JRL	Vol. 13	No.2	Hal. 214 - 221	Jakarta, Desember 2020	p-ISSN : 2085.38616 e-ISSN : 2580-0442
-----	---------	------	----------------	---------------------------	---

GAS HIDROGEN DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MELALUI PROSES *SUPERCRITICAL WATER GASIFICATION* (SCWG)

Prasetyadi
Pusat Teknologi Lingkungan- BPPT
Email : prasetyadi@bppt.go.id

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan biomassa yang memiliki kadar selulosa dan hemi-selulosa tinggi. Besarnya potensi TKKS ini didukung oleh ketersediaannya dengan jumlah sebanyak 11 juta ton per tahun. Selulosa dan hemi-selulosa merupakan senyawa yang paling banyak menghasilkan hydrogen dalam proses gasifikasi biomassa. Proses gasifikasi untuk memproduksi gas hydrogen dari limbah tandan kosong kelapa sawit pada suhu 400 °C, waktu tinggal 30 menit dan menggunakan penambahan 10% air sebagai katalis, menghasilkan 3,9 gram hydrogen per kg TKKS. Dari proses yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa makin tinggi produksi gas hydrogen makin tinggi pula CO₂ yang dihasilkan. Sehingga, perlu dicari kondisi operasi dan jenis katalis yang sesuai untuk digunakan pada proses gasifikasi agar diperoleh hydrogen lebih banyak tetapi CO₂ yang dihasilkan lebih sedikit karena CO₂ merupakan salah satu gas Rumah Kaca yang harus dikurangi produksinya.

Kata kunci: Gasifikasi, hydrogen, limbah, tandan kosong, kelapa sawit

HYDROGEN GAS FROM EMPTY BUCHES PALM OIL THROUGH THE SUPERCRITICAL WATER GASIFICATION (SCWG) PROCESS

ABSTRACT

Palm oil empty bunches (OPEFB) is a biomass with high levels of cellulose and hemi-cellulose. The great potential of this OPEFB is supported by its availability of 11 million tons per year. Cellulose and hemi-cellulose are compounds that produce highest concentration of hydrogen in the biomass gasification process. Gasification process of OPEFB that was carried out at 400 °C, with retention time of about 30 minutes and used the addition of 10% water as a catalyst produced 3.9 grams of hydrogen per kg OPEFB. However from the experimental results, it can be concluded that the higher the production of hydrogen gas the higher the CO₂ produced. Therefore it is required to find operating conditions and types of catalyst used in the gasification process that result in high concentration of hydrogen but low at CO₂ produced as CO₂ is one of GHGs that should be reduced.

Keywords: Gasification, hydrogen, waste, empty bunches, palm oil

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tandan kosong kelapa sawit (TTKS) merupakan salah satu limbah industri yang belum banyak dimanfaatkan, penanganan TTKS saat ini umumnya dibakar atau disebar sebagai mulsa atau penutup lahan dikebun sawit. Dari proses pembakaran TTKS emisi terbanyak yang dikeluarkan adalah gas CO₂ dan pada proses pembusukan emisi TTKS gas terbanyak yang terbentuk CH₄ dan CO₂. Kedua proses penanganan ini menghasilkan gas yang dapat meningkatkan laju pencemaran gas rumah kaca (GRK). Tandan kosong sawit mempunyai kadar air sekitar 60% (Herawan, T., Rivani, M., 2013), karena kelembapan yang tinggi ini dapat menghambat proses pembakaran (Chang, 2014), sehingga TTKS ini tidak bisa dimanfaatkan langsung sebagai bahan bakar.

Luas lahan sawit Indonesia hingga saat ini mencapai 12,3 juta hektar dengan tingkat produksi minyak sawit sekitar 34,5 juta ton (Anonin 2017). Pengolahan 1 (satu) ton tandan buah segar (TBS) kelapa sawit akan menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg (Susanto et al 2017) atau secara keseluruhan tersedia sekitar 7.9 juta ton per tahun. TTKS merupakan bahan organik / biomassa yang berasal dari tanaman, sebagai hasil fotosintesis. Biomassa ini berasal dari sumber energi matahari yang disimpan dalam bentuk energi kimia, yang dapat dilepaskan ketika ikatan antara molekul karbon, hidrogen dan oksigen yang berdekatan terputus oleh berbagai proses biologis dan termokimia

(McKendry, 2002). Biomass meliputi berbagai bahan organik, yang biasanya terdiri dari; air, selulosa, hemiselulosa, lignin, lipid, protein, pati dan gula sederhana (M. Modell, 1985). Di antara senyawa-senyawa ini, selulosa, hemiselulosa dan lignin adalah tiga komponen utama pada tandan kosong kelapa sawit. Hasil analisa ultimasi komposisi tandan kosong kelapa sawit diperlihatkan ditunjukkan pada table 1. (Ahmad, 2016)

Tabel 1. Komposisi TTKS

No.	Komposisi	(%)
1	Selulosa	36.78
2	Lignin	21.87
3	Hemiselulosa	27.57

Sumber : (Ahmad, 2016) (data diolah)

Selulosa dan hemiselulosa merupakan senyawa yang paling banyak menghasilkan hidrogen dalam proses pirolisis/gasifikasi biomassa (WU, et al 2013). Hidrogen merupakan salah satu energy terbarukan yang ramah lingkungan. Pemanfaatan tandan kosong sebagai bahan baku untuk memproduksi hydrogen selain akan mengurangi emisi GRK dapat menjadi salah satu potensi sumber energy di Indonesia.

1.2. Proses Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi merupakan salah satu proses konversi termokimia bahan bakar, seperti batubara, biomassa, dan limbah-limbah. Pada gasifikasi, bahan bakar padat diubah menjadi gas (*gas producer*) yang dapat dibakar secara langsung sebagai bahan bakar maupun digunakan sebagai bahan baku untuk produksi gas sintetik

atau hidrogen. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi umumnya berupa CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂O, dan N₂. Selain itu, dalam gasifikasi juga akan dihasilkan bahan organik (tar) dan bahan anorganik (H₂S, HCl, NH₃, logam-logam alkali) serta partikel (Pranoto, 2016).

1.3. Variabel Utama Dalam Proses Gasifikasi

Komposisi dari gas-gas hasil gasifikasi tergantung dari jenis dan komposisi umpan serta parameter operasi gasifikasi, seperti suhu, tekanan, waktu tinggal dan katalis yang digunakan (*gasifying agent*) (Perez et al 2015). Pengaruh dari variable tersebut adalah sebagai berikut :

a. Suhu

Suhu menunjukkan efek signifikan pada proses *supercritical water gasification* (SCWG) biomassa, terutama ketika tidak ada catalytic converter atau katalis yang kurang efektif (Guo et al, 2007). Bahkan, proses gasifikasi air bertekanan dapat dibagi menjadi tiga kelompok ; suhu tinggi, sedang dan rendah, tergantung pada produk utama dari gasifikasi (Peterson, 2008). Tabel 2 menunjukkan pembagian kelompok suhu proses hidrotermal.

Tabel 2. Pembagian Suhu Hidrotermal berdasarkan Kelompok Suhu (Basu, 2009)

Batasan Suhu	Katalis	Hasil Produk
Tinggi (> 500 °C)	Tanpa Katalis	Hidrogen banyak
Sedang (Tc a 500 °C)	Menggunakan Katalis	Hidrogen banyak

W.H.M. Zijm et al 2006 menyampaikan : gas kaya metana diproduksi hingga suhu sekitar. 500°C, Terjadi pergeseran kuat dari metana menuju hidrogen dan karbon monoksida setelah meningkatkan suhu, suhu yang lebih tinggi mendukung produksi hidrogen.

Grafik hasil perhitungan kesetimbangan gasifikasi selulosa ditunjukkan pada gambar 1

Gambar 1. kesetimbangan gasifikasi selulosa

b. Tekanan

Tekanan pada proses SCWG biomassa memberikan efek yang kompleks (Bühler et al, 2002). Dari hasil observasi laju reaksi radikal bebas berkurang dikarenakan adanya tekanan, sedangkan reaksi ionik meningkat dengan tekanan karena produk ionik dalam kepadatan yang lebih tinggi.

Ketergantungan kepadatan kedua jenis reaksi ini berlawanan satu sama lain (Basu, 2009). Tekanan tinggi mendorong perubahan reaksi uap, tetapi mengurangi laju reaksi dekomposisi (Guo, 2007).

c. Waktu Tinggal

Waktu tinggal dari sudut pandang termodinamika, biomassa dapat diproses menjadi gas sepenuhnya dalam proses *supercritical water* (SCW) dengan pembentukan H₂ dan CO₂. Reaksi gasifikasi dikendalikan oleh kinetika dan beberapa detik diperlukan untuk menyelesaikan proses gasifikasi (Antal,

2000) gasifikasi 0,1M glukosa pada 34,5MPa dan 873 K dengan berbagai waktu tinggal. Mereka mendapatkan glukosa dapat menjadi dengan cepat dan dengan efisiensi carbon (EC) 100% dicapai dengan waktu tinggal 28 detik (Lee, et all 2002) juga melaporkan bahwa hasil semua gas tetap hampir konstan pada 973 K, tidak tergantung pada waktu tinggal, kecuali untuk waktu tinggal terpendek 10,4 detik, ketika glukosa 0,6 M di gasifikasi pada 28 MPa. Dengan cara ini, orang dapat berspekulasi bahwa produksi puncak untuk gas pada suhu rendah dapat terjadi dalam waktu tinggal yang lebih besar.

d. Efek dari Katalis

Untuk meningkatkan efisiensi ekonomi SCWG, peningkatan efisiensi gasifikasi, serta penurunan suhu operasi harus dipertimbangkan. Untuk tujuan ini, katalis adalah solusi yang memungkinkan. Namun, katalis untuk SCWG harus berbeda dari yang digunakan dalam gasifikasi konvensional di bawah kondisi operasi tertentu, seperti nilai tekanan tinggi, tujuan (hydrogen produksi, bukan gas sintesis) dan spesifik medium superkritis (Perez, 2015).

Perilaku air di atas titik kritis dan di dekat titik kritis ($T_c = 373,946\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_c = 220,640\text{ bar}$) telah dipelajari secara ekstensif (Shaw et all 1991).

Pada suhu rendah katalitik gasifikasi dilakukan pada suhu 350-400 ° C, bahan baku diproses dengan bantuan katalis menjadi gas yang kaya metan. Gasifikasi pada suhu superkritis tinggi dilakukan dalam kisaran 500-700 °C, dengan atau tanpa katalis, dan terutama menghasilkan hidrogen. Pada tahun 1978 biomas

diusulkan sebagai bahan baku potensial untuk produksi hidrogen (Antal, 1978) :

Dalam persamaan stoikiometrik ideal ini, selulosa (diwakili sebagai $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)

bereaksi dengan air untuk menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida.

1.4. Tujuan Penelitian

Mengetahui jumlah Hydrogen yang dapat dihasilkan dari tandan kosong (limbah industri pengolahan kelapa sawit / CPO)

II. METODOLOGI

2.1. Bahan dan Alat

Dalam pelaksanaan penelitian ini bahan yang digunakan adalah tandan kosong (limbah industri pengolahan CPO) yang sudah dikeringkan, kadar air 10 %. Bahan ini dihaluskan dengan mesin grinding sehingga menjadi tepung sebelum digunakan. Pada penelitian ini digunakan air sebagai katalis untuk menghasilkan hidrogen. Peralatanyang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Peralatan utama:

- Micro Reaktor kapasitas 10 ml maksimum suhu 450 °C 50 MPa dan mesin pemanas (AKICO) maksimum suhu 500 °C , ditunjukkan pada gambar dibawah ini.
- Gas kromatograf (Shimadzu)
- Gas kromatograf (Yanaco)

Peralatan utama ditunjukkan pada gambar 2.

Gambar 2. Peralatan utama (a) mesin AKOCO (b) Mikro Reaktor

b. Peralatan Penunjang

- Meja dan catok
- Grinding
- Oven
- Timbangan Analitik
- Kunci pas dan kunci momen
- Sikat
- Gas Holder
- Pompa Vakum
- Kipas angin

2.2. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tiga variable suhu yaitu 300 °C, 350 °C dan 400 °C, penambahan air dilakukan sebagai katalisator dalam proses yang terjadi didalam reaktor. Tekanan kerja pada penelitian ini tidak ditetapkan secara pasti karena besarnya tekanan akan sangat tergantung dari jumlah bahan, air yang

dimasukkan didalam reaktor dan suhu, sedangkan volume reaktor yang digunakan 10 ml. Jumlah perbandingan antara bahan dan penambahan air adalah : 0,2 ; 0,5; 1; 2; 5; 10. Sedangkan waktu tinggal selama 30 menit setelah suhu yang diinginkan tercapai.

2.2.1. Proses pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil percobaan melalui proses gasifikasi yang dilakukan terhadap bahan. Bahan yang sudah disiapkan ditimbang sesuai ukuran kemudian dimasukkan kedalam reaktor dan ditambah sejumlah air, reaktor kemudian dipanaskan dan selama proses berlangsung dilakukan pencatatan ; suhu, tekanan dan waktu tinggalnya. Setelah proses selesai dilakukan pendinginan reaktor, setelah reaktor mencapai suhu kamar, gas yang terbentuk dari hasil gasifikasi ini dimasukkan kedalam gas bag untuk dibawa ke ruang analisa.

2.2.2 Analisa data

Untuk menghitung jumlah gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi yang dilakukan Reaktor dan mesin pemanas (Akiko) kemudian dianalisa dengan menggunakan gas kromatografi, yang dilakukan sebagai berikut :

- Pada analisa dengan Gas kromatograf (Yanaco) didapat : H_2 dan CH_4
- Pada analisa dengan Gas kromatograf (Shimadzu) didapat : O_2 , CO , CH_4 , CO_2 , C_2H_4 dan C_2H_6

Data yang dihasilkan tersebut didapat dalam jumla % masing-masing gas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan hasil analisa

Dari hasil analisa data dengan menggunakan gas kromatografi didapat jumlah gas-gas yang dihasilkan dalam satuan persen (%), dari data tersebut dikonversi dengan berat molekul (BM) dari masing masing gas sehingga didapat hasil seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Kondisi operasi (salah satu contoh perhitungan data) :

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$R = 0.082 \text{ L atm/}^{\circ}\text{C mol}$$

$$T = 27^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Penambahan air} = 3 \%$$

$$\text{Volume penambahan air} = 6 \text{ ml}$$

$$\text{Berat sample} = 2,0087 \text{ gram}$$

$$\% \text{ kandungan air}$$

$$= \frac{6}{6 + 2,008} \times 100 \% = 25,0814\%$$

$$\text{Tekanan awal} = 0.25 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekanan pada suhu } 400^{\circ}\text{C} = 48.7 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekanan akhir/ setelah didinginkan} = 3.07 \text{ MPa}$$

$$\text{Selisih tekanan} = 3.07 - 0.25 = 2.82 \text{ Mpa}$$

$$\text{total gas yang dihasilkan} =$$

$$\frac{2.82 \text{ Mpa}}{0.1 \times 0.01 / 27^{\circ}\text{C} / 0.082 \text{ L atm/}^{\circ}\text{C mol}}$$

$$= 0.127371 \text{ mol}$$

$$\text{Jumlah mol} = 1 \text{ atm} \times 0.3 \text{ ml} / 1000 / 0.082 \text{ L atm/}^{\circ}\text{C mol} / 27^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,000135501 \text{ mol}$$

$$\text{Dibandingkan dengan jumlah sampel}$$

$$= 0.127371 \text{ mol} / 0,000135501 \text{ mol}$$

$$= 940$$

$$\text{H}_2 (\text{ml/area}) = 2.84249689397645\text{E}-07$$

$$= 2.84\text{E}-07$$

Area A1 dan Area A2 didapat dari hasil analisa Gas cromatografi

$$\text{ml } 1 = (\text{ml} / \text{area}) \times \text{area A1} \times 940$$

$$= 4.75\text{E}+01$$

$$\text{ml } 2 = (\text{ml} / \text{area}) \times \text{area A2} \times 940$$

$$= 44,4$$

$$\text{ml rata-rata} = (\text{ml } 1 + \text{ml } 2) / 2$$

$$= 45,95$$

$$\text{ml} = \text{ml rata-rata} - \text{ml } 2$$

$$= 1,5249$$

$$\text{mol} = \frac{1 \text{ atm} \times \text{ml rata-rata}}{(1000 \times 0.082 \text{ L atm/}^{\circ}\text{C mol} \times 300^{\circ}\text{K})}$$

$$= 0,001867832$$

$$\% \text{ volume H}_2 = \text{ml } 1 / \text{total ml } 1 \times 100$$

$$= 1.18\text{E}+01$$

$$\text{Berat Mol (BM) H}_2 = 2$$

$$\text{Berat gas dihasilkan} = 2 \times 0,001867832$$

$$= 0.003736$$

$$\text{H}_2 \text{ g/g sample} = \text{Berat gas dihasilkan} / \text{Berat sample}$$

$$= 0.003736 / 2,0087 \text{ gram}$$

$$= 0.00186$$

$$= 1,86 \text{ g/kg sample}$$

Dengan cara yang sama perhitungan juga dilakukan terhadap gas-gas lain yang dihasilkan dan perinciannya ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan hasil analisa

Gas	ml	BM	Berat Gas (gr)	g/g sample	g/kg sample
H2	45.95	2	0.003736	0.00186	1.86
O2	6.971	32	0.009069	0.00451	4.51
CO	1.47	28	0.001674	0.00083	0.83
CH4	24.6	16	0.016002	0.00797	7.97
CO2	306.8	44	0.548818	0.27322	273.22
C2H4	0.196	28	0.002223	0.00011	0.11
C2H6	11.18	30	0.013636	0.00679	6.79
N2	13.4	28	0.015248	0.00759	7.59

Perhitungan dan pengulangannya untuk masing-masing sampel juga dilakukan untuk suhu: 300 °C, 350 °C dan 400 °C dengan persen penambahan air : 0,2 ; 0,5; 1; 2; 5 dan 10. Hasil perhitungan gas yang dianalisa dari hasil percobaan masing-masing ditunjukkan pada tabel 4.

3.2 Pembahasan

Dari hasil percobaan gas H₂ dapat terbentuk baik proses dengan suhu 300 °C, 350 °C maupun 400 °C, akan tetapi jumlahnya berbeda pada tiap-tiap kondisi tersebut. Perbandingan jumlah produksi gas H₂ ditunjukkan pada gambar 3 berikut:

Gambar 3. Perbandingan jumlah produksi gas H₂

Dari gambar 3 terlihat bahwa dengan penambahan katalis (air) yang sama, makin tinggi suhu proses, gas H₂ yang dihasilkan makin banyak. Jumlah terbesar gas H₂ yang dapat dihasilkan pada penelitian ini adalah dengan kondisi operasi suhu 400 °C dan penambahan air 10 % yaitu 3,9 g/kg bahan (tandan kosong).

Penelitian yang dilakukan dengan mesin AKIKO ini menghasilkan jumlah produksi H₂ tertinggi pada suhu 400 °C dengan penambahan air 10 %. Pada kondisi ini juga terbentuk gas CO₂ yang jumlahnya 305,95

g/kg. Seperti ditunjukkan pada gambar 4 berikut.

Gambar 4. Jumlah produksi gas H₂ dan CO₂.

Jika dilihat dari gambar 4 penambahan jumlah air dapat meningkatkan produksi gas H₂. dan pada ada kondisi ini produksi gas CO₂ yang terbentuk juga lebih besar .

Keterbatasan percobaan dengan menggunakan mesin AKIKO ini adalah suhu hanya diijinkan hanya sampai 400 °C. sedangkan menurut W.H.M. Zijm et all 2006 gas H₂ baru akan terlihat dengan produksi tinggi pada suhu diatas 600 °C, jumlah katalis (air) juga secara umum berpengaruh terhadap produksi gas lain seperti; CO, CH₄, C₂H₄ dan C₂H₆ seperti ditunjukkan pada gambar 5.

Gambar 5. Jumlah produksi gas lainnya

Dari gambar 5 diketahui bahwa produksi gas CO, C₂H₄ dan C₂H₆ antara penambahan air 0,2 sampai 5% bervariasi naik dan turun dan naik kembali setelah penambahan air

diatas 5%. Sementara produksi gas CH₄ terus meningkat dengan semakin banyaknya penambahan jumlah air.

3.3. Beberapa Temuan

Dari hasil pengamatan selama berjalannya penelitian didapat temuan sebagai hal berikut :

- Limbah dari proses gasifikasi ini berupa padatan dan cairan dimana pH nya rendah yaitu sekitar 4.
- Limbah sisa olahan proses gasifikasi ini mempunyai sifat lengket dan sering menyebabkan tersumbatnya pipa saluran gas, makin tinggi suhu yang digunakan limbah makin lengket dan sulit dibersihkan.
- Sebagian limbah olahan proses gasifikasi ini masih dapat dibakar setelah dikeringkan

IV. KESIMPULAN

1. Dari hasil percobaan pengolahan limbah tandan kosong kelapa sawit dengan proses gasifikasi di dekat titik kritis air dengan kondisi operasi suhu 300°C, 350°C dan 400°C produksi hydrogen terbesar terjadi pada suhu 400°C dan penambahan air 10 %. Pada kondisi ini menghasilkan 3,9 gram hydrogen per kg tandan kosong.
2. Selain menghasilkan gas H₂ 3,9 gr/kg tandan kosong, proses yang dilakukan juga menghasilkan gas CO₂ sebanyak 305.95 g/kg tandan kosong.
3. Dari proses yang dilakukan dengan menggunakan suhu operasi 300 – 400 °C, makin tinggi produksi gas H₂ makin tinggi CO₂ yang dihasilkan.
4. Pengolahan limbah tandan kosong kelapa sawit dengan proses gasifikasi

pada suhu rendah menghasilkan lebih banyak gas CO₂. Untuk menghasilkan gas hidrogen yang lebih tinggi harus dilakukan dengan dengan suhu tinggi

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Kardono (Pusat Teknologi Lingkungan BPPT) yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini.
2. Prof. Tatsuya Hasegawa (Direktur Lembaga Eco Topia Universitas Nagoya) yang telah memberikan fasilitas, pengarahan dan bimbingan dalam penelitian ini.

V. DAFTAR PUSTAKA.

- Antal, M.J.1978 : *Energy from Biomass and Waste*, D.L. Class. Chicago: 495, 1978
- M. Modell, 1985 "Gasification and liquefaction of forest products in supercritical water," in *Fundamentals of thermochemical biomass conversion*, Springer, 1985, pp. 95–119.
- Shaw, R.W., T.B. Brill, A.A. Clifford, 1991. E.U. Franch: *Supercritical Water-a Medium for Chemistry*, Chem. Eng.News 69:26, 1991
- M. J. Antal, S. G. Allen, D. Schulman, X. Xu, and R. J. Divilio, 2000 "*Biomass gasification in supercritical water*, " Ind. Eng. Chem. Res., vol. 39, no. 11, pp. 4040–4053, 2000.
- P. McKendry, 2002 "Energy production from biomass (part 1): overview of biomass," *Bioresour. Technol.*, vol. 83, no. 1, pp. 37–46, 2002.
- W. Bühler, E. Dinjus, H. J. Ederer, A. Kruse, and C. Mas, 2002 "*Ionic reactions and pyrolysis of glycerol as competing reaction pathways in near- and supercritical water*," J.

- Supercrit. Fluids, vol. 22, no. 1, pp. 37–53, 2002.
- I.-G. Lee, M.-S. Kim, and S.-K. Ihm, 2002 "*Gasification of glucose in supercritical water*," Ind. Eng. Chem. Res., vol. 41, no. 5, pp. 1182–1188, 2002.
- W.H.M. Zijm at all 2006 "*Gasification Of Biomass In Supercritical Water*" Wöhrmann Print Service, Zutphen, The Netherlands © Biljana Potic, Enschede, The Netherlands, 2006. ISBN 90-365-2367-2
- L. GUO, Y. LU, X. ZHANG, C. JI, Y. GUAN, and A. PEI, 2007 "*Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water: A systematic experimental and analytical study*," Catal. Today, vol. 129, no. 3–4, pp. 275–286, 2007.
- Peterson, F. Vogel, R. P. Lachance, M. Fröling, M. J. Antal Jr, and J. W. Tester, 2008 "*Thermochemical biofuel production in hydrothermal media: a review of sub-and supercritical water technologies*," Energy Environ. Sci., vol. 1, no. 1, pp. 32–65, 2008.
- P. Basu and V. Mettananant, 2009 "*Biomass Gasification in Supercritical Water-- A Review*," Int. J. Chem. React. Eng., vol. 7, no. 1, 2009.
- Herawan, T., Rivani, M., 2013, *Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Produksi Green Product*. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit 2013. JCC Jakarta 7-9 Mei 2013. ISBN 978-602-7539-16-7, 181- 190.
- Wu, Chunfei dkk. 2013. "*Pyrolysis/Gasification of Cellulose, Hemicellulose and Lignin for Hydrogen Production in the Presence of Various Nickel-Based Catalysts*". Fuel 106: 697 – 706
- Chang, S.H., 2014, "*An Overview of Empty Fruit Bunch from Oil Palm as Feedstock for Biooil Production*" Biomass & Bioenergy, 1-8
- Lachos-Perez D, Juliana M. Prado, Torres-Mayanga P, Tânia Forster-Carneiro, M. Angela A. Meireles, 2015 "*Supercritical Water Gasification of Biomass for Hydrogen Production: Variable of the Process*" Food and Public Health 2015, 5(3): 92-101
- Ahmad M. Fuadi, Heri Pranoto 2016 "*Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Glukosa*" Journal Chemica Volume 3, Nomor 1, Juni 2016, 1-5 ISSN: 2355-8776
- Anonim Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017 Katalog : 5504003 BADAN PUSAT STATISTIK.
- Joko Prayitno Susanto, Arif Dwi Santoso dan Nawa Suwedi, 2017 "*Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA*" Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 18, No 2, Juli 2017, 165-172 165
- Adjar Pratoto , Slamet Raharjo, 2008 "*Gasifikasi-uap Biomassa untuk Menghasilkan Hidrogen – Simulasi dengan Model Keseimbangan*" **Conference Paper** · November 2008.
<https://www.researchgate.net/publication/319998505> ISBN 978-979-18839-0-0 diunduh 24 Sep 2019
- Zijm at all "*Gasification Of Biomass In Supercritical Water*" Wöhrmann Print Service, Zutphen, The Netherlands © Biljana Potic, Enschede, The Netherlands, 2006. ISBN 90-365-2367-2