



Teknologi Pirolisis untuk Kemajuan Industri Kimia berbasis Biomassa

DIJAN SUPRAMONO

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai Guru Besar Tetap dalam
Bidang Ilmu Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok, 5 Juli 2023



Teknologi Pirolisis untuk Kemajuan Industri Kimia berbasis Biomassa

DIJAN SUPRAMONO

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai Guru Besar Tetap dalam
Bidang Ilmu Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok, 5 Juli 2023

Kata Pengantar

Dengan Rahmat Allah SWT, kami dapat menyelesaikan buku Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap Bidang Ilmu Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan judul "Teknologi pirolisis untuk kemajuan industri kimia berbasis biomassa". Buku ini dikemas berdasarkan pengalaman penelitian bidang pirolisis biomassa yang bertujuan untuk memperoleh bahan-bahan kimia secara berkelanjutan yang selama ini dipenuhi oleh bahan baku fosil. Teknologi pirolisis merupakan tahap awal proses sintesis berbagai bahan kimia dari biomassa di mana pada tahap tersebut biomassa padat lignoselulosa yang merupakan biopolimer dikonversi atau tepatnya direngkahkan menjadi monomer-monomernya. Dari monomer tersebut berbagai bahan kimia yang berguna bagi kehidupan manusia disintesis.

Penelitian pirolisis ini dimulai sejak tahun 2014. Untuk mencapai kesiapan teknologi pirolisis yang mengarah ke kelayakan aplikasinya di masa mendatang, penelitian ini masih perlu penyempurnaan serta kolaboratif lintas bidang ilmu untuk aplikasi di berbagai bidang demi pemberdayaan hasil guna penelitian sebagai solusi masalah bangsa dan negara Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penyelesaian buku pidato pengukuhan ini.

Depok, 5 Juli 2023

Penulis,
Prof. Dr. Ir. Dijan Supramono, MSc.

Daftar Isi

Kata Pengantar.....	ii
Daftar Isi.....	iii
1. Pendahuluan	2
2. Potensi limbah biomassa padat di Indonesia	4
3. Pemisahan biomassa menjadi komponen-komponennya	5
4. Konversi selulosa, hemiselulosa dan lignin	7
5. Konversi HMF menjadi bahan-bahan kimia yang berguna	9
6. Konversi furfural menjadi bahan-bahan kimia yang berguna	10
7. Konversi senyawa fenolik menjadi bahan kimia yang berguna.....	12
8. Konversi lignin menjadi benzen, toluen dan xilen (BTX).....	12
9. Proses hidrogenasi dan hidrodeoksigenasi.....	13
10. Tingkat Kesiapan Teknologi pemanfaatan biomassa.....	14
Referensi.....	14
Ucapan Terima Kasih.....	20
Riwayat Hidup.....	24

Bismillahirrahmanirrahiim

Yang Terhormat:

- Ketua dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Indonesia;
- Rektor, Wakil Rektor dan Sekretaris Universitas Indonesia;
- Ketua dan Anggota Senat Akademik Universitas Indonesia;
- Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia;
- Para Dekan, Pimpinan Sekolah, dan Direktur di lingkungan Universitas Indonesia;
- Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia beserta seluruh jajarannya;
- Ketua dan Anggota Senat Akademik Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Para Ketua dan Sekretaris Departemen serta Ketua Program Studi di Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Para Staf Pengajar, Staf Tenaga Kependidikan, Mahasiswa dan Alumni Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- Seluruh Sivitas Akademika Universitas Indonesia;
- Sanak Keluarga dan Kerabat semua yang saya cintai;
- Bapak dan Ibu Undangan serta Seluruh Hadirin yang saya muliakan.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh Selamat pagi dan salam sejahtera untuk kita semua

Segala puja dan puji kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga kita dapat berkumpul di ruangan yang mulia ini dalam keadaan sehat wal'afiat untuk menyaksikan acara pengukuhan Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya mendapat kehormatan di hari bersejarah Rabu, 5 Juli 2023 dapat berdiri di podium ini untuk kepercayaan memangku jabatan Guru Besar Bidang Ilmu Teknik Kimia yang diberikan Pemerintah Republik Indonesia melalui Surat Keputusan yang ditandatangani pada tanggal 1 Januari 2023 oleh Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia, Bapak Nadiem Anwar Makarim B.A., M.B.A.

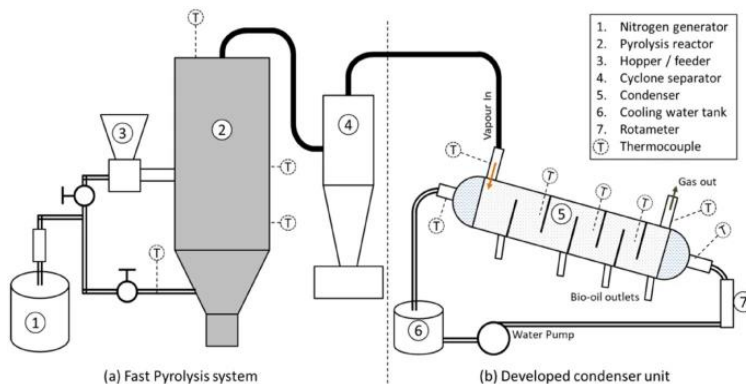
Bapak dan ibu hadirin yang berbahagia, izinkan saya menyampaikan pidato ilmiah yang berjudul

***Teknologi Pirolisis untuk Kemajuan Industri Kimia
berbasis Biomassa***

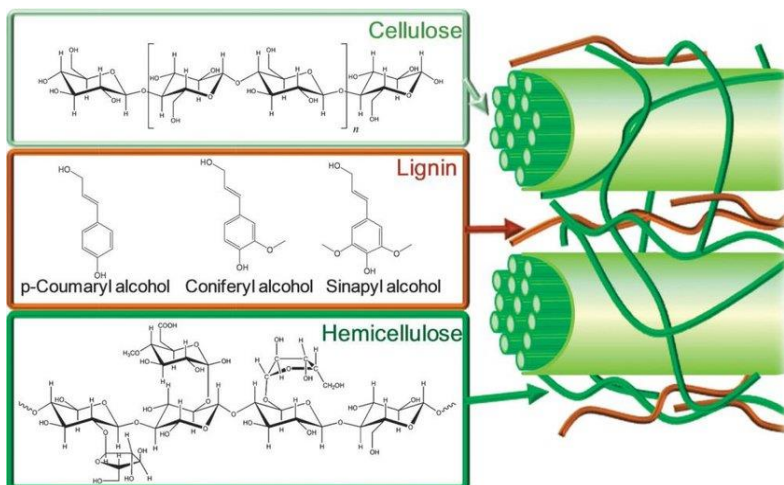
1. Pendahuluan

Pirolisis merupakan reaksi perengkahan bahan kimia rantai panjang menjadi bahan kimia rantai pendek yang dilakukan pada temperatur tinggi (mendekati 500°C) dalam kondisi inert (Fahmy *et al.*, 2020). Umumnya pirolisis menghasilkan tiga fasa produk, yaitu fasa padat, fasa cair dan fasa gas. Pirolisis diklasifikasikan sebagai proses konversi termokimia bahan kimia, di samping pembakaran dan gasifikasi. Pirolisis umumnya dilakukan terhadap bahan polimer (bahan yang mengandung rantai senyawa yang terikat secara berulang dan panjang) seperti biopolimer biomassa padat yang mengandung lignoselulosa dan polimer sintesis bahan plastik. Senyawa-senyawa yang diikat secara berulang dinamakan monomer. Proses pirolisis bertujuan untuk mengkonversi bahan polimer menjadi monomer-monomer atau oligomer-oligomer (polimer rantai pendek) sehingga bahan monomer atau oligomer tersebut bisa dikonversi menjadi bahan-bahan kimia yang berguna. Lingkungan inert umumnya membutuhkan gas nitrogen untuk menghindarkan terjadinya reaksi pembakaran dan sekaligus mendorong keluar produk pirolisis dari reaktor. Gambar 1 menunjukkan secara skematis rangkaian unit-unit pada proses pirolisis yang kontinyu di mana unit 2 adalah reaktor pirolisis, unit 4 adalah separator siklon di mana arang (fasa padat) dan fasa uap dipisahkan, dan unit 5 adalah kondenser di mana fasa uap dikondensasi menjadi *bio-oil* (fasa cair).

Gambar 2 menunjukkan struktur biomassa padat lignoselulosa yang terdiri dari serat selulosa yang diselimi oleh hemiselulosa dan lignin. Selulosa mengandung monomer glukosa (C6), hemiselulosa mengandung monomer pentosa (C5) dan heksosa (C6) dan lignin, yang pembentuknya adalah monomer-monomer *p-coumaryl alcohol*, *coniferyl alcohol*, *sinapyl alcohol* (Hovart, 2016)



Gambar 1. Rancangan pirolisis cepat (Salvi *et al*, 2020)



Gambar 2. Struktur biomassa lignoselulosa (Horvart, 2016)

Dalam perkembangannya, proses pirolisis, di samping dilakukan pada temperatur tinggi (pirolisis termal) dalam pengertian pirolisis yang lama, juga

mungkin menggunakan katalis (pirolisis katalitik) atau pirolisis katalitik yang melibatkan gas H₂ (hidropirolisis) (Vuppaladadiyam *et al*, 2022). Dengan pirolisis katalitik yang mengatasi energi ikatan antar monomernya (*linkage*), reaksi bisa berlangsung pada temperatur yang lebih rendah.

2. Potensi limbah biomassa padat di Indonesia

Limbah biomassa dari sektor pertanian dan kehutanan merupakan sumber biomassa yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber bahan kimia yang berguna dan sumber energi yang berkelanjutan. Indonesia menghasilkan limbah pertanian dan kehutanan yang melimpah sebagaimana yang ditunjukkan di Tabel 1 (Admojo dan Setyawan, 2018). Walaupun ketersediannya melimpah, masalah terbesar dalam penggunaannya adalah lokasi limbah biomassa yang tersebar sedangkan densitas massa rendah, lebih rendah dibanding batubara.

Tabel 1. Produksi limbah biomassa padat Indonesia

Tipe biomassa	Daerah penghasil limbah biomassa	Produksi limbah (juta ton/tahun)
Kayu karet	Jawa, Sumatera, Kalimantan	41
Residu penebangan kayu	Sumatera, Kalimantan	4,4
Residu penggergajian kayu	Sumatera, Kalimantan	1,3
Residu produksi <i>plywood</i>	Jawa, Sumatera, Kalimantan, Irian, Maluku	1,5
Residu produksi gula	Jawa, Sumatera, Kalimantan	23,6
Residu produksi beras	Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Bali, Nusa Tenggara	65,5
Residu produksi minyak kelapa	Jawa, Sumatera, Sulawesi	1,1

Residu produksi minyak sawit	Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, Irian	182
------------------------------	--	-----

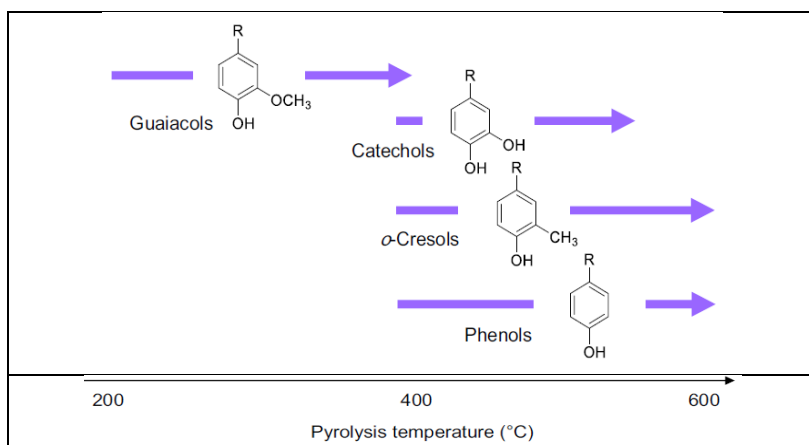
3. Pemisahan biomassa menjadi komponen-komponennya

Pada selulosa dan pada xilan, yang merupakan komponen biopolimer utama pada hemiselulosa, antar monomer banyak mengandung ikatan glikosidik -C-O-C- yang mempunyai *bond dissociation energy* (BDE) sebesar 226 kJ/mol (Zhu *et al*, 2017). Perengkahan selulosa secara termal menjadi monomer-monomernya terjadi pada temperatur sekitar 315-400°C sedangkan perengkahan hemiselulosa pada temperatur 220-315°C untuk memutus ikatan antar monomer (*linkage*) -C-O-C- (Nurazzi *et al*, 2021, Che *et al*, 2021). Selulosa terbagi menjadi 2 macam yaitu selulosa amorf dan selulosa kristalin. Pada selulosa kristalin ikatan hidrogen antar polimer sangat kuat dan hal ini menyebabkan pirolisis selulosa membutuhkan temperatur lebih tinggi dibanding hemiselulosa (Wang *et al*, 2017, Yumei *et al*, 2022).

Pada lignin, ikatan antar cincin aromatik (*linkage*) didominasi oleh struktur C_β-O-C₄ di mana salah satu atom karbon pada *linkage* terletak pada cincin aromatik (Lu *et al*, 2016). BDE pada ikatan ini antara 159 hingga 263 kJ/mol (Jin-bao, 2015). Struktur *linkage* lainnya adalah C_α-C_β yang mempunyai BDE 214 hingga 284 kJ/mol (He dan Wang, 2013). Temperatur 400°C dianggap sebagai temperatur kritis pirolisis lignin. Di bawah temperatur tersebut, *linkage* C_α-O-C₄ dan C_β-O-C₄ mengalami pemutusan, sedang pada temperatur di atas 400°C, terjadi penyusunan struktur lignin dan pemutusan ikatan C-C yang mengarah ke pembentukan oligomer dan monomer (Zhou *et al*, 2022). Karena itu pada temperatur yang berbeda-beda selama lignin mengalami perubahan temperatur hingga temperatur tertinggi pada pirolisis lambat secara termal, senyawa fenolik yang terbentuk berbeda-beda seperti yang ditunjukkan di Gambar 3 (Kawamoto, 2017).

Pemanfaatan ketiga komponen biomassa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) menjadi bahan-bahan kimia yang berguna akan lebih efisien jika ketiganya dipisahkan lebih dahulu karena ketiganya mengandung monomer-monomer dengan tipe senyawa-senyawa yang berbeda seperti terlihat di Gambar 2. Berbagai macam proses bisa dimanfaatkan untuk pemisahan

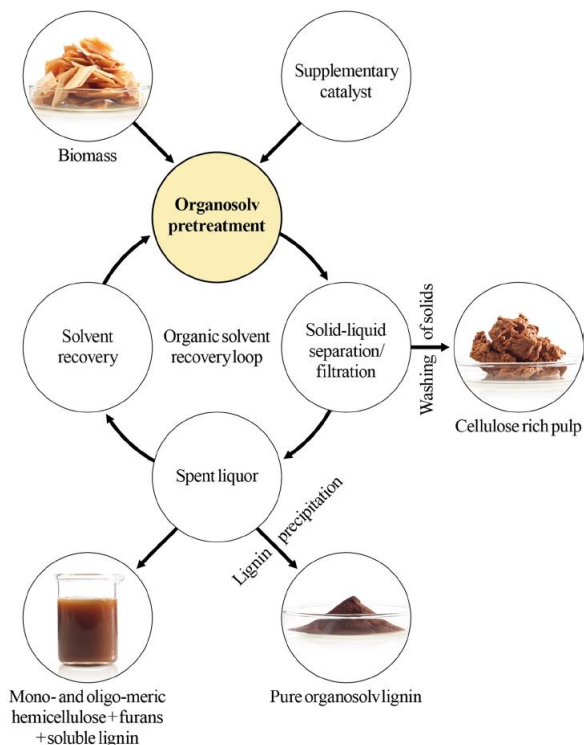
ketiga komponen biomassa. Karena pertimbangan keefektifan proses dan biaya operasi, fraksionasi organosolv merupakan pilihan terbaik untuk proses pemisahan tersebut (Yogalaxmi *et al*, 2023, Wijeyekoon dan Vaidya, 2021). Pada proses ini, bahan biomassa dicampurkan dengan suatu pelarut organik dan dipanaskan pada temperatur kurang dari 200°C untuk memutus ikatan antar komponen selulosa, lignin dan hemiselulosa (Vaidya *et al*, 2022). Selanjutnya campuran tersebut didinginkan untuk memperoleh selulosa padat dan larutan yang mengandung hemiselulosa dan lignin. Oleh proses presipitasi, lignin dipisahkan sebagai fasa padat dari larutan hemiselulosa dan dikumpulkan secara sentrifugasi (Lu dan Gu, 2011). Walaupun fraksionasi organosolv membutuhkan pelarut banyak, proses tersebut memungkinkan untuk memperoleh selulosa dan lignin dalam keadaan hampir murni (> 90%). Skema pemisahan tersebut ditunjukkan di Gambar 4 di mana hemiselulosa mengalami depolimerisasi membentuk oligomer dan monomer sedangkan selulosa dan lignin masih utuh sebagai polimer.



Gambar 3. Monomer-monomer lignin yang terbentuk pada berbagai temperatur (Kawamoto, 2017)

Dengan pemisahan ketiganya di mana selulosa dan lignin yang dihasilkan mendekati murni, konversi masing-masing komponen-komponen biopolimer tersebut menjadi bahan-bahan kimia lain yang berguna di proses berikutnya lebih tinggi *yield*-nya dibanding jika tanpa pemisahan lebih dahulu. Karena kebutuhan asam kuat atau basa kuat yang rendah dan dilakukan daur

ulang pelarut, pelarut etanol (umumnya digunakan), etil asetat dan aseton bisa digunakan secara efisien (Lu dan Gu, 2011).

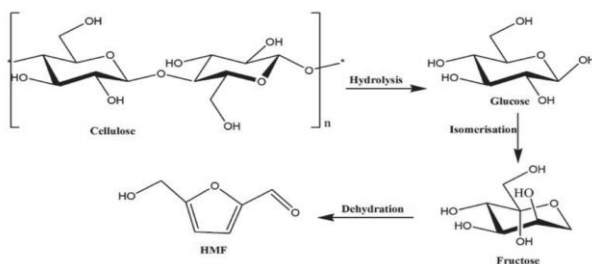


Gambar 4. Skema pemisahan selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan metoda organosolv (Vaidya *et al*, 2022)

4. Konversi selulosa, hemiselulosa dan lignin

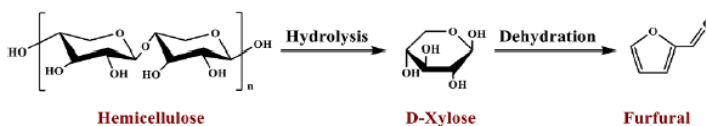
Secara singkat konversi dari selulosa ke monomer glukosa dan selanjutnya ke hidroksimetil furfural (HMF) melalui 3 tahap, yaitu hidrolisis, isomerisasi dan dehidrasi sebagaimana yang ditunjukkan di Gambar 5. Melalui proses pirolisis cepat katalitik secara *ex-situ* dengan katalis ZrO_2-SnO_2 pada temperatur $350^\circ C$, di mana unit katalitik terletak di bagian hilir dari unit pirolisis, selulosa yang dihasilkan oleh fraksionasi organosolv dikonversi menjadi HMF secara cepat. Proses ini berlangsung cepat dan *yield* HMF mencapai 15% (Li *et al*, 2021).

Hingga saat ini belum ada proses komersial yang mampu memproduksi lebih dari 300 ton per tahun untuk menghindarkan terbentuknya produk samping humin sehingga harga produknya masih mahal. Disamping itu biaya purifikasi HMF masih mahal. Teknologi terakhir yang digunakan secara komersial adalah karbonisasi hidrotermal dengan umpan lignoselulosa untuk memperoleh arang dari lignin sebagai sumber energi. Teknologi ini membutuhkan temperatur dan tekanan uap air yang tinggi sehingga biaya operasinya mahal (Vyskocil dan Kruse, 2013).



Gambar 5. Konversi selulosa ke HMF (Sarika *et al*, 2020)

Hemiselulosa mengandung bermacam-macam heksosa (monomer karbohidrat dengan jumlah atom karbon enam, C6) dan pentosa (monomer karbohidrat dengan jumlah atom karbon lima, C5) di mana kandungan utamanya adalah polimer xilan yang terdiri dari monomer xilose (Ye *et al*, 2021). Fraksinasi organosolv memungkinkan memperoleh monomer xilose dengan selektifitas yang tinggi (Zheng *et al*, 2017). Oleh reaksi hidrolisis dan dehidrasi (pelepasan air) di proses berikutnya, xilosa bisa dikonversi menjadi furfural melalui rute reaksi yang ditunjukkan di Gambar 6.



Gambar 6. Konversi hemiselulosa ke furfural (Ye *et al*, 2021)

Furfural bisa diperoleh melalui pirolisis katalitik atau melalui hidrolisis katalitik. Produksi furfural secara komersial dari hemiselulosa menggunakan proses hidrolisis katalitik dengan katalis asam sulfat atau asam khlorida (katalis homogen) untuk reaksi hidrolisis dan dehidrasi (Sato *et al*,

2019). Dari monomer pentose (C5) dengan menggunakan pelarut p-nitrotoluen, yield furfural yang diperoleh mencapai 70% (Sproull *et al*, 1985).

Karena fraksionasi organosolv menghasilkan larutan hemiselulosa yang didominasi xilose, maka furfural disiapkan dengan umpan yang didominasi oleh xilose. Menurut penelitian terakhir, dengan menggunakan katalis padat (katalis heterogen) yang murah seperti $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, untuk memudahkan pemisahan katalis, dan pelarut bifasik air- CaCl_2 /toluen, *yield* furfural yang diperoleh dari xilose secara hidrolisis adalah 55% dengan waktu reaksi 50 menit (Fúnez-Núñez *et al*, 2019).

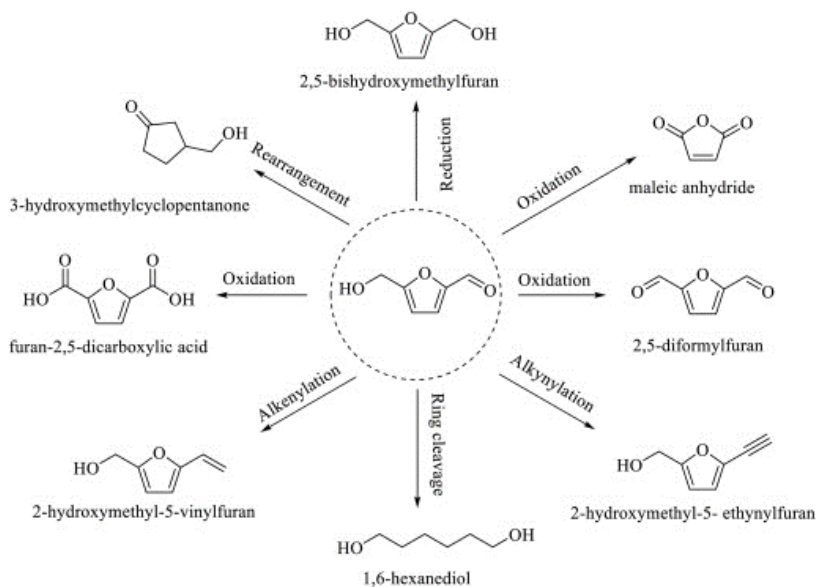
Teknologi pirolisis adalah teknologi yang paling banyak digunakan secara komersial untuk depolimerisasi lignin baik tanpa maupun dengan katalis (Agarwal *et al.*, 2018). Pada pirolisis cepat secara termal *yield* bio-oil mencapai sekitar 55% dan kandungannya didominasi oleh senyawa-senyawa aromatik. Pada pirolisis cepat secara katalitik yang menggunakan katalis ZSM-5 *yield* bio-oil mencapai 44% pada lignin yang berasal dari fraksionasi organosolv di mana kandungan bio-oil didominasi oleh senyawa-senyawa fenolik (Margellou *et al*, 2021).

Hidroksimetil furfural, furfural dan senyawa-senyawa fenolik merupakan bahan kimia yang bisa dikonversi menjadi bermacam-macam bahan-bahan kimia dan polimer yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Karena itu senyawa-senyawa ini disebut sebagai *platform chemicals*. Senyawa-senyawa ini yang diperoleh dari bahan biomassa menjadi prekursor untuk pembentukan bahan-bahan kimia lain yang juga bisa diperoleh dari fosil. Karena itu pembentukan bahan-bahan kimia tersebut dari prekursor hidroksimetil furfural, furfural dan senyawa-senyawa fenolik bersifat berkelanjutan (Martinkova *et al*, 2023, Thoma *et al*, 2020, Iroegbu, 2020, Lv, 2022).

5. Konversi HMF menjadi bahan-bahan kimia yang berguna

HMF sebagian besar digunakan oleh industri polimer, *fine chemicals* (bahan kimia yang diproduksi dalam jumlah kecil, tapi mahal) dan bahan bakar (van Putten *et al*, 2013). Beberapa produk turunan HMF yang banyak digunakan ditunjukkan di Gambar 7. Aplikasinya secara ringkas diklasifikasikan untuk pembuatan polimer (*2,5-bishydroxymethylfuran*, *2,5-*

diformyl furan, furan-2,5-dicarboxylic acid, 2-hydroxymethyl-5-ethynylfuran, 1,6-hexanediol, 2-hydroxymethyl-5-vinylfuran, 3-hydroxymethyl cyclopentanone, maleic anhydride), bahan perekat (1,6-hexanediol, 2-hydroxymethyl-5-vinylfuran, 3-hydroxymethyl cyclopentanone), aditif bahan bakar (furan-2,5-dicarboxylic acid), pelarut (3-hydroxymethyl cyclopentanone), obat-obatan (3-hydroxymethyl cyclopentanone, maleic anhydride), pestisida (3-hydroxymethyl cyclopentanone, maleic anhydride) (Kong, *et al* 2020)



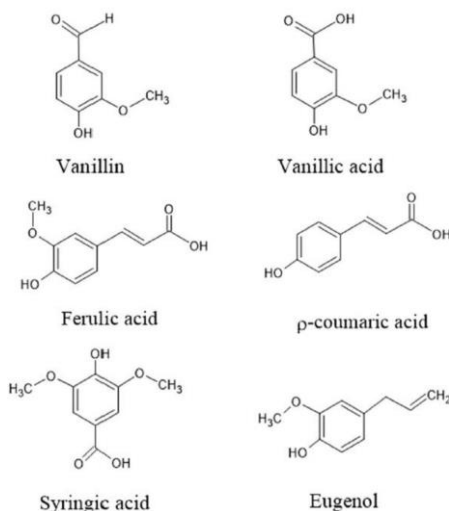
Gambar 7. Konversi HMF ke senyawa-senyawa turunanya (Kong *et al*, 2020)

6. Konversi furfural menjadi bahan-bahan kimia yang berguna

Furfural banyak digunakan sebagai zat pengestraksi fasa cair untuk memisahkan aromatik dari minyak diesel untuk meningkatkan kecepatan penyalan. Sebagai fungisida, furfural mencegah tumbuhnya hama pada gandum. Furfural juga dipakai sebagai pewangi dan sebagai pengawet untuk biji-bijian pertanian (Iroegbu *et al*, 2020). Sebagai pelarut di industri penyulingan minyak, furfural mempunyai kemampuan untuk melarutkan olefin. Furfural juga digunakan di industri karet untuk memisahkan

7. Konversi senyawa fenolik menjadi bahan-bahan kimia yang berguna

Beberapa produk turunan fenolik yang banyak digunakan adalah *vanillin*, *vanillic acid*, *syringic acid*, *guaiacol*, *ferulic acid*, *4-n-propyl guaiacol*, *eugenol*, *isoeugenol*, *p-coumaryl acid*. Beberapa struktur senyawanya ditunjukkan di Gambar 9. Penggunaan produk-produk turunan tersebut bisa diklasifikasikan untuk pembuatan polimer (*vanillic acid*, *guaiacol*, *4-n-propyl guaiacol*, *eugenol*, *isoeugenol*), obat-obatan (*vanillin*, *p-coumaryl acid*), terapi kesehatan (*syringic acid*, *ferulic acid*), kosmetik (*vanillin*, *ferulic acid*), aditif bahan bakar (*4-n-propyl guaiacol*), zat pewangi (*p-coumaryl acid*) (Martinkova *et al*, 2023)



Gambar 9. Senyawa-senyawa turunan dari fenolik (Karagoz *et al*, 2022)

8. Konversi lignin menjadi benzen, toluen dan xilen (BTX)

Gabungan pirolisis cepat lignin dari fraksionasi organosolv dan hidrodeoksigenasi produk uap dari pirolisis lignin, di mana gas hidrogen digunakan untuk mengusir oksigen dari produk uap, memungkinkan pembuatan aromatik mencapai *yield* sebesar 55% (Saraeian *et al*, 2020). Reaksi pada fraksionasi organosolv dilakukan selama 3 jam dan reaksi hidrodeoksigenasi menggunakan katalis MoO₃ (Saraeian *et al*, 2020). Produk-produk aromatik terdiri dari benzen, toluen dan xilen (BTX). Selama ini

produk-produk BTX dihasilkan dari industri petrokimia yang menggunakan bahan fosil. Karena itu pirolisis biomassa mendorong sintesis produk BTX secara berkelanjutan karena menggunakan bahan baku biomassa. Produk-produk tersebut dapat diproses lebih lanjut untuk menghasilkan produk-produk turunan. Secara ringkas aplikasi benzen, toluen, xilen dan turunannya bisa diklasifikasikan untuk pembuatan polimer (benzen, toluen), obat-obatan (benzen), pelarut (toluen, xilen), zat perekat dan zat penyekat (toluen, xilen), aditif bahan bakar (toluen (Busca, 2021).

9. Proses hidrogenasi dan hidrodeoksigenasi

Dalam bidang pirolisis, penggunaan gas hidrogen (H_2) sangat penting untuk reaksi-reaksi yg melibatkan penjenuhan ikatan rangkap $-C=C-$, hidrogenolisis terhadap senyawa-senyawa yang mengandung ikatan $-C=O$ dan $-C-O$, hidrogenasi senyawa-senyawa yang mengandung ikatan $-C=O$ dan penyusunan posisi oksigen pada senyawa-senyawa yang mengandung ikatan $-C=O$ atau $C-O$ pada produk pirolisis biomassa (He dan Wang, 2013). Pada umumnya tekanan gas H_2 yang diperlukan tinggi (lebih dari 15 bar) untuk memungkinkan pelarutan gas H_2 dalam fasa cair setinggi mungkin, pemecahan gelembung-gelembung gas H_2 dalam fasa cair sebanyak mungkin, dan gas *hold-up* dalam fasa cair sebesar mungkin untuk memperoleh kinetika reaksi yang tinggi (Zhao *et al*, 2016; Jamali *et al*, 2021).

Diperlukan inovasi hidrodinamika pada reaktor-reaktor yang menggunakan gas hidrogen untuk menurunkan tekanan gas H_2 tetapi tetap memperoleh kinetika reaksi-reaksi di atas yang tinggi. Gas hidrogen bersifat eksplosif sehingga penurunan tekanannya dalam reaktor akan mengurangi potensi bahayanya (*hazard potential*). Penulis menawarkan penggunaan *gas self-inducing impeller* pada reaktor hidrogenasi untuk mengatasi tingginya tekanan gas hidrogen yang tinggi (Supramono *et al*, 2022). Teknik ini memungkinkan pemecahan gelembung-gelembung gas H_2 secara intensif dalam reaktan fasa cair. Penggunaan *gas self-inducing impeller* memberi 2 keuntungan: pengurangan tekanan gas H_2 dan rancangan reaktor yang membutuhkan resirkulasi gas internal. Hal ini memberi dampak terhadap pengurangan biaya operasi reaktor dan pengurangan *hazard potential*.

10. Tingkat Kesiapan Teknologi pemanfaatan biomassa

Untuk menilai apakah suatu teknologi siap digunakan secara dalam skala produksi, diperlukan penilaian Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) sebelum dievaluasi dari aspek ekonomi dan lingkungan. Pada pemanfaatan biomassa seperti dijelaskan di atas, diperlukan fraksionasi organosolv terhadap biomassa dan pirolisis cepat katalitik terhadap selulosa dan lignin.

Menurut Sandberg dan Krook-Riekkola (2022), TKT 1 hingga 4 mengindikasikan perkembangan teknologi pada tahap skala laboratorium, TKT 5 pada tahap skala pre-pilot, TKT 6 pada tahap skala pilot, TKT 7 pada tahap skala demonstrasi, TKT 8 pada tahap skala penuh, dan TKT 9 pada tahap skala komersial. Berdasarkan penelitian Brienza *et al* (2022) pada fraksionasi organosolv dan Nitzsche *et al* (2021), mereka berkesimpulan bahwa teknologi ini baru mencapai TKT 3-4 yang berarti bahwa teknologi baru bisa diaplikasikan pada skala laboratorium. Menurut Thoresen *et al* (2020), belum ada pendekatan holistik untuk mencapai skala komersial karena keekonomiannya tergantung dari fraksionasi biomassa, isolasi komponen-komponen biomassa dan daur ulang pelarut yang optimum.

Berkaitan dengan pirolisis cepat katalis, Hurtig *et al* (2022) menilai bahwa teknologi pirolisis cepat katalitik umpan biomassa telah mencapai TKT 8 (skala penuh). Karakteristik bio-oil dari pirolisis tersebut (keasaman tinggi, kadar air tinggi, viskositas tinggi) mempersulit penyimpanan bio-oil dan memprosesnya lebih lanjut. Dalam konteks pemanfaatan biomassa melalui fraksionasi organosolv, yang diperlukan adalah pirolisis cepat katalitik terhadap lignin dan selulosa yang mendekati murni dan relatif mengandung polimer yang lebih homogen. Karena itu usaha untuk mencapai TKT 9 (skala komersial) akan lebih mudah.

Referensi

1. Admojo, L. and Setyawan, B., Potensi pemanfaatan lignoselulosa dari biomassa karet, *Warta Perkaratan* 2018, 37 (1), 39-50
2. Agarwal, A., Rana, M., and Park, J.-H., Advancement in technologies for the depolymerization of lignin, *Fuel Process. Technol.* 181, 115–132, 2018.
3. Brienza, F., van Aelst, K., Devred, F., Magnin, D., Tschulkow, M., Nimmegeers, P., van Passel, S., Sels, B.F., Gerin, P., Debecker, D.P. and Cybulska, I., Unleashing lignin potential through the dithionite-assisted

- organosolv fractionation of lignocellulosic biomass, *Chemical Eng. J.*, vol. 450, Part 3, 15 December 2022, 138179
4. Busca, G., Production of gasolines and monocyclic aromatic hydrocarbons: From fossil raw materials to green processes, *Energies* 2021, 14, 4061.
 5. Chen, W.-H., Farooq, W., Shahbaz, M., Naqvi, S.R., Ali, I., Al-Ansari, T., Amin, N.A.S., Current status of biohydrogen production from lignocellulosic biomass, technical challenges and commercial potential through pyrolysis process, *Energy*, 226 (2021) 120433
 6. Fahmy, T.Y.A., Fahmy, Y., Mobarak, F., El-Sakhawy, M., Abou-Zeid, R.E., Biomass pyrolysis: past, present, and future, *Envir., Dev. & Sust.* (2020) 22:17–32
 7. Fúnez-Núñez, I., García-Sancho, C., Cecilia, J.A., Moreno-Tost, R., Perez-Inestrosa, E., Serrano-Cantador, L., Maireles-Torres, P., Synergistic effect between CaCl_2 and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ for furfural production by dehydration of hemicellulosic carbohydrates, *Appl. Catal., A* 585 (2019), 117188.
 8. Ghysels, S., Ronsse, F., Dickinson, D., Prins, W., Production and characterization of slow pyrolysis biochar from lignin-rich digested stillage from lignocellulosic ethanol production, *Biomass and Bioenergy*, Volume 122, March 2019, Pages 349-360
 9. He, Z., Wang, X., Hydrodeoxygenation of model compounds and catalytic systems for pyrolysis bio-oils upgrading, *Catalysis for Sust. Energy*, 2013, 28–52
 10. Hovart, A., A study of the uncertainty associated with tar measurement and an investigation of tar evolution and composition during the air-blown fluidised bed gasification of torrefied and non-torrefied grassy biomass, Doctorate thesis, University of Limerick, 2016
 11. Hurtig, O., Buffi, M., Scarlat, N., Motola, V., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Joanny, G, Clean energy technology observatory: Advanced biofuels in the European Union – 2022, Status report on technology development, trends, value chains and markets, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022.
 12. Iroegbu, E.O., Sadiku, E.R., Ray, S.S., Hamam, Y., Sustainable chemicals: A brief survey of the furans, *Chemistry Africa*, <https://doi.org/10.1007/s42250-020-00123-w>, 2020

13. Jamali, M., Izadpanah, A.A., Mofarahi, M. Correlation and prediction of solubility of hydrogen in alkenes and its dissolution properties. *Appl. Petrochem. Res.* 2021, 11, 89–98.
14. Jian, Y., Meng, Y. and Li, H., Selectivity control of C-O bond cleavage for catalytic biomass valorization, *Frontiers in Energy Research*, 1 January 2022, Volume 9, | Article 827680
15. Jin-bao, H., Shu-bin, W., Hao, C., Ming, L., Jia-jin, L., Hong, T., Theoretical study of bond dissociation energies for lignin model compounds, *Journal of Fuel Chemistry & Tech*, Volume 43, Issue 4, April 2015
16. Karagoz, P., Khiawjan, S., Marques, M.P.C., Santzouk, S., Bugg, T.D.H., Lye, G.J., Pharmaceutical applications of lignin-derived chemicals and lignin-based materials: linking lignin source and processing with clinical indication, *Biomass Conversion and Biorefinery*, doi.org/10.1007/s13399-023-03745-5, 2022
17. Kawamoto, H., Lignin pyrolysis reactions, *J Wood Sci* (2017) 63:117–132
18. Konga, Q.-S., Lia, X.-L., Xu, H.-J., Fua, Y., Conversion of 5-hydroxymethylfurfural to chemicals: A review of catalytic routes and product applications, *Fuel Processing Technology* 209 (2020) 106528
19. Li, Y., Hu, B., Naqvi, S.R., Zhang, Z.-X., Li, K., Lu, Q., Selective preparation of 5-hydroxymethylfurfural by catalytic fast pyrolysis of cellulose over zirconium-tin mixed metal oxides, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 155 (2021) 105103
20. Lu, J., Wang, M., Zhang, X., Heyden, A. and Wang, F., β -O-4 bond cleavage mechanism for lignin model compounds over Pd catalysts identified by combination of first-principles calculations and experiments, *ACS Catal.* 2016, 6, 8, 5589–5598
21. Lu, X. and Gu, X., A review on lignin pyrolysis: pyrolytic behavior, mechanism, and relevant upgrading for improving process efficiency, *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts* (2022) 15:106
22. Lv, X., Luo, X., Cheng, X., Liu, J., Li, C. and Shuai, L., Production of hydroxymethylfurfural derivatives from furfural derivatives via hydroxymethylation, *Front. Bioeng. Biotechnol.* 10:851668, 2022

23. Machado, G., Leon, S., Santos, F., Lourega, R., Dullius, J., Mollmann, M.E., Eichler, P., Literature review on furfural production from lignocellulosic biomass, *Natural Resources*, 2016, 7, 115-129
24. Margellou, A.G., Lazaridis, P.A., Charisteidis, I.D., Nitsos, C.K., Pappa, C.P., Fotopoulos, A.P., Van den Bosch, S., Sels, B.F., Triantafyllidis, K.S., Catalytic fast pyrolysis of beech wood lignin isolated by different biomass (pre)treatment processes: Organosolv, hydrothermal and enzymatic hydrolysis, *Applied Catalysis A, General* 623 (2021) 118298
25. Martínková, L., Grulich, M., Pátek, M., Krátková, B. and Winkler, M., Bio-based valorization of lignin-derived phenolic compounds: A review, *Biomolecules* 2023, 13, 717.
26. Nitzsche, R., Gröngröft, A., Köchermann, J., Meisel, K., Etzold, H., Verges, M., Leschinsky, M., Bachmann, J., Saake, B., Torkler, S., Patzsch, K., Rößiger, B., Pufky-Heinrich, D., Unkelbach, G., Platform and fine chemicals from woody biomass: demonstration and assessment of a novel biorefinery, *Biomass Conversion and Biorefinery* (2021) 11:2369–2385
27. Nurazzi, N.M., Asyraf, M.R.M., Rayung, M., Norrahim, M.N.F., Shazleen, S.S., Rani, M.S.A., Shafi, A.R., Aisyah, H.A., Radzi, M.H.M., Sabaruddin, F.A., Thermogravimetric analysis properties of cellulosic natural fiber polymer composites: A review on influence of chemical treatments, *Polymers* 2021, 13, 2710.
28. Salvi, B.L., Soni, T., Jindal, S., Panwar, N.L., Design improvement and experimental study on shell and tube condenser for bio-oil recovery from fast pyrolysis of wheat straw biomass, *SN Applied Sciences* (2021) 3:173
29. Sandberg, E., Krook-Riekkola, A., The impact of technology availability on the transition to net-zero industry in Sweden, *Journal of Cleaner Production* 363 (2022) 132594
30. Saraeian, A., Aui, A., Gao, Y., Wright, M.M., Foston, M. and Shanks, B.H., Evaluating lignin valorization via pyrolysis and vapor-phase hydrodeoxygenation for production of aromatics and alkenes, *Green Chem.*, 2020, 22, 2513
31. Sarika, P.R., Nancarrow, P., Khansaheb, A. and Ibrahim, T., Bio-based alternatives to phenol and formaldehyde for the production of resins, *Polymers* 2020, 12, 2237

32. Sato, O., Mimura, N., Masuda, Y., Shirai, M., Yamaguchi, A., Effect of extraction on furfural production by solid acid-catalyzed xylose dehydration in water, *The Journal of Supercritical Fluids* Volume 144, February 2019, Pages 14-18
33. Sproull, R.D., Bienkowski, P.R., Tsao, G.T., Production of furfural from corn stover hemicellulose, *Biotechnol. Bioeng. Symp.* (1985) 561–577.
34. Supramono, D., Yoandi, I., Fauzi, M.R., Moderate hydrogen pressures in the hydrogenation of alkenes using a reactor with hydrogen gas self-inducing impeller, *Processes* 2022, 10(8), 1662
35. Thoma, C., Konnerth, J., Sailer-Kronlachner, W., Solt, P., Rosenau, T. and van Herwijnen, H.W.G., Current situation of the challenging scale-up development of hydroxymethylfurfural production, *ChemSusChem* 10.1002/cssc.202000581, 2020
36. Thoresen, P.P., Matsakas, L., Rova, U., Christakopoulos, P., Recent advances in organosolv fractionation: Towards biomass fractionation technology of the future, *Bioresource Technology* 306 (2020) 123189
37. Vaidya, A.A., Murton, K.D., Smith, D.A., Dedual, G., A review on organosolv pretreatment of softwood with a focus on enzymatic hydrolysis of cellulose, *Biomass Conversion and Biorefinery* (2022) 12:5427–5442
38. van Putten, R.-J., van der Waal, J.C., de Jong, E., Rasrendra, C.B., Heeres, H.J. and de Vries, J.G., Hydroxymethylfurfural, a versatile platform chemical made from renewable resources, *Chem. Rev.* 2013, 113, 1499–1597
39. Vuppaladadiyam, A.K., Vuppaladadiyam, S.S.V., Awasthi, A., Sahoo, A., Rehman, S., Pant, K.K., Murugavelh, S., Huang, Q., Anthony, E., Fennel, P., Bhattacharya, S., Leu, S.-Y., Biomass pyrolysis: A review on recent advancements and green hydrogen production, *Bioresource Technology* 364 (2022) 128087
40. Vyskocil, J. and Kruse, A. (AVA-CO₂, Karlsruhe Institute of Technology), Verfahren zur extraction von furfuralen aus biomasse, DE102011053034A1, 2013
41. Wang, S., Daia, G., Yang, H., Luo, Z., Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 62 (2017), 33-86

42. Wang, S., Zhang, Y., Shan, R., Gu, J., Huhe, T., Ling, X., Yuan, H., Chen, Y., High-yield H₂ production from polypropylene through pyrolysis-catalytic reforming over activated carbon-based nickel catalyst, *Journal of Cleaner Production* 352 (2022) 131566
43. Wijeyekoon S.L.J, Vaidya, A.A., Woody biomass as a potential feedstock for fermentative gaseous biofuel production, *World J Microbiol Biotechnol* 37(8):134, 2021.
44. Ye, L., Han, Y., Wang, X., Lu, X., Qi, X., Yu, H., Recent progress in furfural production from hemicellulose and its derivatives: Conversion mechanism, catalytic system, solvent selection, *Molecular Catalysis* 515 (2021) 111899
45. Yogalakshmi, K.N., Mohamed Usman, T.M., Kavitha, S., Sachdeva, S., Thakur, S., Kumar, S.A. and Banu J.R., Recent advances in biomass fractionation, biorefineries, economic hurdles and market outlook, *Fermentation* 2023, 9, 238.
46. Zhao, L., Boufadel, M., Lee, K., King, T., Loney, N., Geng, X., Evolution of bubble size distribution from gas blowout in shallow water. *J. Geophys. Res. Ocean.* 2016, 121, 1573–1599.
47. Zheng, A., Chen, T., Sun, J., Jiang, L., Wu, J., Zhao, Z., Huang, Z., Zhao, K., Wei, G., He, F. and Li, H., Toward fast pyrolysis-based biorefinery: Selective production of platform chemicals from biomass by organosolv fractionation coupled with fast pyrolysis, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2017, 5, 6507–6516
48. Zhou, N., Wass Thilakarathna, W. P. D., He, Q.S., and Rupasinghe, H.P.V., A Review: Depolymerization of lignin to generate high-value bio-products: Opportunities, challenges, and prospects, *Frontiers in Energy Research*, doi: 10.3389/fenrg.2021.758744
49. Zhu, C., Krumm, C., Facas, G.G., Neurock, M., Dauenhauer, P.J., Energetics of cellulose and cyclodextrin glycosidic bond cleavage. *React. Chem. Eng.* 2017, 2, 201–214

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan yang baik ini, saya mengucapkan syukur kehadiran Allah s.w.t dan mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung saya mencapai jabatan fungsional akademik tertinggi di Universitas Indonesia:

1. Pemerintah Republik Indonesia, melalui Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, Nadiem Anwar Makarim, M.B.A., yang telah menetapkan dan mengangkat saya sebagai Guru Besar di Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
2. Rektor Universitas Indonesia Prof. Ari Kuncoro, SE, MA, PhD, para Wakil Rektor, Sekretaris Universitas, para Direktur, serta Majelis Wali Amanat Universitas Indonesia yang telah mengusulkan pengangkatan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Rektor Universitas Indonesia periode 2014-2019 Prof. Muhammad Anis yang senantiasa memberikan dorongan dan dukungannya di setiap kesempatan.
3. Ketua Dewan Guru Besar Universitas Indonesia Prof. Harkristuti Harkrisnowo dan seluruh Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia, Ketua Tim PAK Universitas Indonesia Prof. Heru Suhartanto dan seluruh anggota Tim PAK Universitas Indonesia yang telah mengusulkan hingga menyetujui pengukuhan saya pada hari ini dan telah menerima saya dalam lingkungan akademik yang terhormat ini.
4. Prof. Dr.-Ing. Amalia Suzianti, ST, MSc Direktur Sumber Daya Manusia Universitas Indonesia dan seluruh kasubdit, kepala seksi serta staff di Direktorat Sumber Daya Manusia Universitas Indonesia, atas kesabaran dan ketangguhan timnya dalam membantu pengusulan guru besar kami dengan Sistem Baru di Dikti.
5. Ketua dan Sekretaris Senat Akademik Universitas Indonesia Prof. Nachrowi Djalal Nachrowi dan Prof. Yudho Giri Sucahyo, S.Kom., M.Kom., Ph.D serta seluruh anggota Senat Akademik Universitas Indonesia yang telah menyetujui dan merekomendasikan saya untuk menjadi Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
6. Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia Periode 2022-2026 Prof. Dr. Heri Hermansyah, MEng, Wakil Dekan Bidang Pendidikan, Penelitian dan Kemahasiswaan Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng., M.Sc dan Wakil Dekan

Bidang Sumber Daya, Ventura dan Administrasi Umum Prof. Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., Ph.D. yang tak bosan-bosannya mendorong dan membantu pemenuhan persyaratan kami untuk memenuhi prasyarat menjadi Guru Besar di Tingkat Dikti sehingga pengukuhan guru besar ini dapat terlaksana.

7. Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia Periode 2017-2021, Dr. Hendri D.S. Budiono, Wakil Dekan Bidang Pendidikan Prof. Dr. Muhammad Asvial dan Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura, dan Administrasi Umum Prof. Nandy Putra, Manajer SDM serta Administrasi Umum FTUI, Jos Istiyanto, PhD dan tim, yang memulai secara rutin melakukan monitoring dan evaluasi dosen- dosen yang memiliki potensi dari Lektor Kepala menjadi Guru Besar.
8. Manajer Sumber Daya Manusia dan Fasilitas FTUI, Dr. Ajib Setyo Arifin, S.T., M.T., Mbak Amida, Mbak Tikka dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknik UI khususnya bidang SDM yang dengan sabar, tabah dan telaten dalam membantu proses pengusulan guru besar saya hingga tahap saya berdiri di mimbar kehormatan pada hari ini.
9. Ketua Dewan Guru Besar FTUI Prof. Ir. Yulianto Sulistyio Nugroho, M.Sc., Ph.D dan seluruh anggota Dewan Guru Besar FTUI, yang telah menyetujui, mendukung dan memproses lebih lanjut pengusulan guru besar saya.
10. Ketua Senat Akademik FTUI Prof. Kemas Ridwan Kurniawan, ST., M.Sc., Ph.D serta seluruh anggota Senat Akademik FTUI Periode 2019-2024, yang telah mendukung dan menyetujui proses Guru Besar hingga bisa lolos di tingkat selanjutnya.
11. Tim reviewer usulan guru besar saya, Prof. Kamarza Mulia, PhD. dan Prof. Sutrasno Kartohardjono, PhD. dari Departemen Teknik Kimia FTUI, serta Prof. Dr.Eng. Ir. Arief Budiman, MS., IPU. dari Departemen Teknik Kimia Universitas Gajah Mada, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk mereview karya-karya ilmiah saya.
12. Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI Dr. Bambang Heru Susanto, S.T., M.T dan Sekretaris Departemen Teknik Kimia Dr. Dianursanti, ST. MT yang selalu mendorong dan membantu keperluan kelanjutan proses pengusulan hingga pengukuhan guru besar hari ini.

13. Seluruh dosen di Grup Riset Teknologi Energi Berkelanjutan Departemen Teknik Kimia FTUI: Prof. Widodo Wahyu Purwanto, Prof. Mahmud Sudibandriyo, Prof. Asep Handaya Saputra, Prof. Dijan Supramono, Caprof. Abdul Wahid, Caprof. Andy Noorsaman Sommeng, Riezqa Andika PhD, Rahma Muthia PhD, Habiburrahman Ph.D., Doctor Candidate Cindy Dianita, ST. MEng, Doctor Candidate Ahmad Syauqi, ST. M.T, yang telah menginisiasi usulan guru besar saya ini.
14. Seluruh Guru Besar di lingkungan Departemen Teknik Kimia FTUI: Prof. Roekmijati, Prof. Nasikin, Prof. Widodo, Prof. Bismo, Prof. Slamet, Prof. Sutrasno, Prof. Nelson, Prof Misri, Prof. Mahmud, Prof. Heri H, Prof. Asep, Prof. Kamarza yang selalu mendorong saya untuk segera menjadi guru besar.
15. Seluruh dosen di lingkungan Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah bekerjasama, baik dalam pengajaran, penelitian dan juga pengabdian masyarakat sehingga semua karya tersebut menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam proses pengajuan Guru Besar saya. Terima kasih untuk perhatian, kebaikan, dan persaudaraannya yang menjadikan suasana akademik kondusif untuk melaksanakan tridharma perguruan tinggi.
16. Ibu-ibu dosen tangguh yang pantang mundur dan menyerah serta baik hati, Bu RW Afiat (almh), Bu Roekmijati W.S., Bu Atastina Sri Basuki, dan Bu Tilani yang mengembangkan Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia saat kami mulai berkarir sebagai dosen muda.
17. Selamat dan semoga dilancarkan proses pengukuhanannya untuk kolegaku Prof. Dr. Andy Noorsaman Sommeng. Semoga dilancarkan proses guru besarnya kepada Dr. Abdul Wahid dan Dr. Rer-nat. Yuswan Muharam.
18. Seluruh tenaga kependidikan di lingkungan Departemen Teknik Kimia FTUI, Deva Alifah dan Dinny Ratnasari yang dengan sangat sabar telah membantu melengkapi berbagai dokumen pengajuan guru besar saya. Mbak Ita Repelita, Hagi Fikinera, Novi Widya, Reni Warni, Dini Kista Rianti, Masturo, Fadly Syahril Pasha, Eko Anjang, Ikhwanul Muslimin, Taufik Ahmad, Wanizal, Jajat Sudrajat, Albi Wiladatika, Mugni, Sriyono serta Rinan dan Yoga yang selalu siap sedia membantu aktivitas penelitian di laboratorium, hal-hal teknis dan non-teknis serta administrasi pendidikan dan laboratorium.

19. Tim Unit Pelayanan Masyarakat (UPPM) Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia sebagai unit ventura dibawah koordinasi DTK-FTUI dengan Direktur Riezqa Andika, S.T. yang telah memberi kesempatan penggunaan fasilitas uji lab selama melakukan penelitian.
20. Pimpinan DRPM UI beserta jajarannya atas segala bantuan yang diberikan khususnya dalam melaksanakan program-program penelitian yang pendanaannya berasal dari Universitas Indonesia maupun dari DIKTI.
21. Isteri tercinta, Ria Irianti, yang dengan kesabaran dan keikhlasan mendukung seluruh proses menuju pengusulan hingga pengukuhan guru besar hari ini. Juga kepada anak-anakku, Azam dan Nisa, yang selalu mendukung usaha ayahnya.
22. Terima kasih tak terhingga atas kasih sayang dan bimbingan yang diberikan dan doa dari hati yang paling dalam bagi kedua orang tua saya.

Wabillahi taufiq wal hidayah,

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Riwayat Hidup



Nama Lengkap : Prof. Dr. Ir. Dijan Supramono, MSc
NIP/NUP : 195812081988111001
Pangkat/Golongan : Pembina Tingkat I / IVb
Jabatan : Guru besar
Tempat/Tanggal lahir : Malang, 8 Desember 1958
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Nama Istri/Suami : Dra(Ak.) Ria Irianti, MM.
Nama Anak : Bestari Azam Malik, STP.
Fauzia Khairunnisa, ST.

Pendidikan Formal:

Tahun	Keterangan
1978-1984	S1 Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung
1989-1991	S2 Chemical Engineering, University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST)
2016-2019	S3 Teknik Kimia, Universitas Indonesia

Pendidikan Non Formal:

Tahun	Keterangan
1994	Utility and industry energy conservation, IIE/USAID Training Program, Washington, USA
1996	Energy efficiency in industry, USAID Training Program, Jakarta
2002	Industry induction course on low rank coal utilization, Cooperative Research Centre for Clean Power from Lignite, Melbourne, Australia

2022	Massive Open Online Courses (MOOCs), Universitas Indonesia
------	--

Buku:

Tahun	Keterangan
2004	Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004, Pengkajian Energi, Univewristas Indonesia
2006	Indonesia Energy Outlook and Statistics 2006, Pengkajian Energi, Univewristas Indonesia

Riwayat Pekerjaan:

Tahun	Keterangan
1988 - sekarang	Staf pengajar Jurusan Teknik Gas dan Petrokimia/Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia (TGP/TK-FTUI)

Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat dan Penunjang:

Tahun	Keterangan
2016-2018	Pemanfaatan Panas Geothermal untuk Pertanian dan Industri, Geocap Belanda – Bappenas RI
2019-2020	Ketua Tim Assessment of Asean University Network untuk Departemen Teknik Kimia UI
2020	Anggota Tim Kajian Kebutuhan Jenis BBM Tertentu untuk Konsumen Pengguna Transportasi, BPH Migas
2021	Anggota Tim Kajian Pengaturan Penyalur Penugasan JBT dan JBKP di Seluruh Wilayah 3T: Studi Kasus Pulau Kalimantan, BPH Migas

Karya Ilmiah (2015 – 2022)

Tahun	Keterangan
2015	Catalytic Effect of K_2CO_3 in Steam Gasification of Lignite Char on Mole Ratio of H_2/CO in Syngas (Dewi Tristantini, Dijan Supramono, Ricky Kristanda Suwignyo), <i>International Journal of Technology</i> (2015) 1: 22-30
2015	Effect of Heating Rate of Torrefaction of Sugarcane Bagasse on its Physical Characteristics (Dijan Supramono, Yosephine Merry Devina, Dewi Tristantini), <i>International Journal of Technology</i> (2015) 5: 327-336
2015	Effect of Biomass Types on Bio-oil Characteristics in a Catalytic Fast Pyrolysis Process with a Ni/ZSM-5 Catalyst, (Widodo Wahyu Purwanto, Dijan Supramono, Rahma Muthia, Muhammad Fakri Firdaus.), <i>International Journal of Technology</i> , 6(7):1069, 2015
2016	Yield and Composition of Bio-oil from Co-Pyrolysis of Corn Cobs and Plastic Waste of HDPE in a Fixed Bed Reactor, (Dijan Supramono, Eny Kusriani and Haisa Yuana), <i>Journal of the Japan Institute of Energy</i> , 95, 621-628, 2016.
2016	Improving bio-oil quality through co-pyrolysis of corn cobs and polypropylene in a stirred tank reactor, (Dijan Supramono, Jonathan, Haqqyana, Setiadi, Mohammad Nasikin), <i>International Journal of Technology</i> , 8: 1381-1391, 2016.
2016	Pemanfaatan jet column dengan non-circular nozzles sebagai reactor untuk reaksi transesterifikasi CPO alam untuk pembuatan bio-diesel, (Dijan Supramono, Uswatun Nur Khazanah, Agum Gumelar Soinandi), <i>Seminar Nasional AVOER 8 (8th Applicable Innovation of Engineering and Science Researches)</i> , 19-20 Oktober 2016 Palembang, Indonesia
2017	Phase separation of bio-oil produced by co-pyrolysis of corn cobs and polypropylene, (D Supramono, Julianto, Haqqyana, Setiadi and M Nasikin), <i>2nd International Conference on New Energy and Future Energy Systems (NEFES)</i> , 22-25 September 2017, Yunnan, China. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 93 (2017) 012072
2017	Effect of feed composition of co-pyrolysis of corncobs–polypropylene plastic on mass interaction between biomass particles and plastics, (Supramono, M A Nabil, Setiadi and M

	Nasikin), 2nd International Tropical Renewable Energy Conference (i-TREC) 2017, Bali, Indonesia, 3-4 October 2017. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 105 012049
2018	Improving the quality of pyrolysis oil from Co-firing highdensity polyethylene plastic waste and palm empty fruit bunches (Kusrini, E., Supramono, D., Degirmenci, V., Pranata, S., Bawono, A.A., Ani, F.N.), International Journal of Technology Volume 9, Issue 7, 1 December 2018, Pages 1498-1508
2018	Hydrogenation of non-polar Fraction of Bio-oil from Co-pyrolysis of Corn Cobs and Polypropylene for Bio-diesel Production, (Dijan Supramono, Justin Edgar, Setiadi, and Mohammad Nasikin), 3rd International Tropical Renewable Energy Conference, 6-8 September 2018, Bali, Indonesia. E3S Web of Conferences 67, 02030 (2018)
2019	Synthesis of Activated Carbon Using Mixed Vacuum Residue and Castor Oil, (Dijan Supramono and Arif Hendrawan), 10th International Meeting on Advances in Thermofluids, 16-17 November 2018, Bali, Indonesia. AIP Conference Proceedings 2062, 020052 (2019).
2019	Utilization of Bio-oil from Corncob Pyrolysis for Aromatic Extraction in Raw Lubricant Oil, (Dijan Supramono and Fadhila Ahmad Anindria), 10th International Meeting on Advances in Thermofluids, 16-17 November 2018, Bali, Indonesia. AIP Conference Proceedings 2062, 020047 (2019);
2019	Polymerization of Deasphalted Vacuum Residue Mixed with Gum Rosin for Mesophase Pitch Production, (Dijan Supramono and Aegerin Hafiz Sucipto), 10th International Meeting on Advances in Thermofluids, 16-17 November 2018, Bali, Indonesia. AIP Conference Proceedings 2062, 020050 (2019).
2019	Characteristics of non-polar bio-oil produced by co-pyrolysis of corn cobs and polypropylene using CO ₂ as carrier gas (Dijan Supramono dan Justin Edgar), Evergreen 6(1), pp. 78-84 (2019)
2019	Effect of polypropylene plastic waste as co-feeding for production of pyrolysis oil from palm empty fruit bunches, (Eny Kusrini, Dijan Supramono, Muhammad Idrus Alhamid, Saeful Pranata, Lee D. Wilson , Anwar Usman), Evergreen 6(1), pp. 92-97 (2019)

2019	Effect of carrier gas flow rate on bio-oil yield and composition in corn cobs and polypropylene plastic slow co-pyrolysis (Supramono, D., Lana, E.H., Setiadi, Nasikin, M), Evergreen Volume 6, Issue 2, June 2019, pages 47-54
2020	Synergistic effect on the non-oxygenated fraction of bio-oil in thermal co-pyrolysis of biomass and polypropylene at low heating rate (Supramono, D, Sitorus, A.F., Nasikin, M), Processes Volume 8, Issue 1, 1 January 2020, Article number 57
2020	Activated Carbon Production Through Co-Pyrolysis of Vacuum Residue and Dehydrated Castor Oil, (Fachri Munadi and Dijan Supramono), Materials Science Forum, Vol. 988, pp 73-79. 2020
2020	Activated Carbon Production by Co-Pyrolysis of Vacuum Residue and Gum Rosin, (Anisa Maulida, Dijan Supramono), Materials Science Forum, Vol. 988, pp 137-143, 2020
2020	Influence of Natural and H-Beta Zeolites on Yield and Composition of Non-Polar Fraction of Bio-Oil in Slow Co-Pyrolysis of Biomass and Polypropylene, (Dijan Supramono and Syarifa Deani Tiaradiba), Key Engineering Materials, Vol. 849, pp 34-39, 2020
2020	Formation of non-oxygenated phase of bio-oil produced by copyrolysis of corn cobs and polypropylene plastic using zeolite catalysts at low heating rate, (Dijan Supramono, Aisyah Fadhlillah, Mohammad Nasikin), International Conference of Biomass and Bioenergy, 19-20 Agustus 2019, Bogor, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 460, 012021, 2020
2021	Co-pyrolysis of crude palm oil and polypropylene in a stirred tank reactor to produce non-oxygenated bio-oil, (Dijan Supramono, Eliana Stefani, Amanda Pramesti Dewi), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 749, 2021, 012052
2021	Effect of Impeller Rotational Speed on Biofuel Characteristics in Non-Oxygenated Bio-oil Hydrogenation Reaction using Gas Self-Inducing Impeller, (Dijan Supramono and Nazrul Rahman), AIP Conference Proceedings 2376, 030005, 2021
2021	Economic Potential of the Manufacture of Acrolein and Propylene Glycol from Glycerol, (Dijan Supramono, Ja'far

	Abuabdillah Ashshiddiq), AIP Conference Proceedings, 2376, 030005, 2021
2022	Effect of heating rate on oil yield and composition in co-pyrolysis of polypropylene and triglycerides from refined palm oil using $ZrO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_2$ catalyst (D Supramono, F R Ramadhan1, J A Ashshiddiq), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1074 (2022) 012030
2022	Moderate hydrogen pressures in the hydrogenation of alkenes using a reactor with hydrogen gas self-inducing impeller, (Dijan Supramono, Ivan Yoandi, Muhammad Reza Fauzi), Processes 2022, 10(8), 1662