

REKAYASA REAKTOR TURBIN UNTUK PEMBUATAN BIOFUEL DARI BIOMASSA

*(Reactor Engineering Turbines to Review
Making Biofuels From Biomass)*

Muhammad Fuad

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

mfuad@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 21 Maret 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 10 Agustus 2016;
Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2016.

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan upaya rekayasa prototip reaktor dengan pemutar turbin yang digunakan sebagai alat proses konversi biomassa menjadi biofuel secara katalitik pada tekanan vakum. Prototip alat terdiri dari : tabung reaktor baja *stainless steel type no.304*, dimensi ukuran : tinggi 60cm dan diameter 25cm. Turbin pemutar dengan kekuatan motor 5.5 HP, alat kondensor *Chiller* : dengan kemampuan pendingin sampai -40°C , *water Bath*, pompa vakum : kapasitas *normal flow rate* $5\text{m}^3/\text{jam}$, *Ultimate pressure* 2.3×10^{-2} Torr (3×10^{-3} mBar), *surge drum* : stabilizer sistem vakum . *Selenoid* : pengatur *set point system* vakum, serta Panel : terdiri dari tombol pengatur suhu pemanas, tekanan dan pemutar turbin secara elektronik. Hasil uji coba kinerja prototip alat menunjukkan : prototip alat mampu beroperasi pada kondisi yang dibutuhkan yakni tekanan vakum antara 0,5-0,8 atm dan putaran turbin reaktor < 2000 RPM, suhu sampai $>330^{\circ}\text{C}$ dengan kondisi alat yang stabil. Contoh uji yang digunakan adalah contoh biomassa sekam padi, minyak jelantah (*Carrier Oil*), katalis zeolit ukuran 1-2 mm, *netralizer* padat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Kata Kunci: membran serat berongga, formamida, ketahanan tekan, selektivitas.

ABSTRACT

The objective of research is to engineer turbine reactor prototype for converting of biomass into biofuel by Catalytic Pressureless Depolymerization technic. The Turbin reactor consists of a main device, such as reactor stainless steel reaktor, by high of 60 cm and diameter of 25 cm, turbine rotor power of 5.5 HP, Chiller with the ability of cooling to -40°C , water bath, vacuum pump with normal flow rate capacity of $5\text{ m}^3/\text{h}$, ultimate pressure of 2.3×10^{-2} torr (3×10^{-3} mBar), surge drum: vacuum system stabilizer . Selenoid for keeping the set point pressure and panel display consist of the heating temperature control, pressure and turbine rotor spin. Performance tests of turbine reaktor for operating conditions up to 2000 rpm, temperature up to 330°C under vacuum pressure of 0.5-0.8 atm. using a sample of rice husks, used cooking oil as carrier oil, Natural zeolite as catalyst, netralizer of ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). This Indication is shown from stability and smooth propeller spin and no leak detection of vacuum pressure system.

Keywords: turbine reaktor, biomass, biofuel, catalytic, depolymerization.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, kebutuhan energi yang semakin meningkat serta jumlah import minyak yang semakin tinggi, menuntut para peneliti untuk menemukan sumber bahan baku energi alternatif yang potensial dan ramah lingkungan. Salah satu sumber bahan baku potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku energi adalah Biomassa. Indonesia dikenal sebagai surganya sumber bahan baku biomassa. Namun sampai saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Data produksi tahun 2010 produksi dan area pertanian di Indonesia seperti tabel dibawah ini,

Sampai saat ini program bionergi masih terfokus pada biodiesel dan bioetanol. Kelemahan program biodiesel dan bioetanol adalah masih menggunakan bahan baku yang potensial dijadikan untuk industri makanan. Dalam istilah konservasi energi, pembuatan biodiesel dan etanol ini disebut bahan baku bioenergi generasi pertama. Karena masih mengandalkan bahan baku yang bermanfaat sebagai bahan baku makanan. Selain itu, produk bioetanol maupun biodiesel mesti di campur dengan BBM dari fosil untuk mendapatkan spesifikasi BBM yang ditetapkan. Artinya tidak bisa dipakai secara murni atau langsung pada mesin kendaraan.

Saat ini sedang dikembangkan pembuatan bioenergi generasi ketiga yakni pemanfaatan limbah pertanian dan hutan ataupun biomasa sebagai sumber bahan baku energi masa depan. Salah satu metoda yang diakui sebagai teknik pengolahan biomassa yang layak dikembangkan di masa depan adalah teknik CPD (Catalytic Pressureless Depolymerization) Atau proses penguraian senyawa organik atau hidrokarbon panjang menjadi fraksi lebih kecil pada suhu rendah dan tekanan rendah, menggunakan katalis zeolite atau aluminium silika. Reaktor utama yang digunakan pada proses ini adalah reaktor turbin yang berputar dengan kecepatan

tinggi (300-1500 rpm), yang berperan membantu proses konveksi dan difusi katalis dan bahan baku biomassa di dalam reaktor.

II. BAHAN DAN METODE

Maksud dan tujuan penelitian adalah upaya rekayasa prototip alat reaktor turbin yang digunakan untuk teknik konversi biomassa menjadi *biofuel* pada suhu dan tekanan rendah (vakum) atau dikenal sebagai teknik CPD (*Catalytic Pressureless Depolymerization*). Kunci utama teknik ini terletak pada konsep putaran tinggi turbin yang akan membantu proses konveksi panas dan difusi katalis dalam reaktor. Prototip alat didesain untuk dapat bekerja pada kondisi operasi tekanan vakum 0.5-0.8 atm, suhu 280 - 330 °C dan memutar turbin sampai <2000 rpm dengan contoh biomassa padat, katalis padat, dan carrier oil –minyak jelantah.

A. Identifikasi Masalah

Teknik CPD yang menggunakan reaktor turbin dianggap mampu memperbaiki segala kekurangan yang ada pada teknik pirolisis dan gasifikasi yang menggunakan suhu dan tekanan tinggi.

Tantangan yang dihadapi pada rekayasa alat reaktor turbin adalah bagaimana mendesain dan membuat prototip alat yang mampu beroperasi sesuai kondisi operasi yang diharapkan yakni : putaran turbin sampai 2000 rpm dan system peralatan tekanan vakum yang stabil dengan sampel padatan biomassa, katalis padat, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ padat dan *Carrier Oil*, minyak jelantah dan suhu antara 280-330°C.

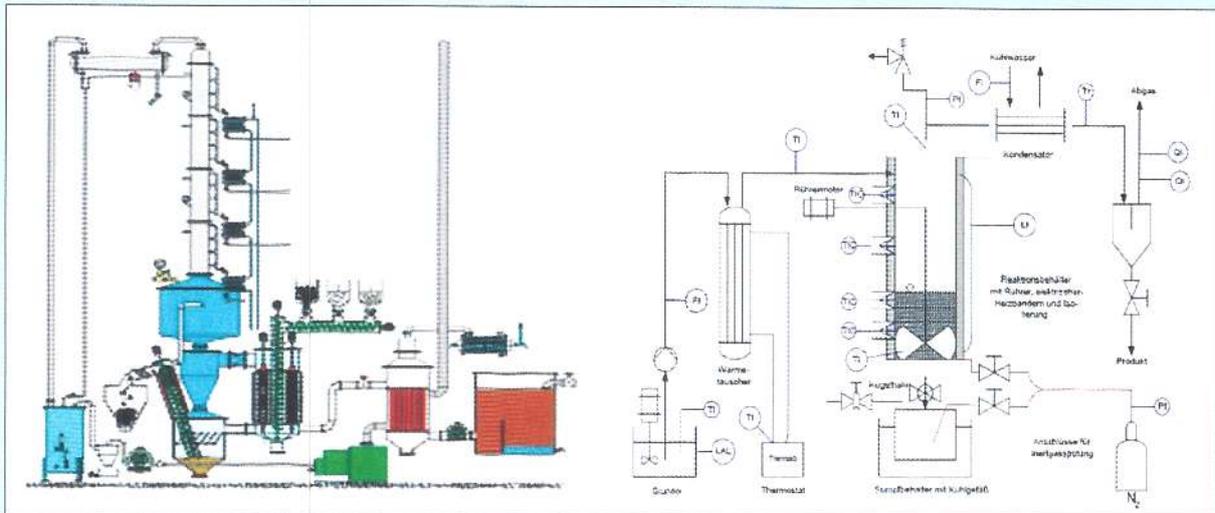
Biaya pengujian konversi biomassa menggunakan alat reaktor turbin relative mahal, yakni mencapai 10 ribu Euro per hari operasi alat.

B. Gambar Desain teknik CPD

Secara umum desain teknik CPD yang digunakan untuk konversi biomassa menjadi

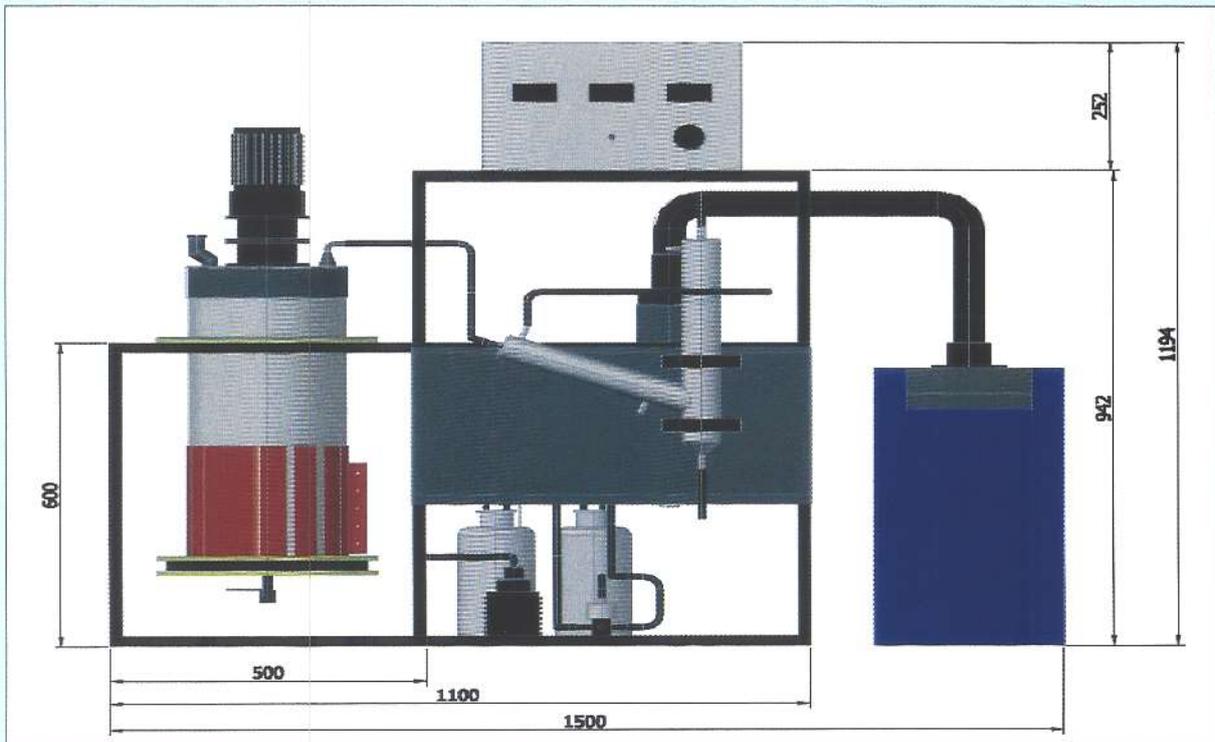
Tabel 1
Data Produksi tanaman di Indonesia 2010.

Tanaman	Produksi, juta Ton/tahun	Luas, juta ha
Padi	66,469	13,25
Singkong	23,464	1,203
Jagung	18,238	4,132
Kentang	2,051	0,181



Gambar 1
Skema Desain Teknik CPD Dr. Christian Koch , Al-phakat GmbH, Jerman.

Gambar 2
Skema Desain Teknik CPD Prof . Willner, Hamburg University, Jerman.



Gambar 3
Skema Peralatan Teknik CPD Lemigas sistem *batch*.

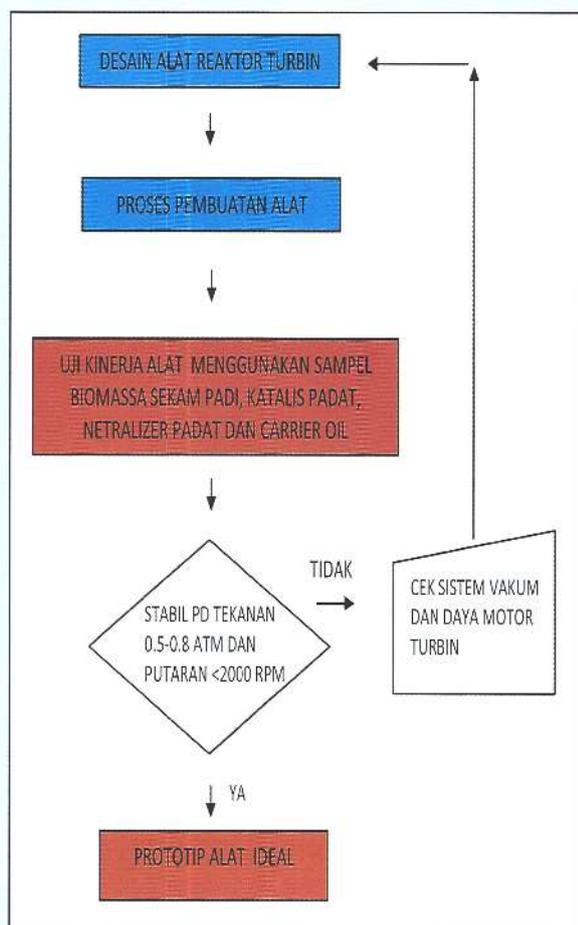
bahan bakar cair sangat ditentukan oleh kinerja alat utama reaktor turbin. Karena alat reaktor ini berperan sebagai tempat proses dan reaksi utama antara umpan biomassa, katalis, carrier oil dan senyawa netralizer $\text{Ca}(\text{OH})_2$ serta untuk menghasilkan panas akibat friksi dan gesekan antara senyawa-senyawa tersebut dengan dinding reaktor.

Tantangan utama rekayasa teknik CPD ini, terkait dengan desain reaktor dan semua peralatan pendukungnya yang memiliki kemampuan beroperasi pada operasi suhu relatif tinggi yakni $280^\circ - 330^\circ\text{C}$, tekanan vakum 0,5 -0,8 atm, turbin pemutar yang memiliki kemampuan berputar <2000 rpm.



Gambar 4
Realisasi Rangkaian Prototip Alat Reaktor Turbin.

Berikut dibawah ini beberapa desain alat teknik CPD :



Gambar 5
Metodologi.

III. HASIL DAN DISKUSI

Prototip alat terdiri dari beberapa bagian utama seperti:

- Tabung Reaktor
Dibuat dari baja *stainless steel type no. 304*, dengan dimensi ukuran : tinggi 60 cm dan diameter 25 cm. Kapasitas reaktor mencapai isi contoh 3 liter. Namun untuk keamanan dan kemudahan kontrol alat, maksimum kapasitas isi reaktor yang digunakan tidak lebih dari 2 liter.
- Turbin pemutar berkecepatan tinggi : kekuatan motor 5.5 HP.
- Alat Kondensor sebagai pendingin produk biofuel
Chiller : dengan kemampuan pendingin sampai -40 C. Alat ini berfungsi untuk kondensasi fraksi ringan.
Bath: berfungsi untuk kondensasi produk biofuel setara solar dengan titik didih antara 150-230°C.
- Sistem vakum, terdiri dari
Pompa vakum : kapasitas *normal flow rate* 30 m³/jam, kecepatan putaran mesin 3000 – 3600 rpm, *Ultimate pressure* 2.3 X 10⁻² Torr (3 x 10⁻³ mBar).
Surge Drum : merupakan salah satu bagian atau komponen sistem vakum yang berperan menjaga stabilitas tekanan vakum saat percobaan dilakukan. Alat ini terdiri dari 2 buah botol ataupun wadah bentuk bola, ukuran sedikitnya 2 liter yang disusun paralel dan dihubungkan dengan sistem output pompa vakum.
Selenoid : berfungsi untuk mengatur tekanan

vakum saat percobaan dilakukan agar tetap dalam *set point* yang ditentukan.

- Panel : terdiri dari tombol pengatur sistem pengukuran suhu pemanas, tekanan dan pemutar turbin secara elektronik.

A. Uji coba kinerja alat:

- Uji kinerja alat dilakukan untuk mengukur kemampuan prototip alat reaktor terkait kemampuan beradaptasi dan sebagai langkah *safety* pada kondisi operasi penelitian sesungguhnya. Pengukuran ini sangat penting, mengingat alat ini bekerja pada kondisi operasi krusial, yakni menggunakan tekanan vakum, suhu Operasi relatif tinggi dan putaran turbin cepat dalam reaktor.

- Sampel yang digunakan

Contoh / sampel umpan dalam reaktor:

sekam padi	: 106 gr
minyak jelantah	: 910 gr
katalis zeolite Y	: 15 gr
netraliser	: 15 gr
berat total	: 1046 gr

- Uji kinerja alat pada kondisi operasi :

Tekanan vakum	: 0.5-0,8 atm
Waktu reaksi	: 10 menit
Putaran turbin	: 500 RPM

Prosedur praktek percobaan teknik CPD,

- Tahap Preheating, pemanasan awal umpan dalam reaktor suhu 120-180°C. selama 2-2.5 jam. pemanasan awal tergantung dari jenis biomassa dan katalis yang digunakan. Untuk sampel biomassa yang keras seperti kayu, dibutuhkan pemanasan awal yang tinggi. Begitu pula halnya dengan katalis. Katalis dengan keaktifan tinggi, sebaiknya dipanaskan pada suhu dibawah 180°C.
- Tahap Reaksi Utama, tahap selanjutnya setelah fase preheating adalah tahap reaksi utama. Pada fase ini umpan di putar sesuai putaran rpm yang diinginkan pada kondisi vakum. Putaran kecepatan tinggi pada reaktor turbin merupakan kunci dari metoda CPD. Pada tahap ini, dampak dari putaran tinggi dalam reaktor, akan meningkatkan friksi panas antara propeller dan dinding reaktor. Lebih jauh, fase ini diharapkan dapat meningkatkan aktifitas katalis, karena panas yang timbul akibat friksi dalam reaktor, akan secara langsung dihantarkan pada katalis.

- Hasil uji menunjukkan, waktu yang dibutuhkan saat *preheating* sampel untuk mencapai suhu 160°C adalah 25 menit. Tercatat juga bahwa untuk mencapai putaran 500 RPM, hanya dibutuhkan waktu sekitar 3 detik.

Pada kondisi operasi ini, suhu uap dalam reaktor meningkat dari suhu 50 menjadi 112°C. Sementara itu suhu contoh meningkat dari 160°C menjadi 205°C. Kenaikkan suhu dalam reaktor disebabkan friksi antara sampel dan dinding reaktor. Secara keseluruhan tidak ada kendala berarti pada semua sistem peralatan yang ada. Semua sistem peralatan relatif stabil sesuai kondisi operasi yang ditetapkan.

Uji selanjutnya dilakukan untuk contoh dan kondisi operasi yang sama, namun digunakan kecepatan turbin 600 dan 700 rpm..

Pada kecepatan turbin 600 dan 700 rpm, getaran timbul dari rangkaian peralatan, relatif lebih keras. Hal ini disebabkan, pada desain awal prototip alat dirangkai pada rangka baja, namun rangka baja hanya diletakkan diatas meja laboratorium tanpa di tanam atau beton bagian dasar rangkanya. Sehingga pada putaran 600-700 rpm getaran dan guncangan sangat keras. Terlebih contoh yang diuji adalah sampel padat yang cenderung menimbulkan getaran yang keras. Guncangan yang keras, berpotensi menimbulkan kebocoran pada sistem bertekanan vakum dan akan berakibat alat tidak bekerja secara optimal.

Pada pengujian awal, motor turbin yang digunakan memiliki daya 3 HP, hanya mampu memutar turbin sampai 700 rpm. Hal ini masih jauh dari target yang ingin dicapai yakni >2000 rpm.

Oleh sebab itu prototip alat didesain dan dimodifikasi kembali terutama terkait dengan penempatan posisi alat, modifikasi peralatan dan pemasangan rangka baja untuk reaktor serta pemilihan motor turbin yang memiliki daya yang sesuai target kapasitas putaran <2000 rpm.

B. Hasil Desain Ulang.

Hasil desain ulang, diputuskan untuk menggunakan motor penggerak turbin dengan daya 5.5 HP 3 phase. Selain itu, untuk mengurangi guncangan putaran reaktor dan memperkokoh konstruksi rangka baja alat, diputuskan untuk menanam dan membeton di bagian kaki rangka baja reaktor.

- Uji kinerja alat pada kondisi operasi :

Tekanan vakum	: 0.5 - 0,8 atm
Suhu <i>preheating</i>	: 160°C
Putaran turbin	: 2000 RPM
Contoh / sampel	:

sekam padi	: 232 gr
minyak jelantah	: 2472 gr
zeolit alam	: 182 gr
netraliser Ca(OH ₂)	: 182 gr

Pada pengujian ini digunakan contoh yang lebih banyak dibandingkan dengan pengujian sebelumnya. Hal ini dimaksudkan, untuk memantau kondisi sistem vakum dan modifikasi rangka baja alat secara lebih baik sesuai kapasitas optimal Reaktor turbin.

Hasil uji kinerja alat menunjukkan, bahwa kondisi operasi alat yang ditentukan, mampu mencapai target yang diinginkan. Bahkan putaran maksimal dapat dicapai sampai 2300 rpm, dengan kondisi putaran halus tanpa guncangan berarti. Begitu pula halnya dengan system tekanan vakum alat. Tekanan vakum saat operasi alat cukup stabil. Stabilitas tekanan vakum tidak terlepas dari, peran komponen *solenoid* dan *surge drum* yang bekerja secara optimal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kegiatan penelitian yang lakukan dapat diambil beberapa kesimpulan :

Prototip reaktor turbin yang didesain dan direkayasa memiliki kinerja yang cukup baik, terkait dengan kemampuan memenuhi target kondisi operasi yang diharapkan pada teknik CPD. Secara umum penggunaan kerangka *stainless steel* untuk menyangga turbin , relatif dapat meredam getaran akibat putaran reaktor pada skema peneltian yang dilakukan. Penggunaan Teknik *surge drum* yang dipakai untuk menjaga stabilitas tekanan vakum berfungsi baik. Hal ini terlihat dari pembacaan ukuran tekanan vakum yang stabil. Desain *propeller* untuk turbin yang digunakan relatif sudah presisi dan cukup baik untuk kondisi operasi yang dicoba. Putaran propeler tidak bunyi dan cukup halus.

KEPUSTAKAAN

- Abimanyu, H.**, 2011. 1st Korea – Indonesia Workshop on Bioenergy from Biomass, 18-19 August 2011, LIPI Jakarta & Serpong.
- Arifenie, F.N.**, 2010. Indonesia Akan Kurangi Impor BBM”, Kontan Online 13 April 2010, <<http://klasik.kontan.co.id/industri/news/34043/>>
- BAPPENAS**, 2010. Buku II: Memperkuat Sinergi Antarbidang Pembangunan, Bab V: Sarana dan Prasarana”. Lampiran PP No.5/2010 tentang RPJMN 2010-2014.
- Fan Wang.**, 2014. A life assessment on KDV Diesel oil from Wood, An intended KDV plant in Edsåsdaalen. Mid Sweden University, 2014.
- Fakhrai Reza, Dr**, 2015. Feasibility study and quality assurance of the end-product of Alphakat KDV technology for conversion of biomass, KTH School of Industrial Engineering and Management Division of Heat and Power Technology, Stockholm, Swedia.
- FOCUS MAGAZINE**, 2011. From the garbage can into the fuel tank, 10 OCT. 2011.
- Hambali, E., A. Thahar, A. Komarudin**, 2010. The Potential of Oil Palm and Rice Biomass as Bioenergy Feedstock”. Poster presented at 7th Biomass Asia Workshop, November 29 – December 01 2010, Jakarta, Indonesia.
- Hoogwijk M, Faaij A, van den Broek R, Berndes G, Gielen D, Turkenburg**, 2003. W. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. Biomass and Bioenergy; 25:119–33.
- Krzyszinski, Edwin**, 2013. Transforming biomass to Dieselfuel by catalytic depolymerization. Low pressure, low temperature, low costs. Swedia.
- Krongkaew Laohalidanond, Heil Jürgen and Wirtge Christain**, 2006. *The production of synthetic diesel from biomass*, KMITL Sci. Tech. J. Vol. 6 No. 1 Jan. - Jun. 2006, Coking, Briquetting and Thermal Waste Treatment Group, RWTH Aachen University, Germany.
- Labeckas G, Slavinskas S.**, 2013 Performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine operating on KDV synthetic diesel fuel. Energy Convers Manag 66:173–88.
- Patent No. DE10**, 2005 056 735 from 29.11.2005 (19 patents and patent accretions).
- Patent No. DE10**, 2006 054 506 from 17.11.2006 (16 patents and patent accretions).
- Tekin K, Karagöz S, Bektaş S.**, 2014. A review of hydrothermal biomass processing. Renew Sustain Energy Review 40:673–87.
- Zimmer and Syd kelly**, 2012. Catalytic Pressureless Depolymerisation SA Executive Summary: Chem. Eng. Specialist at W4Oil, Germany.