



## Kajian Proses Pengolahan Limbah Bambu Apus (*Gigantochloa Apus*) dengan Menggunakan Metode Hydrothermal Liquefaction

Rizka Lestari, Ahmad T. Yuliansyah, Agus Prasetya, Hary Sulistyono

Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika no.2, Yogyakarta, 55281

\*E-mail: [rizkalestari@gmail.com](mailto:rizkalestari@gmail.com) , [atawfieq@ugm.ac.id](mailto:atawfieq@ugm.ac.id) , [aguspras@ugm.ac.id](mailto:aguspras@ugm.ac.id) , [hary@ugm.ac.id](mailto:hary@ugm.ac.id)

### Abstract

*Bamboo has received huge attention because it grows fast and has fine mechanical properties. Hydrothermal liquefaction (HTL) is one of the methods devoted to the degradation of cellulose, hemicellulose, lignin and other components contained in bamboo. This Method applies thermal disintegration of biomass in high-pressure hot water. HTL involves direct liquefaction of biomass, in the presence of water acts as reactant as well as catalyst to convert biomass into bio-oil. Employing hydrothermal liquefaction processing of biomass provide sustainable production of bioproducts that reduce some environmental problem caused by the accumulation of organic waste. In this research bamboo was treated in autoclave reactor with capacity 250 ml. The temperature of the reaction was 240°C at initial pressure was 1,0 MPa, and with the residence time about 30 minutes. Water to biomass ratio was at 2:20. GC-MS analysis results showed that several potential compounds were obtained such as dimethylformamide (for production of acrylic fiber and plastic), furfural and furan (for production of pesticides or biofuel), phenol and some organics acid (for wood preservatives).*

**Keywords:** Hydrothermal liquefaction, high-pressure hot water, bamboo apus, bio-oil

### Pendahuluan

Bambu merupakan salah satu hasil perkebunan yang tumbuh hampir disetiap wilayah Indonesia. Potensi luas hutan bambu di Indonesia mencapai 2 juta ha dengan hasil lebih dari 3,8 ton/ha/tahun. Potensi luas hutan bambu di Daerah Istimewa Yogyakarta sebesar 3.870 ha. Bambu itu sendiri merupakan salah satu tanaman yang tumbuh hanya dengan kurun waktu 3-5 tahun dan sudah dapat dipanen. Pemanfaatan bambu saat ini sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Bambu biasa dimanfaatkan sebagai mebel dan berbagai kerajinan. Namun didalam rendemen produksi bambu yang digunakan untuk mebel dan kerajinan sekitar 60% bambu digunakan hingga menjadi produk dan 40% menjadi limbah. Pemanfaatan limbah bambu ini masih belum mendapat perhatian lebih. Limbah berupa sayatan bambu sering digunakan pedagang kaki lima untuk sebagai tambahan pelengkap untuk menghemat penggunaan arang. Namun pemanfaatan seperti itu juga belum cukup untuk mengatasi limbah bambu yang jumlahnya semakin meningkat. Sering kali limbah bambu berupa sayatan, potongan atau serbuk yang dibiarkan menumpuk dan hanya menambah asam organik yang ada di tanah. Sehingga sifatnya dalam jangka waktu tertentu akan merusak struktur tanah yang ditumpuki limbah bambu. Atau alternatif lain untuk mengatasi limbah bambu biasanya hanya dibakar. Sehingga menimbulkan gas CO<sub>2</sub> yang berlebihan dan akan berakibat mencemari daerah setempat, masalah penyakit pernafasan warga sekitar yang terpapar serta penipisan lapisan ozon (*Global warming*). Belum banyak masyarakat yang mengetahui bahwa terdapat beberapa komponen senyawa berharga didalam bambu yang dapat dimanfaatkan untuk menaikkan nilai ekonomi dari limbah bambu yang terbuang.

Untuk produksi berkelanjutan, bahan kimia yang berbahan dasar biomassa merupakan hal yang sangat menarik. Selain karena bahan baku bersifat terbarukan, produksi ini juga berpotensi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di udara. Sehingga dapat meminimalisir kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh penumpukan sampah biomassa. Salah satu cara penerapan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara *Hydrothermal Liquefaction (HTL)*. HTL adalah salah satu teknologi yang menjanjikan diantara rute termokimia yang lain untuk mengkonversi limbah biomassa untuk menjadi produk yang bernilai tinggi melalui proses reaksi kimia-fisika yang kompleks. Proses HTL berlangsung dalam rentang suhu 200°C hingga 350°C dengan tekanan diatas 1 atm. Hal tersebut bertujuan untuk mempertahankan keadaan air tetap berada didalam fasa cair (Indrawan, 2012).

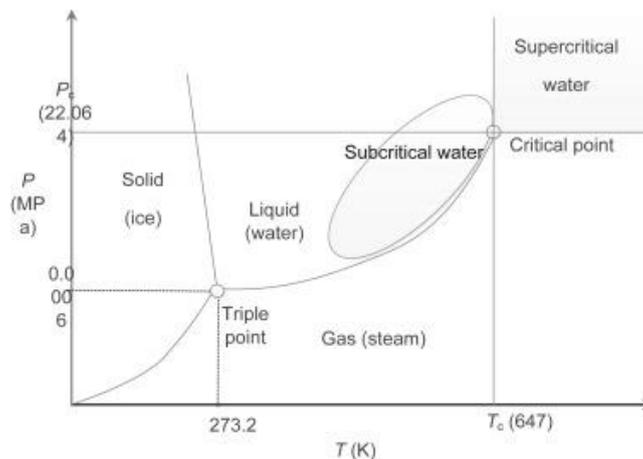
### Dasar-dasar Hydrothermal Liquefaction (HTL)

*Hydrothermal Liquefaction (HTL)* biasa juga disebut sebagai *hydrous pyrolysis*. HTL meniru proses geologi alam dalam memproduksi bahan bakar fosil. HTL adalah salah satu proses dari istilah umum *thermochemical conversion* yang meliputi gasifikasi, HTL dan pirolisis. Baik gasifikasi maupun pirolisis memerlukan biomassa kering sebagai bahan baku dan prosesnya yang memerlukan suhu tinggi yaitu lebih dari 600°C. Sedangkan HTL,



melibatkan pencairan langsung biomassa tanpa perlu tahapan pengeringan bahan baku diawal dan juga suhu reaksi kurang dari 400°C (Zhang, 2010).

HTL adalah proses termokimia yang memanfaatkan media air sebagai pelarut dan reaktan terutama untuk disintegrasi kimia dari makrostruktur biomassa itu sendiri. Disintegrasi kimia dari struktur makro menuntut pengulangan energy aktivasi berbagai ikatan kimia biomassa yang melibatkan pengolahan pada suhu tinggi. Untuk secara substansial mencairkan biomassa kedalam air, proses yang digunakan harus mendekati kondisi air pada *supercritical-point*. Pada kondisi ini sifat air berubah secara signifikan, dan dapat mempengaruhi jalur reaksi kimia. Diatas titik kritis, air berada dalam fase homogen dimana densitas air bisa jadi berbeda. Seperti transisi dari gas ke cairan namun tetap dalam fase yang sama. Dalam transisi dari kondisi subkonduktivitas ini, sifat air berubah drastis dan membuka peluang untuk menyesuaikan sifat sesuai reaksi yang diinginkan selama konversi biomassa (Pedersen, 2016).



Gambar 1. Diagram Fasa Air (Hrcic,2006)

Dalam proses hydrothermal, biomassa diubah menjadi produk padat yang disebut bio-char dan produk cair yang disebut dengan bio-oil. Biomassa dapat dikonversi menjadi produk sesuai dengan apa yang ditargetkan dengan cara mengubah variabel proses seperti suhu reaksi, waktu reaksi, dan tekanan didalam reaktor. *Bio-oil* adalah cairan organik yang bersifat *hydrophobic* dengan kandungan oksigen yang sedikit dan kepadatan energi yang tinggi. *Bio-oil* mengandung banyak senyawa berharga yang dapat dikonversikan menjadi bahan kimia dengan nilai tinggi atau dapat juga dikonversi lagi menjadi *biofuel* tergantung pada sifat bahan baku dan kondisi percobaan. Produk cair ini bisa diubah menjadi bahan bakar berkualitas tinggi, seperti diesel dan bensin. Karena hidrokarbon dengan kandungan oksigen yang tinggi memiliki energi lebih rendah, titik lebur lebih tinggi, titik didih yang lebih tinggi dan viskositas yang lebih tinggi daripada hidrokarbon dengan berat molekul yang sama. Kandungan oksigen pada *bio-oil* dapat dikurangi dengan reaksi dekarboksilasi dan hidrodoksigenasi untuk meningkatkan kualitas bahan bakar (Tekin,2014). Hal ini juga memungkinkan untuk mendapatkan bahan kimia berharga dari minyak nabati dengan berbagai metode pemurnian dan pemisahan.

## Metode Penelitian

### Bahan baku

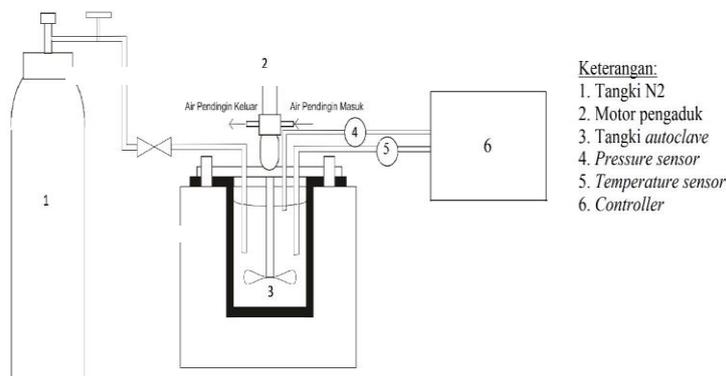
Bahan baku yang digunakan adalah bambu jenis apus yang didapatkan dari beberapa pengrajin mebel yang ada di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Bambu yang didapat masih berupa sayatan dan potongan. Sebelum direaksikan bambu dihancurkan menggunakan *grinder*, dan kemudian diayak menggunakan ayakan *tyler* dengan ukuran -32+48 mesh. Komposisi dari bahan baku dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Data Karakteristik Serbuk Bambu (*Proximate Analysis*)

No	Analisis Proksimat		Analisis Komposisi	
	Parameter	wt, % Dry basis	Parameter	wt, % Dry basis
1	Kadar Air	10,24	Hemiselulosa	6,47
2	<i>Volatile Meter</i>	65,95	Selulosa	45,87
3	<i>Fixed Carbon</i>	21,15	Lignin	32,14
4	<i>Ash</i>	1,93	Lain-lain	15,52

### Prosedur Penelitian

Percobaan dilakukan dalam reaktor *autoclave* tipe *batch* 250 ml yang dilengkapi dengan pengaduk dan pengatur suhu otomatis. Sebanyak 15 gr limbah bambu yang sudah berbentuk serbuk dan 150 ml aquadest dimasukkan ke dalam reaktor. Sehingga didapatkan umpan reaktor berupa campuran biomassa-air. Kemudian reaktor ditutup hingga benar-benar rapat. Reaktor dialiri gas  $N_2$  yang digunakan membuang udara dari reaktor dan untuk mengatur tekanan internal awal pada 10 bar. Rangkaian reaktor hidrotermal dapat dilihat pada gambar 2. Suhu target  $240^\circ C$  yang disesuaikan secara otomatis. Setelah suhu target tercapai, sampel didiamkan selama 30 menit lagi sebelum *autoclave* didinginkan hingga mencapai suhu ruangan. Grafik suhu dan tekanan dapat dilihat pada grafik 1



**Gambar 2.** Rangkaian Alat *Hydrothermal*

Setelah pendinginan, produk cair kemudian di saring menggunakan kertas saring dan corong *buchner* yang dilengkapi dengan alat vacuum yang dimaksudkan akan lebih maksimal untuk memisahkan produk cair dan produk padat.

### Analisis

Identifikasi senyawa kimia yang terkandung dalam produk cair hidrotermal serbuk bambu dilakukan dengan instrument *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS). Analisis dilakukan di laboratorium Analisis dengan Instrumentasi (ANINS) Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

### Hasil dan Pembahasan

*Hydrothermal treatment* menyebabkan degradasi bahan baku yang disebabkan oleh suhu tinggi. Ikatan fisika dan kimia pada bahan baku di pecah, sehingga beberapa ikatan rantai panjang seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin terputus menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana (Yuliansyah dkk,2010). *Hydrothermal liquefaction* (HTL) merupakan cara yang dianggap paling tepat untuk mendapatkan hasil cair yang dapat dikonversi menjadi bio-fuels atau senyawa kimia lain yang dapat dimanfaatkan serta bernilai tinggi. Produk cair dari HTL disebut sebagai bio-oil. Tujuan dari *hydrothermal liquefaction* adalah untuk menaikkan nilai energy yang didapat dari hasil produk.

### Peran air dalam *Hydrothermal Liquefaction* (HTL)

Air memainkan peran penting pada proses HTL. Pada kondisi standar ( $20^\circ C$  dan 101,325 kPa) air tidak mungkin dapat bereaksi dengan molekul organik. Namun ketika suhu air meningkat, dua sifat molekul air berubah secara substansial. Yang pertama, konstanta dielektrik air menurun dengan cepat saat suhu meningkat. Energi yang meningkat menjadikan elektron pada atom oksigen dan hidrogen pada molekul air tersebar secara merata sehingga

elektronegativitas atom oksigen cenderung berkurang. Hal ini mengakibatkan sifat air yang semula polar menjadi relatif non-polar. Sifat air yang kedua yaitu, disosiasi air meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Pada reaksi molekul air terhidrolisis hingga menjadi  $H^+$  dan  $OH^-$ . Proses ini bersifat reversible dengan kecepatan reaksi yang tinggi, sehingga dapat dianggap seimbang setiap saat. Konstanta keseimbangan yang dipengaruhi oleh perubahan suhu dapat dituliskan melalui persamaan Arrhenius, yaitu : (Benjamin, 2002)

$$\frac{K_{w1}}{K_{w2}} = \exp \left[ \frac{\Delta E_{Ar}}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$$

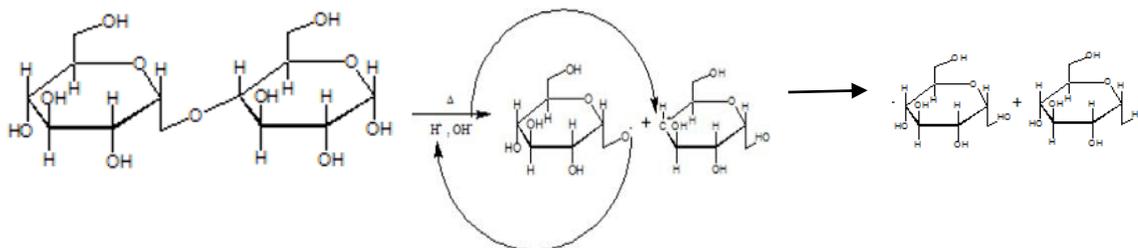
Dimana  $K_{w1}$  dan  $K_{w2}$  adalah konstanta keseimbangan pada suhu  $T_1$  dan  $T_2$ .  $\Delta E_{Ar}$  adalah perubahan keseluruhan didalam kandungan panas dari molekul air pada keseluruhan reaksi atau yang biasa disebut sebagai reaksi entalpi molar;  $R$  adalah konstanta gas; dan  $T$  adalah *temperature absolute*.  $\Delta E_{Ar}$  adalah konstanta empiris terhadap reaksi tertentu dalam satuan energi per mol.

#### Mekanisme pemutusan senyawa penyusun biomassa

Biomassa adalah campuran heterogen dari zat organik dan sejumlah kecil zat anorganik. Komponen utama penyusun biomassa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Berdasarkan hasil analisis awal pada bahan baku, selulosa merupakan komponen yang paling dominan. Serbuk bambu mengandung selulosa sebesar 45,87 % ,diikuti dengan lignin yaitu 32,14 % dan hemiselulosa yaitu 6,47 % . Analisis lignoselulosa dilakukan untuk melihat kemungkinan biomassa untuk di reaksikan pada proses HTL.

Pemutusan ikatan senyawa lignin melibatkan 3 mekanisme, yaitu depolimerisasi, demetilasi dan demetoksilasi. Dari ketiga mekanisme tersebut, ikatan rantai panjang senyawa lignin diputus menjadi monomer yang lebih sederhana. beberapa turunan senyawa lignin yang didapat dari hasil yaitu beberapa senyawa phenolat. Untuk hasil senyawa sederhana dapat dilihat pada table 2.

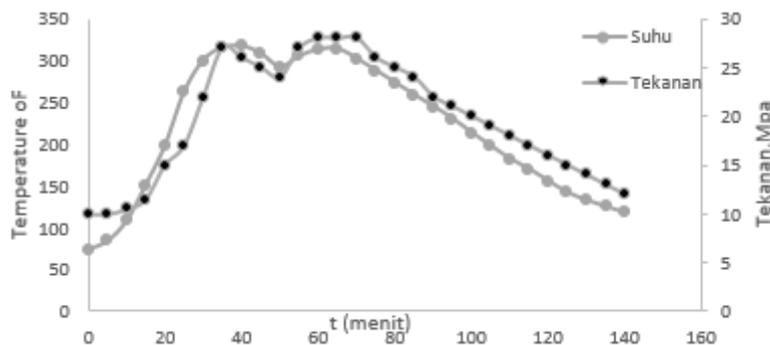
Reaksi utama pada proses *hydrothermal treatment* adalah hidrolisis. Hidrolisis adalah salah satu reaksi dekomposisi material organik yang melibatkan pemecahan oleh air. Reaksi ini muncul pada *range* suhu 150 – 250°C ketika terjadi autokatalis yang disebabkan produk reaksi *hydrothermal* yang bersifat asam. (Chornet 1985; Behrendt,2008). Proses penguraian selulosa menjadi monomer yang lebih sederhana melibatkan suhu pada kondisi subkritik. Hal ini dapat mempercepat proses penguraian selulosa, dikarenakan energi kinetik dalam sistem meningkat sehingga tumbukan antara air dan selulosa meningkat yang mengakibatkan proses penguraian selulosa menjadi lebih cepat.



Gambar 3. Reaksi Hidrolisis dari selulosa

#### Produk Cair

HTL berjalan dengan diawali dengan tekanan didalam reaktor yaitu 10 Mpa. Pengaturan tekanan dapat diatur dengan cara mengisi reaktor *autoclave* menggunakan gas  $N_2$  yang bersifat inert, sehingga tidak khawatir akan timbulnya reaksi samping. Butuh waktu sekitar 30 menit untuk mencapai suhu yang diinginkan yaitu 240°C. Suhu dan tekanan berbanding lurus. Semakin meningkat suhu maka tekanan reaktor juga semakin meningkat. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3. Tekanan tertinggi pada suhu 240°C yaitu 28 Mpa.  *Holding time* dipilih 30 menit setelah mencapai suhu target, dikarenakan terdapat penelitian sebelumnya yang menggunakan variasi  *holding time*. Dan didapatkan waktu optimum yaitu 30 menit. Didalam proses *hydrothermal*, material terdegradasi yang terdapat pada produk cair dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 4. Profil Suhu dan Tekanan

Tabel 2. Senyawa cairan pada hasil GC-MS

Peak	Retention time (min)	Compounds	%area
3	2.514	N-dimethyl formamide	13,095
4	3.194	Furfural	15.900
5	8.926	2-methoxy phenol	0.252
6	12.778	5 hydroxymethyl, 2-furancarboxyaldehyd	0.227
7	16.009	2,6 dimethoxy phenol	0.229

Tabel 2 mencantumkan beberapa senyawa utama dengan persen area terbesar dari hasil analisis menggunakan GC-MS kromatogram. Hasil analisis menunjukkan bahwa *dimethyl formamide* (DMF) dan furfural adalah dua komposisi organik yang dominan diperoleh dari suhu reaksi 240°C. Diikuti oleh beberapa senyawa phenolat seperti 2-methoxy phenol dan 2,6 dimethoxy phenol. Asam-asam organik dengan persentase area kecil juga banyak didapatkan dari hasil analisis. Asam-asam organik dan senyawa phenolat dapat dimanfaatkan sebagai disinfektan ataupun pengawet organik (pengawet kayu). Sementara untuk senyawa furfural dapat digunakan sebagai pestisida, dan dengan proses lanjutan dapat dikonversikan menjadi bio-fuel. Namun masih dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai penggunaan masing-masing senyawa.

### Kesimpulan

Setelah proses terdapat beberapa senyawa potensial yang didapat dari produk cair. Beberapa senyawa asam-asam organic, senyawa phenolat dan senyawa furfural. Dengan kondisi limbah sekitar yang lembab atau bahkan basah, *hydrothermal* merupakan rute yang sangat menjanjikan. Limbah dengan tingkat kelembapan yang tinggi pun dapat diolah, untuk pemanfaatan selanjutnya tanpa merusak atau menghambat jalannya reaksi. Produk padatan dari *hydrothermal* atau yang biasa disebut dengan *biochar* juga dapat dimanfaatkan sebagai bio-fuel. Namun masih dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai produk padat dari proses ini.

### Daftar Pustaka

- Benjamin, M., 2002, Water Chemistry, 1st edition. New York: McGraw Hill.
- Behrendt, F., Neubauer, Y., Oevermann, M., Wilmes, BB, and Zobel, N, 2008, Direct Liquefaction of Biomass, Chemical Engineering & Technology, vol. 31, no. 5.
- Chornet, E., Abatzoglou, N., Belkacemi, K., and Overend, R.P, 1985, Phenomenological Kinetics of Complex System: The Development of generalized severity parameter and its application of lignocellulosics fractionation Chemical Engineering Science
- Hrcic, M., Kravanja, G., and knez Z., 2016, Hydrothermal Treatment of Biomass for Energy and Chemicals, Energy, 11, 1312 – 1322
- Indrawan, B., Prawisudah, P., and Yoshikawa, K., 2012, Combustion Characteristics of Chlorine-Free Solid Fuel Produced from Municipal Solid Waste by Hydrothermal Processing, Energies, 5, 4446 – 4461
- Octaviananda, C., Rahmawati, R. F., Prasetya, A., Purnomo, C. W., Yuliansyah, A. T., and Cahyono, R. B., Effect of temperature and biomass-water ratio to yield and product characteristics of hydrothermal treatment of biomass, International Conference on Chemistry, Chemical Process and Engineering, 2017.



- Pedersen, T.H., 2016, Hydrothermal Liquefaction of Biomass and Model Compounds. Aalborg Universitetsforlag. (Ph.d.-serien for Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet), Denmark
- Tekin, K., Karagoz, S., Bektas S., 2014, 2014, A Review of Hydrothermal Biomass Processing, *Renewable and Sustainable Energy*, 40, 5-6
- Yuliansyah, A.T., Hirajima, T., Kumagai, S., and Sasaki, K., "Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothermal treatment, *Waste and Biomass Valorization*, vol. 1, pp. 395–405, 2010.
- Zhang, Y., 2010, *Biofuels from Agriculture Wastes and Byproducts*. New Jersey: Wiley Blackwell





## Lembar Tanya Jawab

**Moderator** : Tri Widayatno (Universitas Muhammadiyah Surakarta)  
**Notulen** : Riris Indra Murti (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Rima Dewi Anggraeni (Teknik Kimia UGM Yogyakarta)  
Pertanyaan : Apakah semua biomassa dapat di proses dengan metode HTL? Mengapa waktu tinggal 30 menit? Konversi hydrothermal dibanding rute termokimia yang lain?  
Jawaban : Bisa, karena penelitian ini berkelanjutan menggunakan berbagai biomassa. Karena penelitian sebelumnya sudah dilakukan varietas holding time, dan didapat waktu yang optimum adalah 30 menit. Hampir sama dengan pirolisis, produk yang didapat banyaknya sama. Namun suhu lebih rendah dan tidak membutuhkan *pre-treatment*.
  
2. Penanya : Hadiatni Rita P. (Teknik Kimia Ubaya Surabaya)  
Pertanyaan :
  - Bagaimana karakterisasi produk padatan yang telah ditelaah?
  - Bagaimana kekuatan/ banyaknya nilai 'C' dibanding biomassa yang lain di penelitian sebelumnya?
  - Berapa Yield padatan dan cairan?Jawaban :
  - Menghitung nilai C dan *fixed carbon*.
  - Lebih besar persen xylosa lebih keras, maka nilai C lebih besar.
  - Pada suhu 240<sup>0</sup>C, yield padatan dan cairan sekitar 75%.

