

PENGARUH PENGGUNAAN KATALIS KALIUM HIDROKSIDA PADA CAMPURAN MINYAK NABATI DAN AIR TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN DENGAN MENGGUNAKAN METODE STEAM REFORMING

Anas Mukhtar

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas PGRI Banyuwangi
Jurusan Teknik Mesin
dur_yudana@yahoo.com

I.N.G Wardana

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
wardana@ub.ac.id

Agung Sugeng Widodo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
agung_sw@ub.ac.id

Steam reforming is a process of hydrogen formation through the process of vaporization of vegetable oil and water at a certain heating temperature using a catalyst, so the chemical reaction is occurred and produced hydrogen gas. The catalysts used is potassium hydroxide (KOH) in the amount of 1 gram, 2 grams, and 3 grams, which are heated at 350°C. To investigate the effectiveness of hydrogen production, the vegetable oil and water mixture is varied of 1:1, 1:2, 1:3. The steam coming out from the pipe is burned to get the color of the flame. The area of flame color is calculated using AutoCAD software, which is the color are a blue flame, yellow flame, and the color of red flame. The calculation results area of the flame colors showed that the greater addition of vegetable oil to water and the greater addition of the potassium hydroxide catalyst is increased hydrogen production.

Keywords: *Vegetable Oil, Steam Reforming, Potassium Hydroxide (KOH), Hydrogen Productivity, Catalyst*

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia saat ini didominasi energi fosil. Minyak merupakan penyedia porsi terbesar disusul batubara dan gas, sedangkan sumber energi baru terbarukan (EBT) masih relatif minim. Mengacu pada posisi dunia dalam bidang energi, ketersediaan BBM semakin kritis. Di Indonesia juga tidak jauh berbeda. Pada tahun 2010 konsumsi energi masih didominasi sumber energi fosil (95,2%) dan sumber EBT hanya 4,8%. Sumber energi fosil yang dimaksud terdiri dari 46,3% minyak bumi, 26,4 batubara, 21,9% gas bumi. Pemakaian energi rata-rata diperuntukkan terhadap transportasi 40,6%, industri 44,2%, komersial 3,7%, rumah tangga 11,4% (Kementerian Riset dan Teknologi, 2014) [1]. Sumber energi gas diperkirakan bertahan 42 tahun lagi dan batubara memiliki cadangan sekitar 224 tahun (Kementerian Riset dan Teknologi, 2014) [1].

Steam reforming adalah proses pembentukan gas hidrogen melalui proses menguapkan minyak nabati dan air pada temperatur pemanasan tertentu dengan bantuan katalis, sehingga terjadi reaksi kimia yang menghasilkan gas hidrogen. Metode ini adalah pengembangan dari teknologi *fuel cell* dengan bahan dasar minyak nabati. Minyak nabati mempunyai kandungan hidrogen yang tinggi dari ikatan hidrokarbon yang ada di dalamnya, dan juga minyak nabati merupakan bahan dasar yang mudah untuk diperbaharui [2].

Atom Hidrogen merupakan atom yang sangat sederhana dimana memiliki satu elektron dan satu proton, serta memiliki beberapa lintasan sebagai tempat elektron mengelilingi inti atom. Spektrum atom hidrogen adalah susunan pancaran dari atom hidrogen saat elektronnya melompat atau bertransisi dari tingkat energi tinggi ke rendah. Susunan pancaran dari atom hidrogen dibagi menjadi beberapa rangkaian spektral. Garis-garis spektral yang diamati ini terbentuk karena elektron yang bertransisi antara dua tingkat energi yang berbeda di dalam atomnya. Spektrum pancar merupakan spektrum kontinu maupun spektrum garis dan radiasi yang dipancarkan oleh zat. Spektrum pancar zat dapat dihasilkan dengan cara memberi energi pada sampel

materi baik dengan energi termal maupun dengan bentuk energi lainnya. Spektrum pancar yang dilepaskan akan berwarna merah, biru muda, biru, ungu, atau tak kelihatan [14].

Salah satu energi alternatif yang banyak dikembangkan adalah produksi hidrogen, beberapa metode untuk menghasilkan gas hydrogen adalah hidrogen reforming, steam reforming, oksidasi parsial, elektrolisis dan fotoelektrolisis. Salah satu metode yang biasa digunakan untuk memproduksi hidrogen adalah metode hidrogen reforming [3]. Hidrogen reforming pada umumnya menggunakan bahan bakar metana, tetapi selain itu metode ini dapat menggunakan bahan baku minyak nabati seperti minyak jarak pagar (*jatropha*), minyak kelapa, minyak biji kapok, minyak kelapa sawit dan lain-lain.

Heryanto (2014) meneliti mengenai pengaruh jumlah katalis dan perbandingan campuran minyak randu dengan air terhadap laju produksi hidrogen serta karbondioksida, katalis yang digunakan adalah CuZn. Uap panas yang dihasilkan dari variasi campuran air dan minyak kapok dengan metode steam forming, kemudian dialirkan ke dalam tempat penampungan selama 15 menit. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis berguna untuk mempercepat laju reaksi, semakin banyak jumlah katalis maka laju produksi hidrogen dan karbondioksida semakin meningkat, dan ketepatan perbandingan campuran minyak randu dan air, akan mengoptimalkan laju produksi hidrogen dan karbondioksida [4].

Wibowo (2015) meneliti tentang pengaruh temperatur pemanasan dan konsentrasi minyak kelapa sawit dan air terhadap kecepatan produksi hidrogen. Dalam penelitian ini bertujuan mencari perbandingan variasi campuran yang dapat menghasilkan kapasitas produksi gas hidrogen yang paling besar dengan metode *steam reforming*. Penelitian ini menggunakan katalis CuZn dengan perbandingan volume variasi campuran minyak kelapa sawit dan air 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, dan 1:3 serta variasi temperatur 170⁰ C, 200⁰ C, 230⁰ C. Hasil penelitian menunjukkan perbandingan 3:1 menghasilkan kapasitas gas hidrogen paling besar, temperatur yang paling optimal dalam memproduksi gas hidrogen adalah pada temperatur 230⁰ C. Sedangkan efisiensi yang paling besar dalam perbandingan 1:2 [5].

Dhoyfur (2015) meneliti tentang pengaruh katalis dan perbandingan campuran minyak kelapa dan air terhadap produksi hidrogen menggunakan metode *steam reforming* dan katalis yang digunakan adalah LTS-302. Pada penelitian ini didapatkan perbandingan yang menghasilkan hidrogen tertinggi adalah perbandingan minyak kelapa dan air 3:1 serta penggunaan 6 (butir) katalis dan variasi yang memiliki nilai efisiensi tertinggi adalah pada penggunaan 6 (butir) katalis [6].

Mbulu, B.C.P (2016) meneliti tentang produksi hidrogen dari campuran air dan minyak kelapa murni melalui porous media tembaga menggunakan prinsip *hydrogen reformer* pada temperatur 310⁰ C. Pada penelitian ini didapatkan perbandingan yang menghasilkan produksi hidrogen tertinggi adalah perbandingan air dan minyak kelapa murni 1:5 serta penggunaan porositas tembaga 30% menunjukkan laju produksi hidrogen paling besar [7].

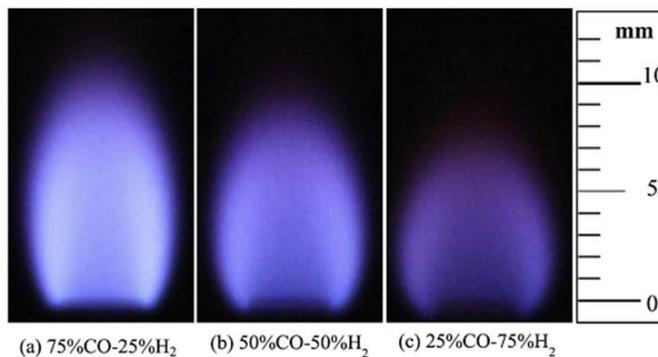
Purnami, Wardana, I.N.G., Veronika, K (2015) [8] menemukan bahwa semakin banyak tahapan katalis maka hasil produksi, laju produksi, dan efisiensi hidrogen semakin besar dengan menggunakan minyak biji kapok. Penelitian tentang karakteristik pembakaran difusi campuran biodiesel minyak jarak pagar (*jathropha curcas l*) - etanol/metanol pada mini glass tube dilakukan oleh [2] dan menemukan kestabilan api dengan bahan bakar biodiesel-metanol jauh lebih baik dibanding biodiesel-etanol. Thermal Characteristic of Flame As Quality Parameter of Biogas of Market Waste dilakukan oleh [9], penurunan CO₂ menyebabkan persentase penurunan warna biru, yang menyebabkan persentase peningkatan warna merah.

Dalam penelitian Xu, H, et al (2018) [10] juga melaporkan bahwa warna hasil pembakaran hidrogen dan karbonmonoksida dengan menggunakan oksidator beberapa variasi perbandingan 75%CO-25%H₂, 50%CO-50%H₂, dan 25%CO-75%H₂ menghasilkan warna biru pada setiap perbandingan. Penelitian lain tentang minyak jarak telah dilakukan oleh Nanlohy, H.Y, et al [11] tentang karakteristik pembakaran droplet minyak jarak dengan menggunakan katalis pembakaran homogen, hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis mampu memperpendek igniton delay time, dan menaikkan temperature laju pembakaran. Riwu, D.B.N, et al [12] melakukan penelitian kecepatan pembakaran premixed campuran minyak jarak – liquefied petroleum gas (LPG) pada circular tube burner, semakin besar prosentase LPG, maka nyala api cenderung semakin stabil pada nilai equivalence ratio yang semakin kecil. Soebiyakto, G, et al [13] melakukan penelitian pengaruh medan magnet terhadap warna api pembakaran premixed minyak kelapa, dan mendapatkan hasil bahwa warna nyala api (menjadi pudar) dan luasan (zona) warna nyala api semakin melebar bila dipengaruhi induksi medan magnet.

Steam reforming banyak digunakan untuk memproduksi hidrogen dengan bahan bakar minyak nabati, pada penelitian ini digunakan bahan bakar minyak nabati yang dicampur dengan air dengan menggunakan katalis Kalium Hidroksida (KOH) untuk mempermudah proses pencampuran antara kedua bahan tersebut yang kemudian dipanaskan menjadi uap yang menghasilkan hidrogen. Katalis yang digunakan pada penelitian ini

adalah katalis homogen, tujuannya adalah untuk mempermudah proses pencampuran antara minyak nabati dan air. Kalium Hidroksida merupakan basa kuat yang terbentuk dari ion K^+ dan OH^- yang apabila digunakan sebagai katalis dalam campuran minyak nabati dan air akan membentuk gliserol dan sabun, di dalam gliserol terdapat atom hidrogen yang berikatan dengan karbon yang mudah dipecah dengan cara dipanaskan atau dengan metode steam reforming. Kalium merupakan atom yang lebih besar jika dibandingkan dengan Natrium, sehingga jika dibandingkan dengan Natrium, Kalium lebih efektif dan mempunyai energi yang lebih besar daripada Natrium [8].

Dari beberapa penelitian di atas, belum diteliti mengenai pengaruh penggunaan katalis Kalium Hidroksida (KOH) terhadap produksi hidrogen campuran minyak nabati dan air dengan menggunakan proses *steam reforming*. Dalam penelitian ini minyak nabati dicampur dengan air dengan bantuan Kalium Hidroksida (KOH) sebagai katalis untuk mempercepat proses pencampuran minyak nabati dan air. Sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui produksi hidrogen minyak nabati yang dicampur dengan air dengan bantuan Kalium Hidroksida (KOH).



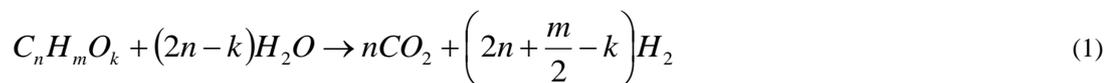
Gambar 1: Gambar api hasil pembakaran CO dan H₂ [10].

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan pengamatan secara langsung pada obyek yang akan diambil data empirisnya, kemudian dibandingkan sehingga menunjukkan suatu pola perbandingan tertentu yang dapat dikaitkan, dengan metode ini akan diteliti pengaruh penggunaan katalis kalium hidroksida (KOH) terhadap produksi hidrogen campuran minyak nabati dan air dengan metode *steam reforming*. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu perbandingan volume air dan minyak nabati (minyak jarak, minyak biji kapuk, dan minyak kelapa) dengan variasi perbandingan 1:1, 1:2, dan 1:3 dalam ukuran ml. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah kadar katalis Kalium Hidroksida yang digunakan 1 gr, 2 gr dan 3 gr. Temperatur pemanasan pipa tembaga adalah 350⁰ C. Sedangkan variabel terikatnya adalah produksi hidrogen yang diperkirakan dari warna api hasil pembakaran. Api biru menghasilkan kandungan hidrogen lebih tinggi daripada api kuning dan merah [7].

Reaksi Pencampuran

Perbandingan pencampuran minyak nabati dan air dapat didekati dengan teori pendekatan menggunakan kandungan terbesar dari asam lemak penyusun dari minyak nabati tersebut [7].



Reaksi Pencampuran Minyak Jarak

Perhitungan perbandingan pencampuran minyak jarak dan air menggunakan asam oleat (C₁₈H₃₄O₂) adalah:



Dari persamaan reaksi di atas maka dapat dihitung perbandingan mol minyak jarak dan air adalah 1 : 34. Perbandingan beratnya adalah 266 : 612 (Mr C₁₈H₃₄O₂ = 266 dan Mr H₂O = 18).

Reaksi Pencampuran Minyak Biji Kapuk

Perhitungan perbandingan pencampuran minyak biji kapok dan air menggunakan asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) adalah:



Dari persamaan reaksi di atas maka dapat dihitung perbandingan mol minyak biji kapok dan air adalah 1 : 34. Perbandingan beratnya adalah 266 : 612 (Mr $C_{18}H_{34}O_2$ = 266 dan Mr H_2O = 18).

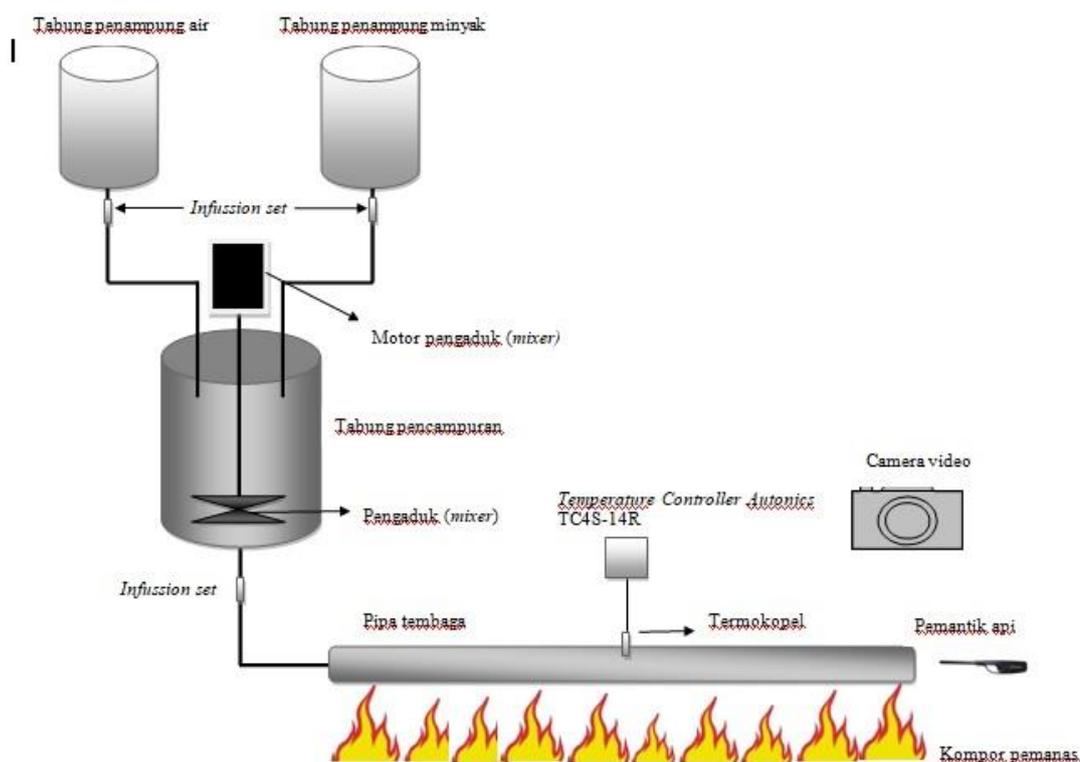
Reaksi Pencampuran Minyak Kelapa

Perhitungan perbandingan pencampuran minyak kelapa dan air menggunakan asam laurat ($C_{12}H_{24}O_2$) adalah:



Dari persamaan reaksi di atas maka dapat dihitung perbandingan mol minyak kelapa dan air adalah 1 : 22. Perbandingan beratnya adalah 184 : 396 (Mr $C_{12}H_{24}O_2$ = 184 dan Mr H_2O = 18).

Desain Alat Penelitian.



Gambar 2: Skema alat uji

3. HASIL DAN DISKUSI

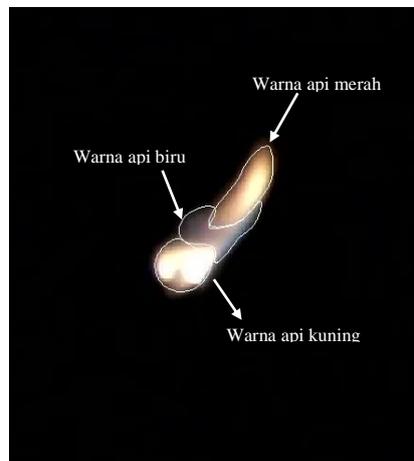
Setelah minyak nabati dan air tercampur kemudian dipanaskan sehingga menjadi uap dan melewati pipa tembaga pada suhu $350^{\circ}C$, oksigen yang terkandung dalam asam lemak minyak nabati akan menempel pada permukaan katalis karena beda potensial. Katalis mempunyai potensial lebih positif dari asam lemak ($C_nH_mO_k$) sehingga elektron dari asam lemak akan berpindah ke permukaan katalis, sehingga katalis akan kelebihan elektron sedangkan asam lemak kelebihan proton. Oleh karena permukaan katalis lebih negatif maka molekul uap air (H_2O) akan menempel pada permukaan katalis karena beda potensial, dalam proses ini terjadi pertukaran elektron dan proton antara molekul uap air (H_2O) dan katalis.

Molekul asam lemak ($C_nH_mO_k$) yang kelebihan proton dan molekul uap air (H_2O) yang kelebihan elektron akan saling tarik menarik dan saling bereaksi. Pada temperatur tinggi ikatan hidrogen akan mudah terlepas ketika terjadi reaksi tarik menarik antar molekul, sehingga hidrogen dari asam lemak akan berikatan dengan H_2 dari molekul uap air. Sedangkan oksigen dari molekul uap air dan asam lemak akan saling berikatan membentuk ikatan CO_2 . Hasil reaksi terbentuk CO_2 dan H_2 yang terlepas dari katalis.

Uap hasil steam reforming kemudian disulut dengan pemantik api, setelah uap terbakar dan menghasilkan api maka selanjutnya diambil gambarnya dengan menggunakan kamera video. Api hasil pembakaran kemudian diamati warna apinya yang terdiri atas warna api biru, warna api kuning, dan warna api merah. Warna api yang dihasilkan kemudian dibandingkan dari semua jenis minyak nabati, variasi pencampuran dan variasi penambahan katalis Kalium Hidroksida. Warna api biru menunjukkan produksi gas hidrogen yang lebih tinggi daripada warna api kuning dan merah [7].

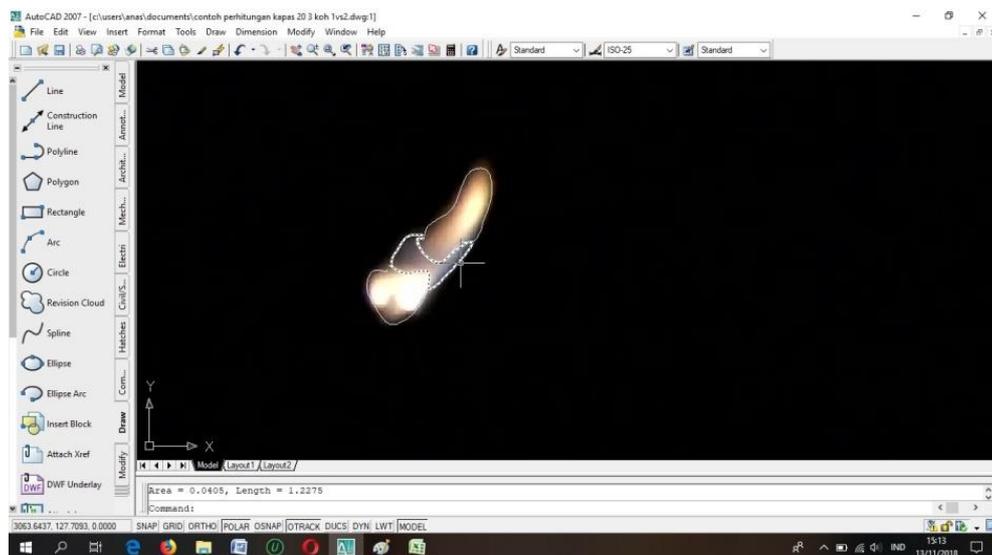
Perhitungan Luas Warna Api

Perhitungan luas warna api didapatkan dengan menggunakan aplikasi AutoCad kemudian dikonversikan ke dalam satuan (%), yaitu luas warna api biru, luas warna api kuning, dan luas warna api merah.



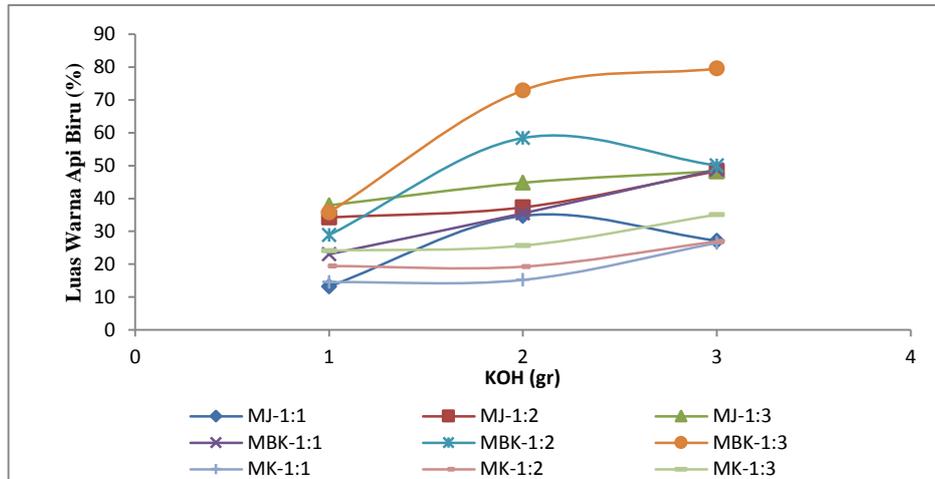
Gambar 3: Foto api hasil pencampuran air dan minyak kapas 1:2 dengan penambahan 2 gr KOH

Pilih area yang akan dihitung menggunakan spline, pada command prompt ketikkan area kemudian tekan enter. Kemudian pilih object yang akan dihitung luas areanya dalam hal ini luas warna api biru, kuning dan merah.



Gambar 4: Cara menghitung luas warna api menggunakan AutoCAD

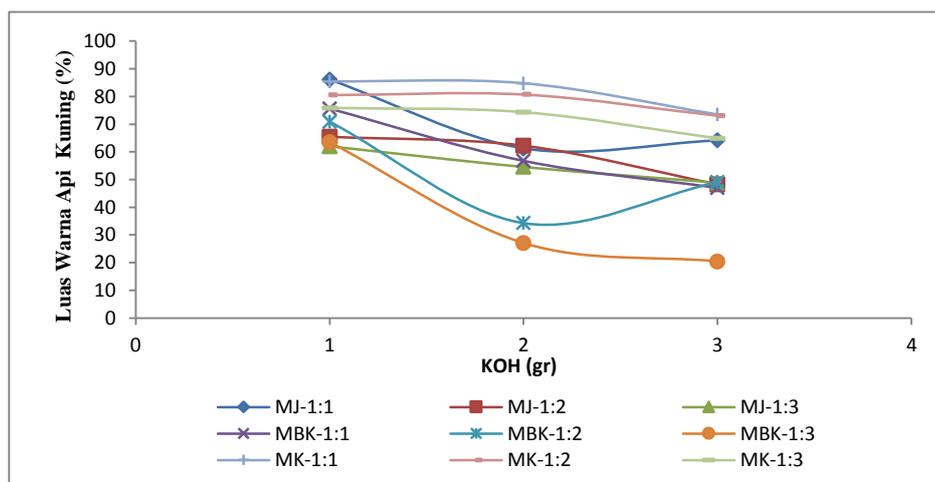
Hasil perhitungan luas dengan menggunakan AutoCad didapatkan dari foto di atas adalah warna api biru seluas 0,05 mm² (25,11%), warna api kuning seluas 0,06 mm² (32,24%), dan warna api merah seluas 0,08 mm² (42,66%).



Gambar 5: Hubungan Luas Warna Api Biru Terhadap Penambahan Katalis Kalium Hidroksida Pada Campuran Air dan Minyak Nabati

Dari Gambar 5 menunjukkan pola kemiripan pada berbagai variasi penambahan katalis Kalium Hidroksida dan penambahan reaktan minyak nabati yaitu semakin banyak katalis dan semakin besar penambahan minyak jarak maka rata-rata peningkatan gas hidrogen semakin meningkat, hal ini ditunjukkan dengan luas warna api biru cenderung semakin meningkat. Jika dilihat dari nilai prosentase masing-masing luas warna api biru pada setiap perbandingan, terlihat bahwa rata-rata luas warna api biru dari minyak biji kapuk lebih besar daripada rata-rata luas warna api biru dari minyak jarak dan minyak kelapa. Hal ini disebabkan karena densitas dari minyak biji kapuk lebih kecil dari minyak jarak dan minyak kelapa sehingga proses saling bertumbukan antar molekul semakin besar, sebelum melewati pipa pemanas.

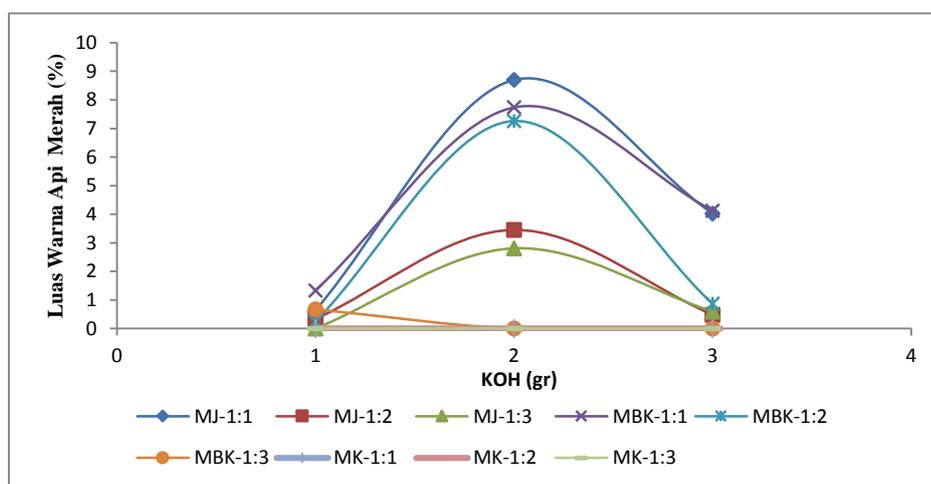
Pada saat reaktan dipanaskan dan menjadi uap atau gas di dalam pipa pemanas, ikatan hidrogen yang ada pada asam lemak minyak nabati akan mudah untuk terlepas akibat adanya tumbukan antar molekul yang sering terjadi. Selain itu juga dipengaruhi oleh asam lemak penyusun minyak biji kapuk yaitu asam oleat yang jika dilihat dari rumus kimianya mempunyai ikatan hidrogen yang banyak, sehingga udara atau gas yang keluar setelah dipanaskan akan terbentuk gas hidrogen yang besar pula.



Gambar 6: Hubungan Luas Warna Api Kuning Terhadap Penambahan Katalis Kalium Hidroksida Pada Campuran Air dan Minyak Nabati

Gambar 6 menunjukkan bahwa luas warna api kuning pada berbagai jenis minyak nabati yang digunakan dalam penelitian cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan reaktan minyak nabati dan penambahan katalis Kalium Hidroksida. Luas warna api kuning tertinggi dihasilkan oleh minyak kelapa dimana minyak kelapa mempunyai densitas yang besar jika dibandingkan dengan minyak biji kapuk dan minyak jarak, densitas menunjukkan kerapatan dari suatu zat, akibat densitas yang besar menyebabkan gerakan aliran reaktan semakin lambat karena kecilnya tegangan geser dari reaktan. Hal itulah yang menyebabkan memperkecil proses tumbukan yang terjadi antar molekul, sehingga ikatan hidrogen yang ada pada minyak sulit untuk terpecah menjadi hidrogen. Uap atau gas yang keluar dari pipa pemanas diindikasikan banyak mengandung gas karbondioksida yang merupakan unsur penyusun dari warna api menjadi kuning [10].

Gambar 6 juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah katalis yang ditambahkan maka luas warna api kuning juga semakin menurun, penambahan katalis dapat mempercepat reaksi kimia dan memberikan suatu mekanisme reaksi alternatif yaitu memperkecil energi aktivasi. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan untuk bereaksi pada saat molekul bertumbukan. Fungsi energi aktivasi adalah memutuskan ikatan-ikatan pada reaktan sehingga akan terbentuk ikatan baru pada hasil reaksi. Energi aktivasi yang semakin rendah akan menyebabkan lebih banyak partikel yang memiliki energi kinetik yang cukup untuk mengatasi rendahnya halangan energi aktivasi ini, sehingga mengakibatkan jumlah tumbukan efektif akan bertambah banyak, sehingga laju reaksi juga akan meningkat.



Gambar 7: Hubungan Luas Warna Api Merah Terhadap Penambahan Katalis Kalium Hidroksida Pada Campuran Air dan Minyak Nabati

Gambar 7 menggambarkan bahwa luas warna api merah mengalami penurunan pada semua jenis minyak nabati yang digunakan dalam penelitian seiring dengan penambahan reaktan minyak nabati dan katalis. Penambahan katalis sangat berpengaruh pada laju reaksi yang terjadi, katalis memberikan jalan pintas untuk adanya reaksi kimia yang lebih kecil dari energi aktivasinya. Warna api merah menggambarkan hasil pembakaran uap atau gas hasil proses reaksi dari *steam reforming* yang kurang sempurna, tumbukan antar molekul yang terjadi kurang efektif untuk membentuk hidrogen yang diharapkan. Hal ini dipengaruhi oleh laju reaksi yang sangat lambat dari reaktan, dengan adanya penambahan katalis maka tumbukan antar molekul akan semakin cepat sehingga laju reaksi dari reaktan yang direaksikan juga akan semakin besar. Jadi, semakin besar penambahan jumlah reaktan dan katalis secara efektif akan memecah ikatan hidrogen yang terdapat dalam minyak nabati yang pada penelitian ini diperkirakan dengan adanya warna biru yang merupakan gas hidrogen hasil reaksi antara minyak nabati dan air dengan bantuan katalis Kalium Hidroksida

4. KESIMPULAN

Dari penelitian pengaruh penambahan katalis kalium hidroksida terhadap produksi hidrogen dari campuran minyak nabati dan air dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari semua jenis minyak nabati yang digunakan dalam penelitian ini dan dari berbagai variasi penambahan katalis Kalium Hidroksida dapat mempengaruhi produksi hidrogen dengan ditandai adanya luas warna api biru yang semakin meningkat. Minyak biji kapuk merupakan minyak yang paling banyak mengandung gas hidrogen, hal ini disebabkan minyak biji kapok terdapat asam oleat yang mengandung unsur hidrogen lebih banyak dari minyak jarak dan kelapa.

2. Penambahan perbandingan yang lebih besar dari minyak nabati terhadap air akan mempengaruhi produktifitas hidrogen semakin meningkat. Dengan meningkatnya konsentrasi dari reaktan maka tumbukan antar molekul akan sering terjadi, tumbukan yang semakin sering terjadi memungkinkan produk hasil reaksi semakin meningkat yaitu produk hidrogen.
3. Penambahan katalis mempengaruhi reaksi karena katalis mempercepat laju reaksi sehingga tumbukan antar molekul minyak nabati dan air akan semakin sering terjadi yang menyebabkan gaya tarik menarik antar molekul yang mengakibatkan ikatan hidrogen dari minyak nabati dan air akan terlepas dan menghasilkan produk hidrogen.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] KEMENTERIAN RISET DAN TEKNOLOGI, 2014. Alternatif Pengganti BBM, dari Singkong Sampai Tebu. <http://www.cnn.indonesia.com>. Diakses tanggal 14 Maret 2018.
- [2] BANJARI, M. ARSAD AL., YULIATI, L., SONIEF, A. AS'AD. "Karakteristik Pembakaran Difusi Campuran Biodiesel Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcas L*) - Etanol/Metanol Pada Mini Glass Tube". *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 6, n. 1, pp. 51-59, 2015.
- [3] DJATI H, et al. "Analisis Pasokan Panas Pada Produksi Hidrogen Proses Steam Reforming Konvensional dan Nukli. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*". V. 17, n. 1, 2015.
- [4] HERYANTO, P. *Pengaruh Jumlah Katalis Dan Perbandingan Campuran Minyak Randu Dengan Air Terhadap Laju Produksi Hidrogen Serta Karbondioksida*, 2014.
- [5] WIBOWO, A. SETIARTO & WARDANA, I.N.G. "Pengaruh Temperatur Pemanasan Dan Konsentrasi Minyak Kelapa Sawit Dan Air Terhadap Kecepatan Produksi Hidrogen", 2015.
- [6] DHOYFUR, MOH. FHARHAN & WARDANA, I.N.G. *Pengaruh Katalis dan Perbandingan Campuran Minyak Kelapa Dan Air Terhadap Produksi Hidrogen*, 2015.
- [7] MBULU, B. C, PUTRA. *Produksi Hidrogen Dari Campuran Air Dan Minyak Kelapa Murni Melalui Porous Media Tembaga Menggunakan Prinsip Hydrogen Reformer*, 2016.
- [8] PURNAMI., WARDANA, I.N.G., VERONIKA K. "Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen", *Jurnal Rekayasa Mesin* . v. 6, n. 1, pp. 51 – 59, 2015.
- [9] ILMINNAFIK, NASRUL., S, D. LISTYADI., SUTJAHJONO, HARY. "Thermal Characteristic of Flame As Quality Parameter of Biogas of Market Waste". In : *International Journal of Applied Environmental Sciences*. v. 12, n. 7, pp. 1379-1385, 2017.
- [10] XU, H. et al. "Flame attachment and kinetics studies of laminar coflow CO/H₂ diffusion flames burning in O₂/H₂O", *Combustion and Flame* 196. pp. 147–159, 2018.
- [11] NANLOHY, HENDRY Y., WARDANA, I.N.G. et all. "Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Jarak Dengan Menggunakan Katalis Pembakaran Homogen". In : *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2017*. ITN Malang, 4 Pebruari 2017.
- [12] RIWU, DEFMIT B. N., WARDANA, I.N.G., YULIATI, L. "Kecepatan Pembakaran Premixed Campuran Minyak Jarak -Liquefied Petroleum Gas (Lpg) Pada Circular Tube Burner". *Jurnal Rekayasa Mesin*. v. 7, n. 2, pp. 41 – 47, 2016.
- [13] SOEBIYAKTO, GATOT., WARDANA, I.N.G. et all. "Pengaruh Medan Magnet Terhadap Warna Api Pembakaran Premix Minyak Kelapa". *Prosiding SENTIA 2016 – Politeknik Negeri Malang*.
- [14] KHOTIMAH dan NAILA H. SYIFA. *Teori Bohr Tentang Atom Hidrogen*, LSP FKIP UNS, 2014.
- [15] KINASIH, A & SISWANI, E. DWI. "Variasi Suhu dan Waktu Transesterifikasi Minyak Biji Kapuk Randu Pada Sintesis Biodiesel Dengan Katalis NaOH", 2016.