

(SNTI-C10)
**ANALISIS FLAMMABILITY CAMPURAN REFRIGERAN R-134A + R-600A DENGAN
 KOMPOSISI (53,20%) : (46,80%), (33,85% : 66,15%), DAN (50,79% :49,21%) UNTUK
 MENGGANTI R-12 PADA SISTEM REFRIGERASI**

Amiruddin¹⁾, Muhsin²⁾, A. Muhamamad Irfan³⁾
^{1), 2), 3)}Jurusan Teknik Mesin FT-UNM
amiruddinmahmud74@gmail.com

ABSTRAK

Refrigeran dapat menjadi salah satu substansi tunggal, namun dapat dicampur dari dua atau lebih refrigeran, dan ini biasanya disebut sebagai "blended". Dari berbagai komposisi campuran refrigeran R-134a + R-600a yang telah diuji pada sistem refrigerasi, maka direkomendasikan campuran refrigeran R-134a + R-600a dengan komposisi (53,20%) : (46,80%), (33,85% : 66,15%), dan (50,79% :49,21%) untuk mengganti R-12 pada sistem refrigerasi. Namun ketiga jenis komposisi tersebut masih perlu dilakukan pengkajian secara eksperimen untuk menentukan sifat mampu nyala (flammability). Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dalam pengujian sifat mudah nyala atau terbakar (flammability), dapat disimpulkan bahwa refrigeran campuran R-134a + R-600a dengan komposisi (53,20%) : (46,80%), dan (50,79% :49,21%) dapat mengganti refrigerant R-12 pada system refrigerasi. Sehingga semua komposisi campuran yang diuji masuk kategori refrigeran A2. Berdasarkan data menunjukkan bahwa refrigeran campuran (53,20%) : (46,80%) lebih baik dibandingkan refrigeran campuran (50,79% :49,21%) baik dari nilai temperatur rata-rata masuk ke evaporator dan COP. Refrigeran campuran R-134a + R-600a dengan komposisi (66,15%) : (33,85%), tidak dapat mengganti refrigeran R-12 pada sistem refrigerasi karena data menunjukkan bahwa refrigeran campuran memiliki sifat mampu nyala (flammability).

Kata Kunci:Flammable, Refrigeran R-134a, Refrigeran R-600a, Refrigeran R-134a + R-600a, sistem refrigerasi.

ABSTRACT

Refrigerant can be one single substance, but can be blended from two or more refrigerants, and these are usually referred to as "blended". Composition of the mixture of various refrigerants R-134a + R-600a which has been tested on the refrigeration system, it is recommended that a mixture of refrigerant R-134a + R-600a with a composition (53.20%:46.80%), (33.85%:66.15%) and (50.79%:49.21%) for replacing R-12 in the refrigeration system. However, the composition of the three types of assessment needs to be done experimentally to determine the nature capable of flame (flammability). Based on the results of research and analysis that has been done in the testing sensitivities flame or flammable (flammability), it can be concluded that a mixture of refrigerant R-600a+R-134a with composition (53.20%:46.80%), and (50.79%:49.21%) can replace R-12 refrigerant in the refrigeration system. So that all the compositions tested mixture refrigerants in the category A2. Based on data showing that the refrigerant mixture (53.20%:46.80%) is better than mixed refrigerant (50.79%:49.21%) better than the average temperature value into the evaporator and the COP. Mixed refrigerant R-134a+R-600a with a composition (66.15%:33.85%), it can not replace the refrigerant R-12 in refrigeration systems since the data show that the refrigerant mixture has properties capable of flame (flammability).

Keywords:Flammable, Refrigerant R-134a, Refrigerant R-600a, Refrigerant R-600a+R-134a, refrigeration systems.

PENDAHULUAN

Refrigeran yang biasa digunakan seperti R-11, dan R-12, merusak lapisan ozon, maka perlu dicari refrigeran alternatif, yaitu refrigeran baru yang menggantikan refrigeran yang merusak ozon tersebut. Dan refrigeran R-134a tidak terlalu berbahaya bagi ozon dan belum diatur ketentuan impornya. Namun demikian, dan sisi masalah lingkungan yang lain yakni pemanasan global, refrigeran ini termasuk zat yang harus diawasi, karena mempunyai potensi menimbulkan pemanasan global yang cukup tinggi.

Beberapa sistem refrigerasi yang diproduksi di Indonesia menggunakan refrigeran iso-butana (R-600a). Refrigeran ini termasuk jenis refrigeran hidrokarbon dan masih sulit diperoleh secara komersial di Indonesia. Refrigeran ini mungkin bisa diperoleh pada bengkel resmi dan produsen lemari es tersebut. Refrigeran R-600a mempunyai sifat-sifat yang berbeda dengan refrigeran hidrokarbon pengganti R-12 (HCR-12).

R-600a digunakan secara umum pada sistem refrigerasi atau lemari es rumah tangga di Eropa, dan saat ini sudah dipakai di Indonesia. Kapasitas pendinginannya sangat rendah (sekitar 60% dari R-12). Kompresor yang

digunakan untuk R-600a harus mempunyai langkah yang sangat besar, tetapi mempunyai ukuran motor yang sama dengan peralatan R-12. Oleh karena itu, kompresornya berbeda dengan kompresor R-12 dengan kombinasi langkah atau motor yang berbeda. R-600a umumnya hanya dipakai untuk peralatan rumah tangga, tetapi kadang-kadang digunakan pula untuk peralatan komersial yang sangat kecil. R-600a tidak pernah digunakan untuk mengkonversi (meretrofit) sistem R-12 atau R-134 yang telah ada.

Meskipun refrigeran dapat menjadi salah satu substansi tunggal, namun dapat dicampur dari dua atau lebih refrigeran, dan ini biasanya disebut sebagai "*blended*". Refrigeran campuran telah dirumuskan untuk memberikan perbandingan sifat dan karakteristik refrigeran awalnya digunakan (yaitu dalam kasus retrofit campuran) tertentu, atau untuk mencapai satu set tertentu dari properti untuk alasan lainnya. Kebanyakan campuran tersedia secara komersial memiliki antara dua dan lima komponen. Komponen-komponen ini mungkin HCFC, HFC dan/atau HCS dan PFC. Komponen refrigeran tunggal dalam refrigeran campuran tidak memiliki karakteristik fisik yang identik, namun memiliki kepadatan yang berbeda, viskositas yang berbeda dan penguapan berbeda dan kondensasi temperatur pada tekanan tertentu. Dengan campuran, komponen dalam campuran mengubah komposisi dalam fase cair dan uap sebagai campuran mendidih atau mengembun, ini dikenal sebagai zeotropes. Ini memiliki sebutan R-nomor atau R-4xx. Umumnya, masing-masing komponen dalam campuran tertentu berinteraksi sedemikian rupa sehingga fasa uap dan fasa cair memiliki komposisi yang sama pada tekanan tertentu; campuran ini disebut campuran azeotropik. Ini memiliki sebutan R-nomor atau R5xx.

Beberapa campuran menggunakan refrigeran yang mudah terbakar sebagai salah satu komponen, dan beberapa campuran hanya menggunakan campuran hidrokarbon. Oleh karena itu, beberapa masalah keamanan dikembangkan untuk aplikasi. Beberapa kawasan dan negara-negara menetapkan batasan dalam peralatan khusus untuk jenis seperti campuran atau bahkan melarang penggunaannya. Di negara maju, campuran berbasis HCFC penggantian R-12 tidak banyak digunakan untuk pembuatan peralatan baru atau retrofit peralatan yang ada sebagian karena nilai ODP nya, mudah terbakar dan pelayanan komplikasi. Juga, retrofitting peralatan tidak dilakukan di negara maju terutama karena ketersediaan daur ulang CFC untuk servis dan biaya retrofitting tinggi karena biaya tenaga kerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan biaya peralatan baru.

Beberapa pakar mendukung penggunaan campuran refrigeran dengan alasan bahwa campuran refrigeran menyediakan cara lain untuk membantu negara dalam mematuhi ketentuan CFC - dalam Protokol Montreal sementara tidak merugikan kepentingan pengguna akhir. Campuran refrigeran (jika komponen utama adalah baik R-22 / R-152a/HCS) bisa lebih murah dari R-134a dan alternatif lain, cenderung banyak tersedia. refrigeran campuran berbasis HCFC seperti yang disebutkan di atas bertujuan untuk menggantikan R-12 sebagian besar dapat digunakan dengan minyak mineral dan dapat memberikan kinerja yang dapat diterima dalam peralatan terpasang.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan mensimulasi menggunakan *software* NIST REFPROP 8.0 dan hasil perhitungan masing-masing refrigeran R-12, R-134a dan R-600a serta campuran R-134a + R-600a menunjukkan bahwa campuran R-134a + R-600a dapat mengganti refrigeran R-12. Dengan indikator beberapa campuran refrigeran R-134a + R-600a yang masing-masing menunjukkan sifat termodinamika refrigeran campuran R-134a + R-600a berdasarkan temperatur rata-rata masuk ke evaporator yaitu ; 1) komposisi (53,20%) : (46,80%) = $-21,5^{\circ}\text{C}$, 2) komposisi (33,85%) : (66,15%) = $-10,9^{\circ}\text{C}$, 3) komposisi (50,79%) : (49,21%) = $-16,2^{\circ}\text{C}$, 4) komposisi (47,83%) : (52,17%) = $-16,6^{\circ}\text{C}$, 5) komposisi (70,45%) : (29,55%) = $-20,4^{\circ}\text{C}$, 6) komposisi (63,64%) : (36,36%) = $-20,6^{\circ}\text{C}$, dan 7) komposisi (50,00%) : (50,00%) = $-14,1^{\circ}\text{C}$. sehingga komposisi (53,20%) : (46,80%), (70,45%) : (29,55%) dan (63,64%) : (36,36%) menunjukkan temperatur yang cukup baik untuk masuk ke evaporator. Sementara komposisi yang menunjukkan penggunaan arus listrik yang baik adalah komposisi (50,00%) : (50,00%) = 0,68A, (70,45%) : (29,55%) = 0,70A dan (53,20%) : (46,80%) = 0,704A.

Sementara perbandingan temperatur dengan tekanan vapor refrigeran antara R-12, R-134a, R-600a dan Campuran R-134a + R-600a menunjukkan bahwa 1) komposisi (53,20%) : (46,80%), 2) komposisi (50,79%) : (49,21%), 3) komposisi (47,83%) : (52,17%), dan 3) komposisi (50,00%) : (50,00%). Sehingga campuran refrigeran yang baik untuk mengganti R-12 adalah komposisi (63,64%) : (36,36%). Dan perhitungan COP, menunjukkan bahwa campuran yang dapat mengganti refrigeran R-12 adalah komposisi (53,20%) : (46,80%) = 2.43, (33,85%) : (66,15%) = 2.35 dan (50,79%) : (49,21%) = 2.30. COP yang paling buruk adalah komposisi (47,83%) : (52,17%) = 1.47 dan komposisi (63,64%) : (36,36%) = 1.80

Dari berbagai komposisi campuran refrigeran R-134a + R-600a yang telah diuji pada sistem refrigerasi, maka direkomendasikan campuran refrigeran R-134a + R-600a dengan komposisi (53,20%) : (46,80%), (33,85% : 66,15%), dan (50,79% : 49,21%) untuk mengganti R-12 pada sistem refrigerasi. Namun ketiga jenis komposisi tersebut masih perlu dilakukan pengkajian secara eksperimen untuk menentukan sifat mampu nyala (*flammability*) dalam mengaplikasikan pada sistem refrigerasi.

KAJIAN PUSTAKA

Refrigeran Campuran

Selama ini, refrigeran campuran sudah menarik minat dari para perancang dalam proses mencari alternative baru. Campuran menawarkan solusi yang paling menarik, karena dengan pencampuran dua atau lebih refrigeran suatu fluida kerja baru dengan karakteristik yang diinginkan dapat diciptakan. Sebagai contoh, menyesuaikan komposisi suatu campuran yang berisi refrigeran *high-pressure* dan refrigeran *low-pressure*, tekanan uap cairan yang akhir dapat disesuaikan dengan tekanan uap air cairan refrigeran CFC atau HCFC digantikan. Dengan refrigeran campuran, dimungkinkan untuk menciptakan campuran baru yang tidak memiliki sifat mampu menyala (*flammability*) tetapi masih berisi refrigeran yang mudah terbakar. Di kasus lain, campuran diciptakan untuk meningkatkan karakteristik temperatur keluaran refrigeran, atau untuk meningkatkan sirkulasi pelumas dengan menambahkan *lubricant-niscible refrigerant* ke refrigeran campuran.

Refrigeran R-600a dapat dijadikan alternatif untuk menggantikan refrigeran R-12 dengan pertimbangan bahwa refrigeran R-600a tidak memiliki nilai ODP (*Ozone Depleting Potential*) karena tidak memiliki unsur klor, dan memiliki nilai GWP (*Global Warming Potential*) yang dapat diabaikan sehingga tidak berpotensi merusak ozon dan pemanasan global.

Refrigeran R-600a memiliki nilai NBP (*Normal Boiling Point*) sebesar -11,7 lebih tinggi dari R-12 dengan N.B.P sebesar -29,8 dan R-134a dengan N.B.P sebesar -26,16 lebih tinggi dari R-12. Pencampuran antara R-600a dengan R-134a yang merupakan pencampuran antara *high boiling point* dengan *low boiling point* akan menghasilkan *boiling point* yang mendekati R-12 pada komposisi campuran tertentu.

R-600a (i-butana) adalah refrigeran alami dan merupakan salah satu jenis HC. Apabila refrigeran ini dicampur pada komposisi tertentu dengan R-134a dapat menghasilkan sifat termodinamika yang mirip dengan R-12. Untuk tetap mengupayakan terpenuhinya sifat-sifat termodinamika sesuai refrigeran R-12, maka penambahan R-134a (yang memiliki kurva titik didih lebih tinggi dari R-12) diharapkan mampu menaikan kurva titik didih R-600a yang lebih rendah dari R-12. Sehingga kurva titik didih campuran R-134a + R-600a mendekati kurva titik didih R-12 seperti pada gambar 1. hasil penelitian yang telah dilakukan sebelum.

Sifat R-600a yang ramah lingkungan baik dari segi perusakan ozon, maupun pemanasan global membuat refrigeran ini dapat dianggap sebagai salah satu refrigeran alternatif pengganti R-12 yang tidak ramah lingkungan. Refrigeran campuran R-600a + R-134a dapat menggantikan secara langsung R-12 tanpa harus mengganti komponen mesin refrigerasi R-12. Namun demikian campuran R-600a + R-134a pada komposisi tertentu masih memiliki sifat mampu menyala (*flammable*) yang tinggi. Penamabahan R-134a juga dapat sebagai zat peredam nyala yang bersifat *non-flammable* dalam campuran tersebut dimaksudkan untuk mengurangi atau mempersempit pita dari batas penyalaan refrigeran.

Pemilihan komposisi refrigeran campuran R-134a + R-600a sebagai refrigeran alternatif pengganti R-12 berdasarkan bantuan sebuah perangkat lunak, dapat dicari tekanan jenuh campuran R-600a dengan R-134a yang mendekati R-12, i-butane murni memiliki kurva titik didih yang lebih rendah dari R-12 dan R-134a, tetapi pencampurannya dengan dengan R-134a pada perbandingan fraksi mol tertentu akan menyebabkan tekanan campuran R-134a + R-600a mendekati tekanan didih R-12 apabila keduanya dicampur pada temperatur yang sama.

Refrigeran campuran hidrokarbon ini merupakan campuran zeotrop, dimana terjadi fenomena temperature glide (refrigeran tidak mencapai titik penguapan dan pengebuman pada temperatur dan tekanan konstan) pada proses evaporasi dan kondensasi. Hal ini disebabkan oleh komposisi uap dan komposisi unsur-unsurnya yang selalu berubah pada waktu proses penguapan dan pengembunan. Campuran zeotropik adalah campuran refrigeran yang berbeda keadaan menguapnya, terlihat ketika mengamati kinerja siklus refrigerasi. Sebagai contoh, perubahan dalam komposisi molar dan/atau perubahan temperatur jenuh selama boiling atau kondensasi. Cara ini, tidak berperilaku seperti refrigeran tunggal ketika kondensasi atau menguap.

Pada kondisi mendekati uap jenuh dalam fasa campuran, kondisi campuran lebih kaya dengan komponen yang memiliki titik didih lebih rendah. Akibatnya campuran yang mengalir sepanjang evaporator akan mengalami kenaikan titik didih dan kenaikan temperature evaporasi. Pada tekanan evaporasi, titik cair jenuh akan lebih rendah daripada titik uap jenuh. Demikian juga pada proses kondensasi, temperature kondensasi akan turun selama proses kondensasi berlangsung. Flammability (Sifat mampu nyala) adalah suatu peristiwa yang terjadi dalam pembakaran dimana reaksi dapat berjalan dengan sendirinya (*self-sustaining*) dan perambatan nyala menjauh dari sumber penyalahan. Daerah perambatan sendiri (*self-propagation*) terjadi ketika dilakukan penyulutan ditandai dengan harga LFL dan UFL.

Suatu gas flammable dapat terbakar apabila dipenuhi kondisi-kondisi yang dibutuhkan yaitu seperti adanya sumber penyalahan, tercapainya temperatur adiabatik, sumber energi sulut minimum yang diperlukan untuk menjamin tercapainya batas temperatur adiabatik bagi perambatan nyala awal suatu campuran. Semakin besar energi sulut akan memperkecil harga LFL dan membesarnya harga UFL. Kisaran batas penyalahan akan semakin melebar dengan meningkatnya temperatur maupun tekanan campuran. Kenaikan temperatur dapat mengakibatkan suatu campuran uap/udara yang *non-flammable* pada kondisi lingkungan menjadi flammable. Kenaikan tekanan secara substansial juga akan memperlebar kisaran *limit flammability*, terutama dengan meningkatnya UFL, sementara LFL umumnya sedikit sekali mengalami perubahan.

Refrigeran diklasifikasikan menjadi tiga kelompok tingkat nyala yaitu : Kelas A1 : Refrigeran yang tidak menunjukkan perambatan api (*flame propagation*) jika diuji di udara pada 101 kPa (14.7 psia) dan 180C (650F). Kelas A2 : LEL>0,10 kg/m³ atau 3,5 % volume pada 210C dan 101 kPa, kalor pembakaran < 19000 kJ/kg. dan Kelas A3 :LEL < 0,10 kg/m³ atau 3,5 % volume pada 210C dan 101 kPa, kalor pembakaran > 19000 kJ/kg

Batas atau daerah dimana perambatan sendiri (*self-propagation*) dari nyala dapat terjadi ketika dilakukan penyulutan dinyatakan dengan harga LFL dan UFL. hidrokarbon dapat menyala bila tercampur dengan udara dan dibakar Konsentrasi udara harus berada di antara batas nyala bawah (atau lower flammability Limit; LFL) dan batas nyala atas (atau upper flammability limit: UFL). LFL (*Low Flammability Limit*) adalah batas minimum konsentrasi refrigeran dalam udara dapat menyala dan melakukan perambatan apabila dihadapkan pada suatu sumber penyalahan, LFL dinyatakan dalam persentase volume refrigeran dalam udara pada temperatur ruang ±25oC dan tekanan atmosfer 101 kPa (1 atm). UFL (*Upper Flammability Limit*) adalah batas maksimum konsentrasi refrigeran dalam udara dapat menyala dan melakukan perambatan apabila dihadapkan pada suatu sumber penyalahan, UFL dinyatakan dalam persentase volume refrigeran dalam udara pada temperatur ruang ±25°C dan tekanan atmosfer 101 kPa (1 atm).

Perhitungan Prediksi LEL Campuran Berdasarkan Aturan Le Chatelier

Dari persamaan dasar Le Chatelier yang disederhanakan (persamaan 2.1) dapat dicari LEL untuk refrigeran campuran R-134a dan R-600a adalah sebagai berikut :

$$LEL_m = \frac{100}{\frac{P_{R-600a}}{LEL_{R-600a}} + \frac{P_{R-134a}}{LEL_{R-134a}}} \quad (1)$$

Berdasarkan SNI 06-6500-2000, berdasarkan LEL untuk komponen murni R-600a adalah sebesar 1,5% volume di udara. Sedangkan komponen murni untuk R-134a termasuk kedalam refrigeran A1, sehingga komponen ini tidak memiliki batas nyala baik LEL maupun UEL. Oleh karena itu, komponen murni R-134a tidak disertakan (dianggap nol) pada perhitungan LEL, sehingga persamaan Le Chatelier menjadi :

$$LEL_m = \frac{100}{\frac{P_{600a}}{LEL_{600a}}} \quad (2)$$

Persentase campuran R-134a + R-600a pada komposisi komposisi (53,20%) : (46,80%), (33,85% : 66,15%), dan (50,79% :49,21%) masih dalam fraksi mol, untuk menentukan berapa banyaknya refrigeran (dalam kg) yang kita masukkan ke dalam tabung, kita harus menentukan fraksi massanya terlebih dahulu, adapun caranya adalah sebagai berikut :

$$\phi_i = \frac{M_i}{\sum_j M_j} = \frac{M_i}{M} \quad (3)$$

Dimana : ϕ_i = fraksi massa komponen dalam campuran, M_i = massa komponen dalam campuran (kg)
 M = massa total campuran (kg)

Sehingga, untuk menentukan massa masing-masing campuran R-600 dan R-134a, persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_{R-600a} = \phi_{R-600a} \times M \tag{4}$$

$$M_{R-134a} = \phi_{R-134a} \times M \tag{5}$$

METODELOGI PENELITIAN

Alat Uji Flammability

Alat uji flammability yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan mengacu pada standard ASTM E 681-85 (reapproved 1991): *standard test method for concentration limits of flammability of chemicals*. Alat uji yang digunakan dalam pengujian *flammability* ini telah mengalami modifikasi pada bagian tertentu namun tetap mempertahankan kualitas fungsi dari komponen tersebut dan tidak menyalahi aturan yang tercantum dalam standar.

Langkah awal untuk pengisian sampel kedalam ruang uji adalah pemasangan semua selang saluran refrigeran dan alat ukur. Setelah semua terpasang, kemudian ruang uji, selang-selang dan semua saluran divakumkan sampai mencapai tekanan vakum sekitar -550 Psi. Setelah itu, cata tekanan vakum yang terjadi, dan semua sampel campuran R-134a + R-600a sesuai dengan tekanan parsial yang telah ditentukan. Pemasukan sampel dari tabung sampel dilakukan dari sisi cair, dan diatur dengan katup jarum (proses throttling) secara perlahan. Pengambilan campuran R- R-134a + R-600a dilakukan dari sisi cair dimaksudkan agar komposisi campuran yang masuk kedalam ruang uji sesuai dengan komposisi campuran yang masuk kedalam ruang uji sesuai dengan komposisi R-134a + R-600a yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah tekanan parsial campuran R-134a + R-600a yang masuk kedalam ruang uji tercapai, kemudian katup jarum ditutup dan katup ventilasi dibuka agar udara dapat masuk kedalam ruang uji. Pemasukkan udara dilakukan sampai tekanan ruang uji sama dengan tekanan atmosfer.

Setelah udara memasuki ruang uji dan tekanan ruang uji sama dengan tekanan udara luar, kemudian semua katup diposisikan dalam keadaan katup tertutup. Setelah itu kipas pengaduk dioperasikan selama 5 menit, sesuai dengan aturan dalam standar ASTM. Pengadukan selama 5 menit diharapkan dapat membuat campuran sampel-udara sudah homogen dan tunak. Setelah diaduk dengan menggunakan kipas, kemudian katup jarum, dan katup alat ukur ditutup, dan katup ventilasi di posisikan terbuka penuh. Set waktu penyalaan selam 0,2 detik. Kemudian switch timer dinyalakan dan elektroda akan menghasilkan bunga api listrik.

Pengambilan Data

Pengambilan data flammability dilakukan pada saat campuran sampel-udara dinyalakan oleh elektroda. Campuran dianggap terbakar apabila terjadi perambatan nyala api dari ujung elektroda ke arah luar dan atas. Sedangkan apabila nyala api hanya di ujung elektroda dan tidak merambat, maka campuran hanya dikatakan sebagai campuran tidak terbakar pada pengujian untuk mendapatkan LFL campuran, tekanan parsial minimum yang menghasilkan nyala + propagasi dan tekanan parsial maksimum yang tidak menghalkan nyala + propagasi harus dicatat untuk menghitung harga LFL yang sebenarnya. Sedangkan pada pengujian UFL campuran, tekanan parsial maksimum yang menghasilkan nyala + propagasi dan tekanan parsial minimum yang tidak menghasilkan nyala + propagasi harus dicatat untuk menghitung harga UFL yang sebenarnya. Untuk masing-masing komposisi campuran pengambilan data dilakukan dua sampai empat kali pengulangan. Hal ini dimaksudkan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh mengenai keabsahannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Flammability Campuran R-134a + R-600a

Table 1. Hasil Pengujian Campuran Refrigeran dengan komposisi berkisar 53,20% R-134a + 46,80% R-600a

Percobaan	Massa(gr)			Tekanan(Psi)			Status (menyala/tidak menyala)
	R-134a	R-600a	Total	R-134a	R-600a	setelah pengujian	
1	10.85	9.33	20.18	35	60	60	Tidak Menyala
2	11.21	9.61	20.8	37	64	64	Tidak Menyala
3	10.72	9.82	20.5	34	62	62	Tidak Menyala



Gambar1.Hasil Pengujian Campuran Refrigeran dengan komposisi berkisar 53,20% R-134a + 46,80% R-600a

Table 2.Hasil Pengujian Campuran Refrigeran dengan komposisi berkisar 33,85% R-134a + 66,15% R-600a

Percobaan	Massa (gr)			Tekanan (Psi)			Status(menyala/ tidak menyala)
	R-134a	R-600a	Total	R-134a	R-600a	Setelah pengujian	
1	7,38	14,39	21,77	36	63	49	Menyala
2	7,40	14,18	21,58	37	64	49	Menyala
3	7,42	14,25	21.67	37	65	50	Menyala



Table 2.Hasil Pengujian Campuran Refrigeran dengan komposisi berkisar 33,85% R-134a + 66,15% R-600a

Table 3.Hasil Pengujian Campuran Refrigeran dengan komposisi berkisar 50,79% R-134a + 49,21% R-600a

Percobaan	Massa(gr)			Tekanan(Psi)			Status (menyala/tidak menyala)
	R-134a	R-600a	Total	R-134a	R-600a	Setelah pengujian	
1	10.31	10.10	20.41	34	60	60	Tidak Menyala
2	11.23	10.92	22.15	37	64	64	Tidak Menyala
3	10.74	10.55	21.29	35	62	62	Tidak Menyala



Gambar 3.Hasil Pengujian Campuran Refrigeran dengan komposisi berkisar 50,79% R-134a + 49,21% R-600a

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian baik uji unjuk kerja (COP) maupun uji sifatmampu nyala (flammability) pada campuran R-134a + R-600a dengan komposisi (53,20% : 46,80%), (33,85% : 66,15%), dan (50,79% : 66,15%), maka memberikan hasil

untuk menjadi rujukan penggunaan refrigeran campuran R-134a + R-600a sebagai pengganti R-12 untuk sistem refrigerasi. Untuk komposisi refrigeran campuran 53,20% R-134a + 46,80% R-600a merupakan refrigeran yang dapat digunakan untuk mengganti refrigerant R-12 pada sistem refrigerasi karena berdasarkan temperatur rata-rata masuk ke evaporator yaitu $-21,5^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan COP sebesar 2,43. Sementara hasil uji sifat mampu nyala (*flammability*) menunjukkan bahwa campuran refrigeran ini tidak memiliki sifat mampu nyala (*Non-flammability*).

Untuk komposisi refrigeran campuran 33,85% R-134a + 66,15% R-600a merupakan refrigeran yang tidak dapat digunakan untuk mengganti refrigerant R-12 pada sistem refrigerasi walaupun berdasarkan temperatur rata-rata masuk ke evaporator yaitu $-10,9^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan COP sebesar 2,35 memungkinkan dapat mengganti R-12. Sementara hasil uji sifat mampu nyala (*flammability*) menunjukkan bahwa campuran refrigeran ini memiliki sifat mampu nyala (*flammability*). Untuk komposisi refrigeran campuran 50,79 % R-134a + 49,21 % R-600a merupakan refrigeran yang dapat digunakan untuk mengganti refrigerant R-12 pada sistem refrigerasi karena berdasarkan temperatur rata-rata masuk ke evaporator yaitu $-16,2^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan COP sebesar 2,30. Sementara hasil uji sifat mampu nyala (*flammability*) menunjukkan bahwa campuran refrigeran ini tidak memiliki sifat mampu nyala (*Non-flammability*).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dalam pengujian sifat mudah nyala atau terbakar (*flammability*), dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Refrigeran campuran R-134a + R-600a dengan komposisi (53,20%) : (46,80%), dan (50,79% : 49,21%) dapat mengganti refrigerant R-12 pada sistem refrigerasi. Sehingga semua komposisi campuran yang diuji masuk kategori refrigeran A2. Berdasarkan data menunjukkan bahwa refrigeran campuran (53,20%) : (46,80%) lebih baik dibandingkan refrigeran campuran (50,79% : 49,21%) baik dari nilai temperatur rata-rata masuk ke evaporator dan COP.
2. Refrigeran campuran R-134a + R-600a dengan komposisi (66,15%) : (33,85%), tidak dapat mengganti refrigeran R-12 pada sistem refrigerasi karena data menunjukkan bahwa refrigeran campuran memiliki sifat mampu nyala (*flammability*)

DAFTAR PUSTAKA

- Andrew Gigiel, 2004, *Safety Testing of Domestic Refrigerators Using Flammable Refrigerants*, International Journal of Refrigeration 27 (2004) 621–628
- F. Van den Schoor, and F. Verplaetsen, 2007, *The Upper Flammability Limit of Methane/Hydrogen/Air Mixtures At Elevated Pressures and Temperatures*, International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 2548 – 2552
- Fuman Zhao, William J. Rogers, M. Sam Mannan, 2008, *Experimental Measurement and Numerical Analysis of Binary Hydrocarbon Mixture Flammability Limits*, Process Safety and Environment Protection-journal homepage: www.elsevier.com/locate/psep
- Girodroux F., et. al (2000). *Determination of the critical flammability ratio (CFR) of refrigerant blends*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13. Safety Consulting Engineers, Inc., Schaumburg, P.385–392 USA
- Granryd, E., 2001, *Hydrocarbons as Refrigerants – an Overview*, International Journal of Refrigeration 24, pp 15 - 24.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2007, Country Programme Update, Jakarta, KLH
- Lee, Y.S, Su, C.C., 2001, *Experimental Studies of Isobutane (R600a) as the Refrigerant in the Domestic Refrigeration System*, Applied Thermal Energy 22 pp 507-519.
- Palm, B., 2007, *Hydrocarbons as Refrigerants in small Heat Pump and Refrigeration Systems*, International Journal of Refrigeration, Article In Press.
- Syaka, D., R. B., 2011, *Karakteristik Campuran Karbon Dioksida Dan Etana Di Siklus Temperatur Rendah Pada Sistem Refrigerasi Cascade*. UI.
- Sanjay, K., V., Sutar S.S., 2012, *Retrofitting of refrigeration Bench Test Rig - Replacing R-12 Refrigerant by R134a Refrigerant*, IOSR Journal of Engineering May. 2012, Vol. 2(5) pp: 952-955
- Shigeo Kondo, et. al, 2004, *Measurement and Numerical Analysis of Flammability Limits of Halogenated Hydrocarbons*, Journal of Hazardous Materials A109 (2004) 13–21,
- Shigeo Kondo et. al, 2006, *Flammability Limits of Multi-Fluorinated Compounds*, Fire Safety Journal 41 (2006) 46–56
- Yang Zhao, et. al, 2000, *Performance and Dynamic Flammability of R32/134a Mixtures In Water-To-Water Heat Pumps*, Energy 27 (2002) 127–134