

KETIDAKSTABILAN NYALA API BAHAN BAKAR MINYAK KAPUK DAN KARAKTERISTIKNYA

Bayu Pranoto, Hangga Wicaksono, Muhammad Fakhruddin

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Email: bayupranoto@polinema.ac.id

A. Pendahuluan

Potensi yang besar terdapat pada minyak nabati (minyak yang berasal dari tumbuhan) seperti misalnya minyak yang dihasilkan dari biji kapuk yang tumbuh subur di negara dengan iklim tropis seperti di Indonesia. Pemanfaatan minyak biji kapuk bisa berupa biodiesel, kosmetik, dan sebagainya (Handoyo, 2007). biofuel (minyak nabati) yang terbuat dari minyak biji kapuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar ekonomis dalam proses pembakaran yang mana diantaranya adalah pembakaran premixed. Pembakaran premixed sering digunakan untuk pembakaran pada bunsen burner, mesin otto, dan lain-lain. Pembakaran premixed terjadi dimana udara (oksigen+nitrogen) dan bahan bakar bercampur dahulu sebelum dibakar. Nilai temperatur uap yang berasal dari minyak biji kapuk punya peranan tersendiri terhadap proses pembakaran premixed yang terjadi di ruang bakar. Semakin tinggi nilai temperatur uapnya maka campuran bahan bakar dan udara menjadi semakin mudah terbakar. Hal ini karena atom-atom menjadi semakin mudah bertumbukan. Pada rentang temperatur yang tertentu terdapat fenomena terjadinya pemanasan sebanyak dua, dimana asam lemak menguap terlebih dahulu dan terbakar, kemudian diikuti oleh penguapan gliserol dan lalu terbakar. Adanya perbedaan titik uap itulah yang memicu ketidakstabilan nyala api akibat kecepatan pembakarannya yang berbeda. Beberapa contoh keadaan yang dipicu karena api tidak stabil adalah fenomena terjadinya lift-off dan blow-off (Kurniawan, 2006). Jika cepat rambat api lebih dari kecepatan gas reaktan, maka api bergerak menjauhi nozzle-tip. Fenomena ini disebut lift-off dan jika kecepatan reaktan terus meningkat dapat menyebabkan terjadinya blow-off (api padam). Fenomena tersebut yang menjadi penyebab mesin (engine) berbahan bakar biodiesel sering macet (susah/tidak mau menyala)

dan performanya turun signifikan daripada jika menggunakan bahan bakar solar. Potensi besar terdapat pada minyak nabati, contohnya minyak biji kapuk, di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Penggunaan minyak biji kapuk dapat berupa biodiesel atau bahan bakar minyak biji kapuk murni (Handoyo, 2007). Biofuel dari minyak biji kapuk dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar yang ekonomis dalam proses pembakaran, salah satunya adalah pembakaran premixed. Proses pembakaran premixed umumnya digunakan pada pembakaran bunsen burner, mesin otto, dan sejenisnya. Pada pembakaran premixed, udara dan bahan bakar dicampur terlebih dahulu sebelum dibakar. Temperatur uap minyak biji kapuk memainkan peran penting dalam proses pembakaran premixed di ruang bakar. Semakin tinggi temperatur uapnya, campuran bahan bakar dan udara semakin mudah terbakar karena atom-atomnya lebih mudah bertumbukan. Pada suhu tertentu, terjadi dua kali proses pemanasan; asam lemak menguap dan terbakar terlebih dahulu, diikuti oleh penguapan gliserol yang kemudian juga terbakar. Perbedaan titik uap ini menyebabkan ketidakstabilan nyala api karena kecepatan pembakarannya yang berbeda. Fenomena seperti lift-off dan blow-off (Kurniawan, 2006) muncul akibat ketidakstabilan nyala api tersebut. Jika cepat rambat api lebih kecil daripada kecepatan gas reaktan, api akan menjauhi nozzle-tip, yang disebut sebagai lift-off, dan jika kecepatan reaktan terus meningkat, bisa menyebabkan blow-off (api padam). Fenomena ini sering menyebabkan mesin berbahan bakar biodiesel mengalami masalah seperti sering macet (susah/tidak mau menyala) dan penurunan performa yang signifikan dibandingkan menggunakan bahan bakar solar.

B. Teori-teori/konsep-konsep

Minyak biji kapuk (*ceiba Pentandra*)

Biji kapuk memiliki potensi untuk dijadikan minyak goreng nonkolesterol dan juga sebagai bahan baku pembuatan sabun, serta dapat digunakan sebagai bahan bakar pada lampu pelita. Selain itu, bungkil kapuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuat pupuk dan campuran pakan ternak lainnya (Widiyanto, 2010). dalam pengamatan inderanya, minyak biji kapuk memiliki

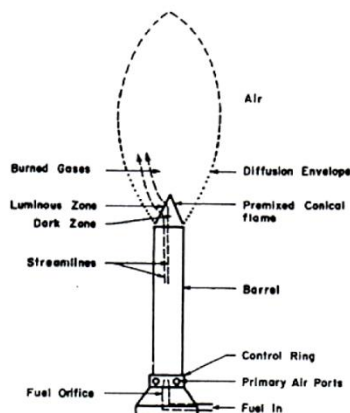
warna kuning, tidak berbau, dan rasanya tawar. Kandungan asam lemaknya serupa dengan minyak biji kapas, tetapi memiliki persentase asam linoleat lebih tinggi, yaitu sekitar 22-25% (Jamieson, 1920). Kadar asam yang cukup tinggi pada minyak biji kapuk membuatnya cocok sebagai bahan pengawet alami tanpa efek samping berbahaya bagi kesehatan. Minyak biji kapuk memiliki beragam aplikasi, seperti dalam kosmetik, minyak goreng, margarin, oil additive lubricant, biofuel, biodiesel, dan lain sebagainya. Pada umumnya, setiap gelondong buah kapuk mengandung sekitar 26% biji, sehingga setiap 100 kg gelondong kapuk akan menghasilkan 26 kg limbah biji yang memiliki harga jual Rp 500 per kilogram. Biji kapuk mengandung sekitar 18-25% minyak, dengan kerapatan 0,917 kg/l, bilangan iodine 88, dan bilangan fiksasi 181 (ISO Austria, 2012). Minyak biji kapuk memiliki kandungan asam lemak tidak jenuh sekitar 71,95%, nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan minyak kelapa. Hal ini menyebabkan minyak biji kapuk cenderung menjadi tengik, sehingga kurang cocok sebagai minyak makanan untuk dikonsumsi manusia. Meskipun demikian, minyak biji kapuk memiliki potensi besar untuk menjadi pengganti minyak diesel. Minyak biji kapuk memiliki beberapa keunggulan sebagai minyak nabati, di antaranya adalah sifatnya yang terbarukan karena berasal dari alam, memiliki karakter fisika-kimia yang sesuai untuk bahan bakar, dan yang paling penting, minyak biji kapuk bukan termasuk minyak pangan.

Bunsen Burner

Bunsen Burner merupakan alat pembakar atau tungku api berukuran kecil yang menghasilkan nyala api *premixed*. Penemuan alat ini dilakukan oleh Robert William Bunsen (1811-1899) pada tahun 1855. Prinsip kerjanya adalah dengan mengatur jumlah aliran campuran udara dan bahan bakar secara kontinyu dalam fase gas. Bahan bakar gas masuk ke burner melalui *inlet* di dasar burner, dan di ujung pipa luaran (*outlet*) terdapat *nozzle* untuk mencampurkan gas bahan bakar dengan udara yang masuk melalui *control ring* secara radial. campuran udara dan bahan bakar mengalir keluar dari ujung tabung pembakar secara kontinyu. Ketika campuran udara dan bahan bakar diberi energi panas yang cukup, maka

terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan pelepasan panas dan nyala api.

Asalkan laju perubahan reaksi dan laju aliran udara dan bahan bakar tetap konstan, nyala api premixed akan tetap stabil. di daerah *luminous* terjadi reaksi dan pelepasan panas (eksoterm) sebagai entalpi gas yang terbakar. di bawahnya, terdapat daerah gelap (*dark zone*) tempat molekul gas yang belum terbakar berubah alirannya dari arah sejajar sumbu tabung pembakar ke arah luar tegak lurus permukaan batas daerah gelap. Gas yang belum terbakar mendapatkan energi panas di daerah pemanasan awal (*preheating zone: η_0*) sampai mencapai temperatur nyala (*ignition temperature: T_i*), dan kemudian bereaksi dengan cepat di daerah reaksi (*reaction zone: η_R*) dengan pelepasan panas yang lebih besar hingga mencapai temperatur nyala api (*flame temperature: T_f*). Warna daerah *luminous* biasanya bervariasi sesuai dengan rasio udara dan bahan bakar. Jika rasio campuran kurus (*lean mixture*), permukaan kerucut nyala api *luminous* berwarna ungu, menandakan banyaknya CH radikal yang dihasilkan. Jika rasio campuran kaya bahan bakar (*rich mixture*), permukaan kerucut nyala api *luminous* berwarna hijau kebiruan, menandakan tingginya konsentrasi molekul C_2 . Silakan lihat Gambar 2.1 untuk lebih jelasnya.



Gambar 2.1 Skema *Bunsen Burner* (Firmansyah, 2008)

Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi dengan cepat antara pengoksidasi (udara atau oksigen) dan bahan yang dapat terbakar,

menghasilkan cahaya dan panas. untuk terjadi pembakaran, syarat yang diperlukan adalah adanya bahan bakar, pengoksidasi (udara atau oksigen), dan energi aktivasi. Energi aktivasi merujuk pada energi yang diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia dalam bahan bakar disebut energi disosiasi (kJ/mol). Pembakaran spontan terjadi ketika campuran bahan bakar dan udara mengalami oksidasi secara perlahan-lahan sehingga panas yang dihasilkan tidak dilepaskan secara instan. Sebaliknya, panas tersebut digunakan untuk perlahan-lahan meningkatkan temperatur bahan bakar hingga mencapai titik nyala. Pembakaran sempurna terjadi ketika semua bahan yang dapat terbakar dalam bahan bakar menghasilkan gas CO_2 , air (H_2O), dan gas SO_2 , sehingga tidak ada sisa bahan bakar yang tersisa. Energi aktivasi untuk pembakaran dapat berasal dari percikan busi (*spark*) atau dari panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran berkelanjutan. dalam proses pembakaran berkelanjutan, energi biasanya diambil dari panas hasil pembakaran melalui radiasi dan konveksi (sirkulasi balik), seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.

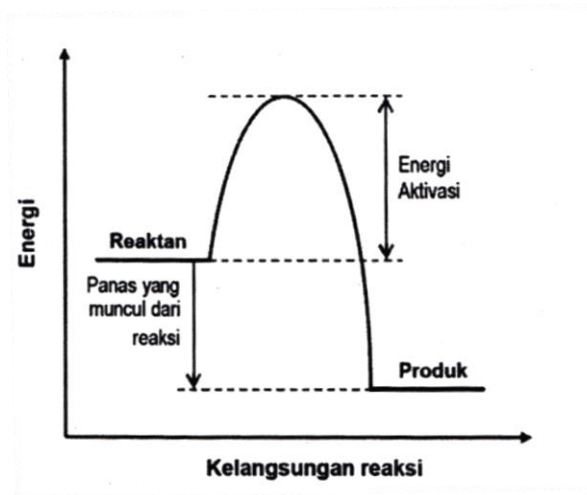


Gambar 2.2 Ilustrasi Proses Pembakaran (Wardana, 2008)

Energi Aktivasi

Energi aktivasi didefinisikan sebagai jumlah energi minimum yang diperlukan agar suatu reaksi dapat terjadi (Wardana, 2008:104). Jika tumbukan antara molekul-molekul terjadi dengan energi yang lebih rendah daripada energi aktivasi, maka reaksi tidak akan terjadi. Molekul-molekul yang bergerak tersebut akan kembali ke keadaan semula. Sebaliknya, reaksi dapat berlangsung jika tumbukan antara molekul-molekul memiliki energi yang sama atau lebih besar dari energi aktivasi, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.3.

Apabila tumbukan antara molekul kurang energik dan energi aktivasi rendah, maka reaksi akan sulit terjadi.



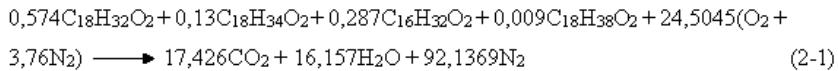
Gambar 2.3 Peran Energi Aktivasi dalam Proses Reaksi (Wardana, 2008)

Kecepatan Pembakaran

Kecepatan pembakaran merupakan fenomena di mana gelombang pembakaran (nyala api) bergerak menuju reaktan. Peristiwa ini terjadi karena adanya perbedaan suhu antara produk pembakaran yang memiliki suhu tinggi dan reaktan yang memiliki suhu rendah, sehingga terjadi transfer panas dari produk pembakaran ke reaktan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran, yaitu turbulensi aliran bahan bakar dan udara, luasnya area kontak antara bahan bakar dan udara, temperatur pembakaran, dan penggunaan katalis yang berfungsi untuk mempercepat reaksi pembakaran.

Pembakaran Stoikiometri

Pembakaran stoikiometri adalah proses pembakaran di mana semua atom dari pengoksidasi (biasanya oksigen) beraksi secara kimia dengan bahan bakar untuk menghasilkan produk. Pengoksidasi yang paling umum adalah campuran 21% udara dan 79% nitrogen (dalam fraksi mol atau volume). Persamaan reaksi pembakaran stoikiometri antara minyak biji kapuk dan udara ditunjukkan dalam persamaan (2-1) berikut:



Rasio udara dan bahan bakar (*Air-fuel Ratio/AFR*)

Parameter penting lain dalam pembakaran adalah rasio udara-bahan bakar, yang juga dikenal sebagai *Air-Fuel Ratio (AFR)*. Rasio udara-bahan bakar dihitung menggunakan persamaan (2-2) di mana n adalah jumlah mol, dan mr adalah berat molekul. Berdasarkan perhitungan *AFR* pada persamaan (2-2), diperoleh bahwa *AFR* stoikiometri untuk minyak biji kapuk adalah 12,303:1.

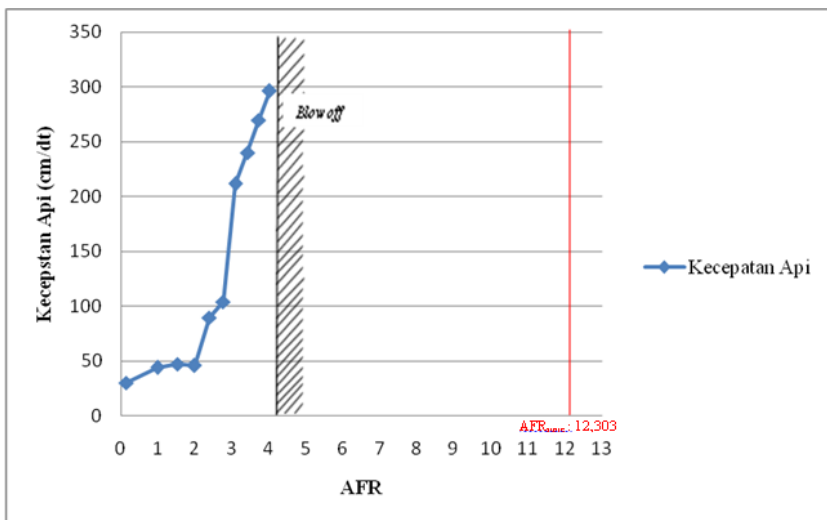
$$(\text{AFR})_{\text{stoc}} = \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoc}} \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned} \text{AFR} &= \frac{n_1(mr(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2))}{n_1(mr(\text{C}_{18} + \text{H}_{32} + \text{O}_2)) + n_2(mr(\text{C}_{18} + \text{H}_{34} + \text{O}_2)) + n_3(mr(\text{C}_{16} + \text{H}_{32} + \text{O}_2)) + n_4(mr(\text{C}_{18} + \text{H}_{38} + \text{O}_2))} \\ \text{AFR} &= \frac{24,5045 \cdot (32 + (3,76 \cdot 28))}{0,574 \cdot ((12 \cdot 18) + 32 + 32) + 0,13 \cdot ((12 \cdot 18) + 34 + 32) + 0,287 \cdot ((12 \cdot 16) + 32 + 32) + 0,009 \cdot ((12 \cdot 18) + 38 + 32)} \\ \text{AFR} &= \left(\frac{3862,97776}{273,426} \right) = 12,303 \text{ (kg udara/kg bahan bakar)} \end{aligned}$$

C. Pendekatan/Aplikasi

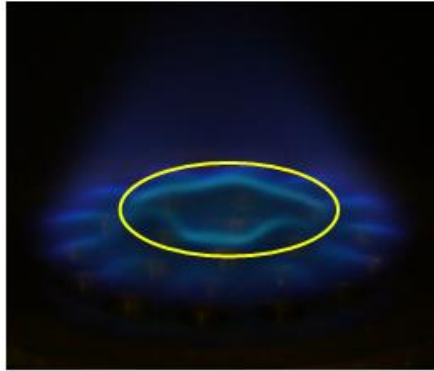
Karakteristik nyala api dari burner yang menggunakan minyak biji kapuk telah diuji dan ditemukan adanya fenomena ketidakstabilan nyala api yang disebut *blow-off*. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan campuran udara dan bahan bakar untuk mendekati kondisi sebenarnya di dalam ruang bakar kendaraan bermotor. Berdasarkan Gambar 3.1, terlihat bahwa kecepatan api cenderung meningkat seiring dengan peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*AFR*) dengan nilai *AFR* 0,143:1; 0,978:1; 1,526:1; 1,980:1; 2,382:1; 2,750:1; 3,091:1; 3,413:1; 3,719:1; 4,011:1; 4,292:1. Peningkatan kecepatan api ini dipengaruhi oleh fraksi massa yang semakin besar, sehingga mengakibatkan kecepatan gas reaktan semakin tinggi. Selain itu, pembentukan kerucut api yang semakin besar juga menyebabkan kecepatan api meningkat seiring dengan peningkatan *AFR*. Namun, pada *AFR* 1,980:1, kecepatan api mengalami penurunan dari *AFR* 1,526:1 karena nilai dari $\sin\theta$ yang menurun. Pada *AFR* 4,292:1, nyala api berada dalam kondisi *lift-off*, sehingga dengan metode pengukuran kecepatan yang sama pada *AFR* sebelumnya tidak dapat

menentukan nilai kecepatannya dengan pasti. diduga bahwa pada AFR 4,292:1, kecepatan api lebih tinggi daripada kecepatan api pada AFR sebelumnya. Fenomena terangkatnya nyala api tersebut disebabkan oleh nilai difusivitas massa yang lebih besar daripada nilai difusivitas panas. Berdasarkan karakteristik nyala api dari minyak biji kapuk, penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pemberian zat aditif yang dapat menyeragamkan ikatan rantai karbon dalam minyak biji kapuk. Hal ini diharapkan dapat menghasilkan nyala api yang stabil dan membuatnya lebih cocok sebagai biodiesel untuk meningkatkan kinerja mesin.



Gambar 3.1 Perubahan Kecepatan Api *Burner* Bahan Bakar Minyak biji kapuk

dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa nyala api padam sebelum mencapai rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometri. Hal ini dapat terjadi karena efek pendinginan dari udara, dimana udara menyerap kalor dari reaksi pembakaran, mengakibatkan zona pemanasan awal mengalami penurunan suhu. Akibatnya, molekul campuran udara dan bahan bakar tidak memiliki cukup energi untuk menjalankan reaksi pembakaran, yang menyebabkan terjadinya fenomena api lift-off, dan akhirnya nyala api padam.



Gambar 3.2 *Flames cells*

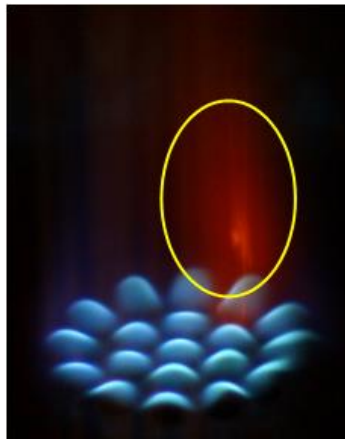
Gambar 3.2 menunjukkan nyala api dengan bentuk cells yang dilingkari. Fenomena ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan pembakaran dari komponen asam lemak dalam bahan bakar minyak biji kapuk. Bagian nyala api yang berwarna biru terang menunjukkan beberapa komponen asam lemak yang telah terbakar, sedangkan bagian yang berwarna gelap menandakan bahwa beberapa komponen asam lemak masih belum terbakar. daerah dengan warna biru gelap di sekitar warna biru terang menunjukkan bahwa pasokan udara untuk pembakaran *premixed* kurang memadai. Oleh karena itu, dalam kondisi ini, pembakaran bahan bakar lebih didominasi oleh proses difusi.



Gambar 3.3 *Separated Flames*

Gambar 3.3 menampilkan nyala api dalam kondisi terangkat dari nozzle-tip, yang disebabkan oleh perbedaan difusivitas massa

reaktan yang lebih tinggi daripada difusivitas panas. Pada Gambar 3.3, terlihat bentuk api yang tampak berlapis-lapis, disebut sebagai api separasi (*separated flames*). Api separasi ini terlihat dalam visualisasi garis api berwarna biru terang di bagian atas (nomor 1) dan api yang sedikit gelap di sisi bawahnya (nomor 2). Struktur api separasi ini muncul akibat ketidakseragaman homogenitas campuran yang menyebabkan terbentuknya daerah nyala api yang berbeda. Minyak biji kapuk sebagai bahan bakar terdiri dari beberapa macam asam lemak dengan ikatan atom karbon yang panjang dan berbeda satu sama lain. Kondisi ini mempengaruhi kemampuan reaksi yang berbeda-beda, sehingga ikatan molekul dengan kemampuan reaksi serupa akan cenderung membentuk homogenitas sendiri. Inilah yang menyebabkan terbentuknya struktur api separasi (*separated flames*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Red Flames

Api biru yang berselimut dengan api berwarna merah, seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, terjadi akibat keberadaan jelaga. Jelaga merupakan substansi yang belum terbakar sepenuhnya di dalam zona reaksi dan terus terbakar saat melewati zona tersebut. Warna merah pada api terbentuk pada rasio udara-bahan bakar (*AFR*) tertentu, yang menunjukkan bahwa ada suatu substansi atau molekul yang hanya terbakar pada *AFR* spesifik tersebut.

D. Kesimpulan

Pemanfaatan bahan bakar minyak biji kapuk punya peluang besar untuk menjadi alternatif bahan bakar minyak bumi. Namun masih perlu dilakukan banyak upaya dalam mengontrol tingkat kestabilan nyala api pembakaran yang dihasilkannya. Penambahan zat aditif yang dapat meningkatkan homogenitas campuran berbagai asam lemak pada minyak biji kapuk bisa menjadi solusi yang perlu dikaji lebih dalam dan dilakukan pengujian.

E. Referensi

- Austria, ISO. Top-Notch Technology in Production of Oil and Fats. <http://www.chempro.in/fattyacid.htm>. (diakses 18 September 2012).
- Berry, Shiv K. The characteristics of the Kapok (ceiba Pentadra, Gaertn.) Seed Oil. *Pertanika* 2(1), 1-4 (1979). http://psasir.upm.edu.my/2035/1/The_characteristics_of_the_Kapok_%28ceiba_pentadra,.pdf. (diakses 18 September 2012).
- Firmansyah, Rachmat Harris. 2008. *Penelitian Kestabilan dan Panjang Nyala Api Premix Akibat Variasi diameter dalam Ring Menggunakan Gas Propana Pada Bunsen Burner*. universitas Indonesia, Jakarta.
- Handoyo, R., Anggraini, Ananta A., Anwar, Saiful. 2007. Biodiesel dari Minyak Biji Kapok (Biodiesel from Kapok Seed Oil). *Jurnal Injiniring Pertanian*. 1 (V):1-8.
- Jamieson, J. S. and Baughman, W. F. 1920. *Journal America chemistry Society*.42.
- Kurniawan, Arief. 2006. Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Bahan Bakar dan udara Terhadap Ketidakstabilan Api difusi (Lift-off) Pada Burner concentric Anulus Tube; Brawijaya university, Malang.
- Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. danar Wijaya Brawijaya university Press, Malang.
- Wardana, ING. 2009. combustion characteristics of Jatropa Oil droplet at Various Oil Temperatures. *Sciencedirect Journal*. 659-664.

Widiyanto., Soejono, M., Bachruddin, Z., Hartadi, H. & Surahmanto. 2010. The Influence of Kapok (ceiba Pentandra) Seed Oil Supplementation on cellulolytic Enzyme and Rumen Microbial Fermentation Activity of Local Sheep. [http://www.google.co.id /pdf/35\(2\)2010p129-133.pdf](http://www.google.co.id/pdf/35(2)2010p129-133.pdf). (diakses 18 September 2012).



Bayu Pranoto, S.T., M.T., menyelesaikan program Magister Teknik dan mendapatkan gelar Magister Teknik dari Teknik Mesin, universitas Brawijaya, pada tahun 2016. Mengajar di Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, mulai tahun 2017. Minat pada bidang penelitian konversi energi, desain manufaktur, sistem kontrol dan pneumatik hidrolis.



Hangga Wicaksono, S.T., M.T., menyelesaikan program Magister Teknik dan mendapatkan gelar Magister Teknik dari Teknik Mesin, universitas Brawijaya, pada tahun 2017. Mengajar di Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, mulai tahun 2017. Minat pada bidang penelitian konversi energi, desain manufaktur, PLC dan Mekatronika.



Muhammad Fakhruddin, S.T., M.T., menyelesaikan program Magister Teknik dan mendapatkan gelar Magister Teknik dari Teknik Mesin, universitas Brawijaya, pada tahun 2017. Mengajar di Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, mulai tahun 2017. Minat pada bidang penelitian desain mekanikal, cNc/cAd/cAM.