi berfungsi untuk penerangan, memasak, pemanas dan pendingin ruangan serta berbagai kegiatan rumah tangga yang lain (Nuryanti dkk, 2007).

Kondensat merupakan bahan bakar alternatif yang sangat potensial untuk dimanfaatkan (Bakti, 2005). Nilai kalor dari *Gas Petroleum Condensate* (GPC) sekitar 10.000 - 12000 kalori/gram, hampir setara dengan LPG, sedangkan nilai kalor dari minyak tanah sekitar 9900 - 11100 kalori/gram (Bakti, 2005). Penelitian tentang penggunaan kondensat telah dilakukan oleh Evita dkk (2005) dengan cara mengubah kondensat menjadi sistim

aerosol fuel. Tema penelitian tentang bahan bakar alternatif telah banyak dilakukan, terutama sejak terjadinya krisis energi dalam negeri yang berakibat pada semakin menurunnya kemampuan produksi minyak bumi di Indonesia. Setyani DA (2006) memanfaatkan minyak goreng bekas sebagai bahan bakar alternatif pada *burner* termodifikasi. Prasetyo (2003) menggunakan methanol sebagai energi alternatif khususnya untuk kendaraan bermotor dengan meninjau karakteristik pembakarannya. Pemanfaatan minyak jarak pagar sebagai bahan bakar dapat digunakan untuk minyak diesel sebagai penggerak generator pembangkit listrik (Patil, 2003), pengganti minyak tanah untuk keperluan memasak dan penerangan (Salim, 2005). Minyak jarak pagar dapat langsung dijadikan sebagai bahan bakar menggunakan *burner* termodifikasi dengan menurunkan viskositasnya dan mengatur suhu minyak mendekati titik nyalanya (Nadir, 2006).

Lalovic dkk (2006) mempelajari tantang pengaruh kondisi pembakaran terhadap suhu nyala pada pembakaran bahan bakar gas. Sedangkan Hejazi (2007) membuat metode numeris untuk menganalisis suhu nyala pada pembakaran gas metana. Pedengkatan yang sama juga dilakukan oleh Torazzo dkk (2006) dengan menggunakan sistem *burner* parsial *premix* pada pembakaran hidrokarbon.

METODE PENELITIAN

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Gas dan Batubara Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Instrumen Penelitian

Alat penelitian terdiri dari alat uji sifat fisis kondensat dan alat proses pembakaran. Alat uji sifat fisis terdiri dari alat uji *specific gravity* (ASTM D 1298-80), uji destilasi (ASTM D 86-07), uji *Reid Vapor Pressure* (ASTM D 323-79), uji tingkat korosi (ASTM D 131-88) dan uji kandungan sulfur (ASTM D 2632). Sedangkan alat – alat utama yang digunakan dalam proses pembakaran adalah tangki bahan bakar, *manometer*, katup, *nozel* (*spuyer*), koil *preheater*, *burner* industri, kompressor, cerobong asap, termokopel dan *gas analyzer* (star gas) dan skema proses pembakaran dapat dilihat pada Gambar 1.

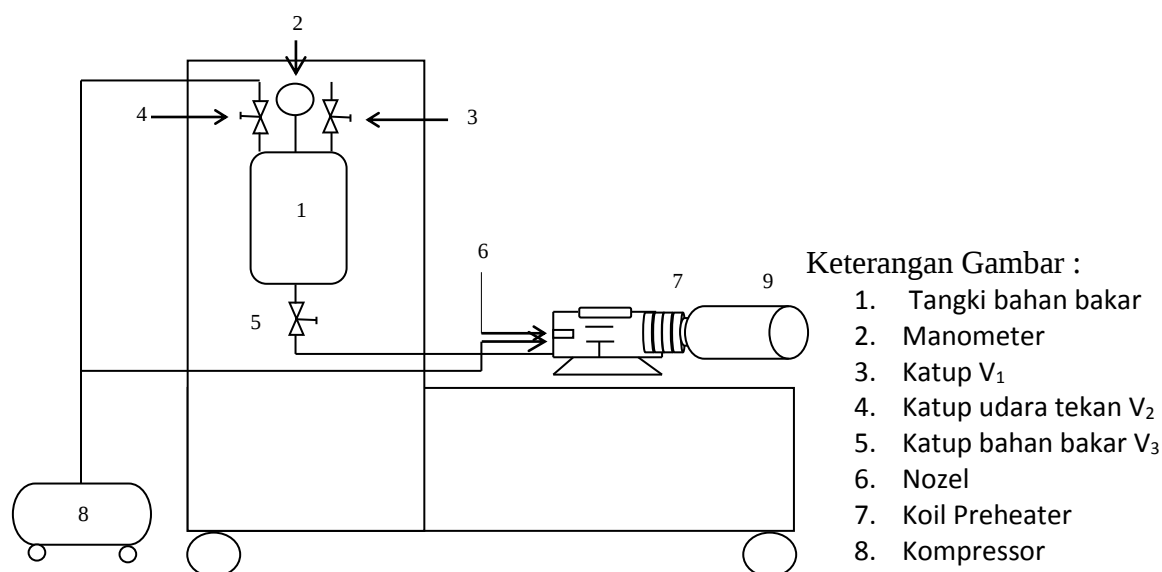
Pengambilan Data

Alat proses pembakaran dirangkai sesuai Gambar 1, tangki bahan bakar diisi dengan kondensat sebanyak 750 mililiter, kompresor dijalankan untuk mengisi udara tekan kedalam tangki bahan bakar dengan cara membuka katup udara tekan (V_2) sampai tekanan 1 atm dan tekanan ini dipertahankan dalam keadaan konstan selama proses pembakaran. Udara tekan berfungsi untuk mendorong bahan bakar mengalir ke *nozel*

burner, dan tekanan tangki bahan bakar dijaga tetap selama proses pembakaran. Laju air udara kompressor untuk oksidator divariasikan pada laju 2,55 ; 3,47 ; 4,61 dan 5,58 L/detik. Untuk tahap awal, *burner* dipanasi sampai suhu ± 200 C yang berfungsi sebagai pemanasan pendahuluan (*preheater*). Bahan bakar yang keluar dari nozel berubah menjadi uap dengan melalui *preheater*, kemudian diberi pemantik api untuk penyalaan awal. Pengukuran suhu dan konsentrasi gas hasil pembakaran diukur setelah nyala api pada kondisi stabil.

Teknik Analisa Data

Variabel berubah pada penelitian ini adalah perbandingan udara dengan bahan bakar (AFR) yaitu : 9,53 ; 14,88 ; 18,77 ; 23,10 dan 27,27. Sedangkan data yang diambil adalah konsentrasi GHP, suhu *flame* untuk masing – masing variasi data tersebut. Data konsentrasi GHP digunakan untuk menghitung AFR



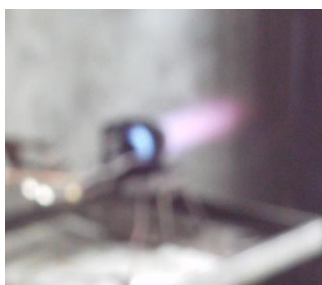
Gambar 1 Rangkaian alat proses pembakaran

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang disajikan dalam uraian pembahasan ini meliputi : pengaruh perbandingan udara-bahan bakar (AFR) terhadap konsentrasi gas hasil pembakaran (CO_2 , CO , HC dan NO_2), prediksi suhu *flame* dan deviasi kesalahan rata – rata antara suhu *flame* (T_{th}) hasil prediksi dengan pengukuran aktual (T_{fakt}).

Pemanfaatan kondensat sebagai bahan bakar alternatif bagi industri

Kondensat yang selama ini lebih banyak digunakan sebagai pelarut dan sebagian untuk pembangkit listrik di kilang, berpotensi jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti LPG bagi keperluan industri. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, kualitas nyala api yang dihasilkan berwarna biru (Gambar 2) Suhu *flame* tertinggi yang dihasilkan adalah $1480\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan suhu ini lebih tinggi dari LPG yaitu $870\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. Nyala api pada *burner* industri

Tabel 1. Konsentrasi GHP pada *burner* industri Dn = 1,5 mm (F = 26 ml/min)

Laju Udara Kompresor (L/det)	AFR	Konsentrasi GHP				Udara berlebih (%)
		CO ₂ (%)	CO (%)	HC (ppm)	NO ₂ (ppm)	
tanpa udara compressor	9,53	8,86	8,28	182,00	26,07	(35,07)
2,55	14,88	10,92	6,09	30,00	35,40	1,40
3,47	18,77	12,06	0,01	17,00	44,76	27,90
4,61	23,10	2,47	4,04	-	22,65	57,36
5,58	27,27	2,09	4,74	-	15,06	85,77
Ralat hasil regresi, %		26,63	5.087,20	1.654,75	22,53	

Pengaruh AFR terhadap konsentrasi Gas Hasil Pembakaran (GHP)

Sistem pembakaran pada *burner* industri dilakukan pada kondisi udara luar dan ditambah dengan udara kompresor yang dilewatkan pada koil *preheater*, sehingga untuk melihat efek perubahan perbandingan udara terhadap bahan bakar (AFR) dilakukan variasi laju alir udara kompresor sebagaimana yang terlihat pada Tabel 1. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa, perbandingan udara bahan bakar yang paling sempurna terjadi pada AFR = 18,77 dengan konsentrasi CO₂ = 12.06 %, CO = 0.009 %, HC = 17 ppm dan NO₂ = 44,76 ppm sebagaimana tertera pada Tabel 1 No.3. Kondisi pembakaran paling sempurna ini terjadi pada AFR yang lebih kecil dibandingkan dengan pembakaran kondensat menggunakan *burner* rumah tangga yakni

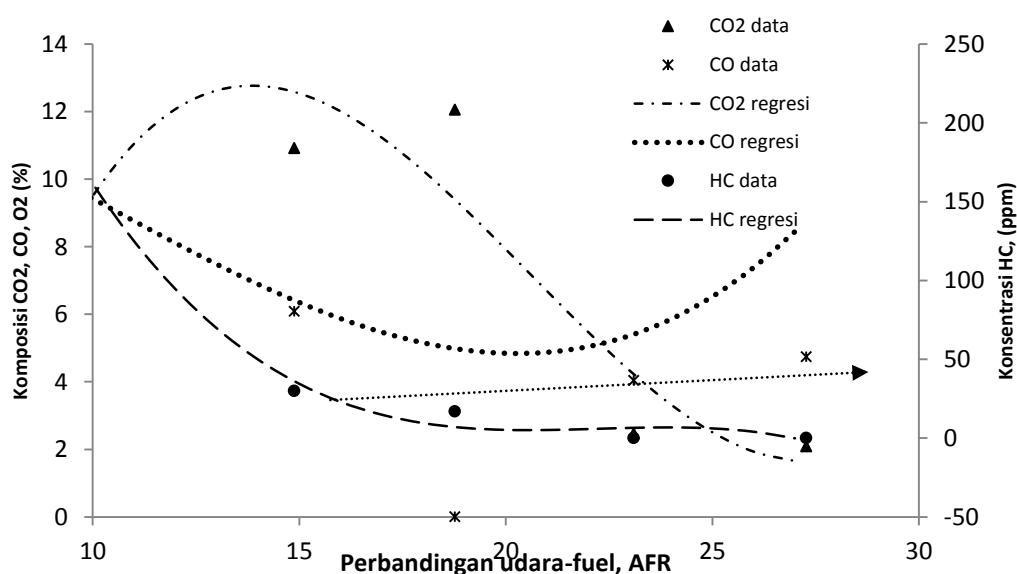
udara berlebih 27,90 % dan AFR 18,77. Hal ini terjadi karena, pada *burner* industri reaksi antara hidrokarbon dan oksigen berlangsung pada kondisi turbulensi yang lebih baik dibandingkan dengan pada *burner* rumah tangga dengan bantuan udara kompresor dan laju alir bahan bakar yang lebih tinggi yakni 26 ml/min sehingga menghasilkan butiran – butiran partikel bahan bakar yang jauh lebih kecil yang memungkinkan kontak antara partikel bahan bakar dengan udara semakin sempurna. Selain itu, udara kompresor dilewatkan melalui unit *preheater* sehingga oksigen yang bereaksi dengan hidrokarbon memiliki suhu yang lebih tinggi yang menyebabkan kecepatan reaksi akan meningkat.

Kondisi pembakaran yang belum mencapai kondisi stoikiometris sebagaimana terjadi pada kondisi AFR =

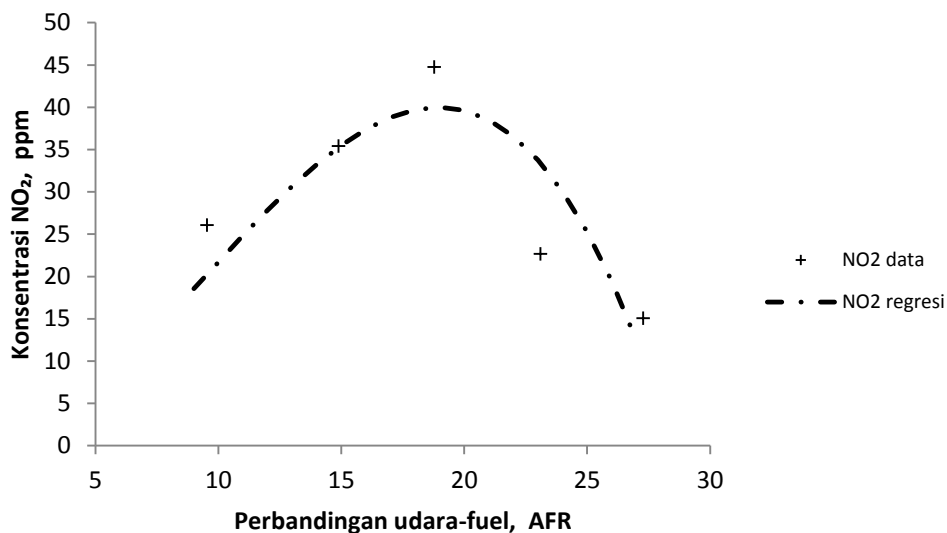
9,53 (Tabel 1 No.1) cenderung menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna yang ditandai dengan konsentrasi CO dan HC tinggi dan lidah api yang panjang serta berwarna kuning.. Hal ini terjadi karena jumlah oksigen yang ada belum cukup untuk bereaksi dengan hidrokarbon.

Pada pembakaran kondensat menggunakan *burner* industri, konsentrasi (%) CO₂ cenderung naik sebanding dengan kenaikan AFR pada AFR < 18,77 dan mengalami penurunan pada AFR > 18,77 (Gambar 3). Sebaliknya, konsentrasi CO mengalami penurunan pada AFR < 18,77 dan kembali naik pada AFR > 18,77. Konsentrasi CO₂ selalu meningkat pada kondisi pembakaran yang sempurna (Turns, 2000). Reaksi antara

hidrokarbon dan oksigen berjalan dengan baik dengan semakin meningkatnya nilai AFR pada AFR < 18,77 karena pada kondisi tersebut, tumbukan antar molekul – molekul pereaksi semakin baik dengan laju udara dari kompressor yang semakin naik sehingga membantu proses turbulensi dan homogenitas campuran antara hidrokarbon dengan oksigen. Selain itu, proses atomisasi sebagai salah satu tahap pembakaran berlangsung secara baik dengan menghasilkan butiran – butiran yang semakin kecil dan homogen akibat dari kenaikan suhu reaktan dan kecepatan udara kompressor yang semakin meningkat dan hal ini menyebabkan reaksi antara hidrokarbon dengan oksidan semakin sempurna dengan menghasilkan konsentrasi CO₂ yang semakin meningkat.



Gambar 3. Pengaruh AFR terhadap konsentrasi GHP *burner* industri



Gambar 4. Pengaruh AFR terhadap konsentrasi NO₂ *burner* industri

Pengaruh AFR terhadap konsentrasi HC yang dihasilkan memiliki kecenderungan semakin naik AFR semakin kecil konsentrasi HC dalam GHP. Pada *burner* industri ini, konsentrasi HC tertinggi yakni 182 ppm (Tabel 1). Hal ini terjadi karena pada *burner* industri, tumbukan antara molekul – molekul pereaksi semakin meningkat dengan adanya laju udara kompressor yang tinggi dibandingkan pada *burner* rumah tangga yang hanya menggunakan udara alami. Selain itu pada *burner* industri suhu reaktan pembakaran lebih tinggi karena menghasilkan suhu GHP yang tinggi dan udara kompressor dilewatkan melalaui unit *preheater* sehingga menghasilkan suhu reaktan yang semakin tinggi. Sisa nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂) yang ikut bersama GHP bereaksi menghasilkan NO₂

sebagaimana yang terjadi pada *burner* rumah tangga dan kecenderungan konsentrasi NO₂ yang dihasilkan sama dengan di *burner* rumah tangga yakni semakin tinggi suhu GHP, maka konsentrasi NO₂ yang dihasilkan semakin tinggi. Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi NO₂ tertinggi terjadi pada kondisi pembakaran paling sempurna yakni pada AFR = 18,77

Pengaruh AFR terhadap suhu pembakaran (T_R dan T_f)

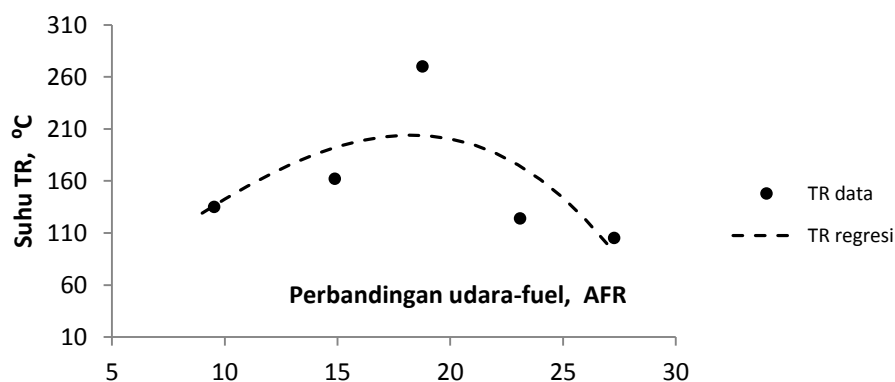
Pada pembakaran kondensat menggunakan *burner* industri, suhu *flame* terukur (T_{fakt}) tertinggi terjadi pada saat AFR = 18,77 yaitu 1480 °C (Tabel 2). Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa, kenaikan suhu reaktan dan suhu *flame* berbanding lurus dengan kenaikan AFR

pada $AFR < 18,77$, kemudian cenderung turun seiring dengan kenaikan AFR pada $AFR > 18,77$. Suhu *flame* tertinggi terjadi pada kondisi pembakaran paling sempurna, dimana reaksi antara karbon dan oksigen yang terjadi menghasilkan konsentrasi CO_2 tertinggi serta jumlah panas pembakaran yang tertinggi pula. Suhu *flame* yang dihasilkan melalui proses pembakaran pada *burner* industri jauh lebih besar dari suhu yang dicapai pada proses pembakaran menggunakan *burner* rumah tangga. Fenomena ini terjadi karena, pada *burner* industri,

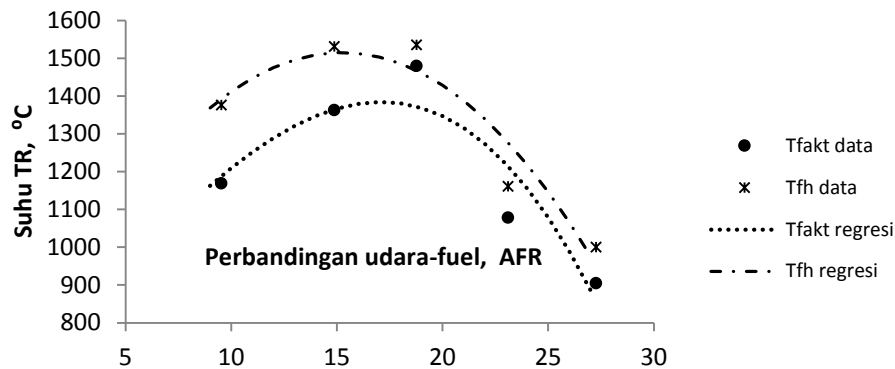
reaksi yang terjadi berlangsung pada kondisi udara berlebih yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan *burner* rumah tangga sehingga sisa N_2 dan O_2 yang ada dalam GHP tidak banyak untuk menyerap panas reaksi yang dihasilkan. Selain itu, reaksi pembakaran yang terjadi pada *burner* industri berlangsung pada kondisi campuran yang lebih homogen karena butiran – butiran partikel bahan bakar yang dihasilkan lebih kecil dan cenderung seragam dengan adanya bantuan udara kompressor dan laju bahan bakar yang lebih tinggi.

Tabel 2. Suhu Reaktan (T_R) dan Suhu *Flame* (T_f) *burner* industri

Laju Udara Kompresor (L/det)	AFR	T_R (°C)	T_{fakt} (°C)	T_{fh} (°C)	Ralat $T_{fh} - T_{fakt}$, %
Tanpa udara kompresor	9,53	135,00	1.169,00	1.376,11	17,72
2,55	14,88	162,00	1.363,00	1.531,12	12,33
3,47	18,77	270,00	1.480,00	1.535,67	3,76
4,61	23,10	124,00	1.078,00	1.161,43	7,74
5,58	27,27	105,00	905,00	1.000,21	10,52
Ralat hasil regresi, %		19,61	5,41	4,29	10,41



Gambar 5. Pengaruh AFR terhadap T_R *burner* industri



Gambar 6. Pengaruh AFR terhadap T_{fakt} dan T_{fh} burner industri

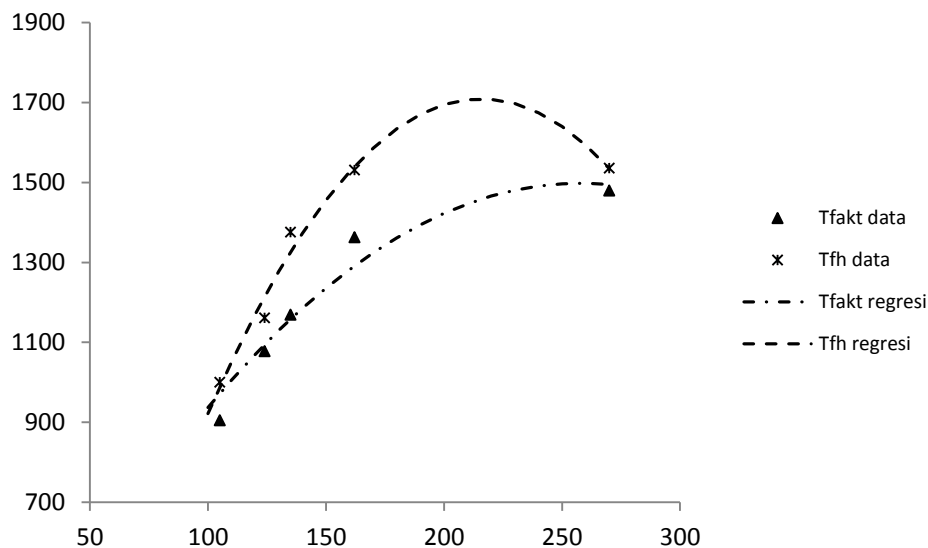
Hubungan Suhu Reaktan (T_R) dan Suhu Flame (T_f) Terukur dan Terhitung

Pada penelitian ini, suhu *flame* (T_f) yang dihasilkan semakin tinggi seiring dengan kenaikan suhu reaktan (T_R) sebagaimana terlihat pada Gambar 7. Hubungan antara T_R dan T_f cenderung berbanding lurus seperti dijumpai pada hasil penelitian yang disajikan oleh Lalovic dkk (2006). Namun hubungan antara T_R dengan T_{fakt} dan T_{fh} pada penelitian ini tidak mengikuti persamaan linier seperti

yang terjadi pada penelitian Lalovic dkk (2006). Hal ini terjadi karena pada penelitian ini variabel yang berubah adalah AFR sementara T_R merupakan efek dari kualitas reaksi pembakaran yang dihasilkan dari variasi AFR tersebut. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Lalovic dkk (2006) yang divariasikan adalah suhu reaktan secara langsung sehingga pengaruhnya menghasilkan hubungan matematik yang berbeda.

Tabel 3. Suhu T_R , T_{fakt} , T_{fh} (°C) burner industri

NO	TR (°C)	Tfakt (°C)	Tfh (°C)
1,00	105,00	905,00	1.000,21
2,00	124,00	1.078,00	1.161,43
3,00	135,00	1.169,00	1.376,11
4,00	162,00	1.363,00	1.531,12
5,00	270,00	1.480,00	1.535,67
Ralat hasil regresi, %		3,22	10,41



Gambar 7 Pengaruh T_R terhadap T_{fakt} dan T_{th} burner industri

Gambar 7 menunjukkan kecenderungan yang sama dengan pengaruh T_R pada penelitian Lalovic dkk (2006) yakni semakin tinggi suhu reaktan maka akan menghasilkan suhu nyala yang semakin tinggi.

Pendekatan model prediksi

Maximum Flame Temperature

Model yang dipakai pada prediksi suhu nyala adiabatik ($Q = 0$) dalam penelitian ini adalah mengikuti kajian teoritis skema panas reaksi yang meliputi panas pembentukan, panas reaktan dan panas produk GHP. Sedangkan kapasitas panas dihitung berdasarkan kapasitas panas fungsi suhu seperti yang telah diuraikan oleh Smith dkk (2001) dan juga Galssman (1996). Profil Gambar 7 memperlihatkan, bahwa suhu nyala

adiabatik (T_{th}) yang diperoleh melalui hitungan selalu lebih besar dari suhu nyala yang terukur (T_{fakt}). Hal ini disebabkan karena pada T_{th} belum memperhitungkan kehilangan panas ke lingkungan selama proses pembakaran dan disebut *maximum flame temperature* karena dianggap tidak terjadi *heat loss* (kehilangan panas) sehingga suhu yang dihasilkan adalah suhu maksimum.

Hasil hitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa, suhu nyala adiabatik (T_{th}) yang diperoleh memiliki perbedaan dengan kesalahan rata - rata (ralat) sebesar 10,41 % untuk *burner* industri. Sedangkan panas hilang (*Heat loss*) rata - rata berdasarkan hasil hitungan 10,34 % untuk *burner* industri sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Suhu tertinggi, Panas (Q_R) tertinggi, selisih suhu rata – rata dan panas hilang rata - rata

Burner	Nilai Tertinggi					Ralat Selisih T_{fakt} - T_{fh} , %	Heat Loss rata - rata, %
	T_R , °C	T_{fakt} , °C	T_{fh} , °C	xCO_2	Q_R , kkal/kg fuel		
Burner industri	270,00	1.480,00	1.535,67	0,96	11.643,05	10,41	10,34

Heat loss pada *burner* industri lebih besar dibandingkan dengan *burner* rumah tangga karena dipengaruhi oleh luas kontak yang lebih besar antara udara lingkungan dengan lidah api yang cukup panjang pada saat AFR belum mencapai kondisi stoikiometris.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pemanfaatan kondensat sebagai bahan bakar rumah tangga, dapat disimpulkan bahwa kondensat dapat menjadi bahan bakar pengganti LPG yang lebih baik dengan menghasilkan nyala api yang biru dan suhu yang lebih tinggi. Hubungan antara AFR dan konsentrasi sisa hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar berbanding terbalik, semakin besar AFR konsentrasi HC semakin kecil baik pada *burner* rumah tangga maupun *burner* industri.

Air Fuel Ratio (AFR) yang optimum untuk *burner* rumah tangga tercapai pada AFR = 30,94 dan laju kondensat 5,57 ml/menit dengan hasil : komposisi GHP :

CO_2 10,1 % ; CO 0,2 % ; HC 0 ppm ; NO_2 45 ppm, konversi reaksi (xCO_2) 0,98, dan suhu *flame* aktual 1189 °C. Semakin tinggi suhu reaksi (T_R), suhu *flame* (T_{fakt}) yang dihasilkan semakin tinggi. Suhu *flame* dapat diprediksi dengan menggunakan model neraca panas dengan tingkat kesalahan rata – rata sebesar 10,41 %

DAFTAR PUSTAKA

- Bakti, E., 2005, *Diversifikasi Produk Bahan Bakar Minyak*, Seminar Strategi Ketahanan Energi Jawa Barat Visi Tahun 2010, Desember, Bandung.
- Baukal, CE., Gershtein, V.Y., and Xianming, 2001, *Computational Fluid Dynamics in Industrial Combustion*, CRC Press, Florida.
- Evita EP, R., Hidayat, T., Duniani, Z., 2005, *Aerosol Fuel Sebagai Bahan Bakar Alternatif Untuk Rumah Tangga dan Industri*, *Media Pertamina* vol 53, Jakarta.

Frolov, S. M., Basevich, V. Ya., Belyaev, A. A., 1999, *Mechanisms of Flame Stabilization in a Ramjet Burner*, 10 ed, Taylor & Francis, Washington DC.

Glassman, I., 1996, *Combustion*, 3 ed., pp. 22-26, Academic Press, California.

Griswold, J., 1946, *Fuels, Combustion and Furnaces*, McGraw Hill Book Company, Inc., New York.

Hejazi, M.M., 2007, *Numerical Modelling of Turbulent Diffusion Flame Using Finite-Rate Chemistry Model*, Florida Atlantic University, Boca Raton.

http://en.wikipedia.org/wiki/Fire_triangle, 1 Maret 2010

<http://www.combustion.com>, 3 Februari 2010

Lalovic, M., Radovic, Z., Jaukovic, N., 2006, Flame Temperature As a Function of The Combustion Condition of Gaseous Fuels, *MTAEC9*, vol.40, pp. 89-92.

Nadir, M., 2006, *Penggunaan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif di Burner Termodifikasi*, Laporan Penelitian, Teknik Kimia UGM, Yogyakarta.

Nuryanti, Herdinie, Scorpio S., 2007, "Analisis karakteristik Komsumsi Energi Pada Sektor Rumah Tangga di Indonesia", *Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir*, 22-23 November 2007, Yogyakarta.

Prasetyo, T., 2003, "Karakteristik Pembakaran Metanol", http://rudycr.com/PPS702-ipb/07134/t_prasetyo.pdf, tanggal 25 Februari 2010.

Smith, J.M., Van Ness, H.C., Abbot, M.M., 2001, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, Edisi ke-6, McGraw Hill, Singapore.

Strahle, W.C., 1993, "An Introduction to Combustion, Gordon and Breach Publisher, Amsterdam.

Turns, S.R., 2000, "An Introduction to Combustion : Concept and Applications, 2 ed, McGraw Hill Book Company, Inc., New York.

Tarrazo, E.F., Sanchez, A.L., Linan, A., Williams, F.A., 2006, "A simple one-step Chemistry Model for Partially Premixed Hydrocarbon Combustion", *Journal of Combustion and Flame*, vol 147, pp. 32-38.

Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. W., 1999, "Combustion", 2 ed, pp. 4-6, 200, Springer, Berlin