

## Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Perkotaan Sebagai Penghasil Bahan Bakar Alternatif

Widya Wijayanti<sup>a</sup>, Mega Nur Sasongko<sup>a</sup>, Christia Meidiana<sup>b</sup>, Lilis Yulianti<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

<sup>b</sup>Fakultas Teknik Jurusan Perencanaan Wilayah Kota Universitas Brawijaya

Jl. MT Haryono 167, 242, Malang 65145

Email : widya\_dinata@ub.ac.id

### Abstract

*The research on the processing of organic municipal waste conversion has been done by using pyrolysis method. The research aims to gain an alternatif fuels and to minimize the landfill space. In the pyrolysis process, it was investigated the char formation as solid fuel as well as its heating value. The char formation was determined by the change of mass and volume of waste for minimizing landfill area. The waste compositions were obtained by surveying the 10 families during 10 days and then it was made the waste spesimens as the pyrolysis feedstocks. The pyrolysis processes were operated in range temperature 200°C to 400°C. Then, the char formations as pyrolysis products were tested by using bomb calorimeter to qualify the heating value of the products. The results showed that the waste was able to be a solid fuel due to the quality of its heating value. The increasing of the heating value could reach 150% from unpyrolyzed waste to pyrolyzed one. In addition, the pyrolysis method was able to significantly minimize the volume of waste, so that it has a potential way to overcome the need of a large landfil area in which it could reduce up to 50% in mass and 85% in volume. In waste pyrolysis method, it was only needed 2 hours operating process and low-temperature process (only up to 300°C). It did not require require a high-operating temperature, therefore, the handling of municipal organic waste to save area landfill and produce alternative fuel could be done in short time and did not require great energy.*

**Keywords:** waste, conversion energy, alternatif fuels, pyrolysis

### PENDAHULUAN

Sampah dan energi merupakan hal krusial saat ini terutama untuk kota besar. Di kota besar, kepadatan penduduk menyebabkan penumpukan volume sampah yang tidak kecil. Disisi lain, kebutuhan akan energi sebagai penunjang kehidupan mereka meningkat semakin tajam. Keterbatasan energi yang bergantung pada energi fosil memaksa pencarian energi alternatif baru untuk mengganti energi fosil. Sampah yang volumenya semakin menumpuk dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi alternatif penghasil bahan bakar pengganti bahan bakar fosil melalui pirolisis.

Bila selama ini pengelolaan sampah hanya melalui open dumping, sanitary landfill, dan composting, maka pirolisis [1] dirasa langkah yang paling tepat karena teknologi ini

merupakan teknologi yang relatif sederhana dan mudah pengoperasiannya serta secara teknik maupun ekonomi adalah layak untuk dikembangkan. Teknologi pirolisis sebagai precursor gasifikasi sebagai salah satu teknologi konversi energi saat ini masih sangat terbatas perkembangannya di Indonesia. Penelitian mengenai gasifikasi juga masih sangat sedikit dilakukan, padahal teknologi tersebut menghasilkan bahan bakar gas yang sangat fleksibel penggunaannya.

Di negara-negara maju, saat ini, pirolisis dilakukan pada stasiun-stasiun pengelolaan tertentu. Padahal biaya transportasi untuk mengangkut sampah menuju ke stasiun pengolahan tersebut sangat mahal. menimbulkan polusi pun belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, perlu penciptaan piroliser yang multi guna. Keuntungan

penerapan metode pirolisis ini adalah menghasilkan proses kimia yang ramah lingkungan dan dapat digunakan dimanapun dan kapanpun. Adapun produk bahan bakar yang dihasilkan oleh piroliser dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan. Pirolisis dapat mengkonversi sampah menjadi bahan bakar dalam fase padat (arang), fase cair (tar), dan fase flammable gas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>) [2] yang selanjutnya bahan bakar tersebut dapat dikonversikan lagi menjadi energi listrik ataupun energi panas.

Dari permasalahan mengenai sampah dan keterbatasan energi fosil ini, maka penelitian terus menerus mengenai pirolisis ini dapat berguna untuk mengatasi masalah sampah di kota-kota besar dan penyelesaian akan ketersediaan energi yang terbarukan, murah, dan ramah lingkungan.

Bila reduksi volume sampah dinyatakan dengan persamaan yang similar dengan penurunan berat [3]

$$\frac{dV}{dt} = -kV \tag{1}$$

Maka dengan mempertimbangkan proses penurunan volume pada proses pirolisis, didapatkan

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{k}{(V_{max} - V_{\infty})} (V - V_{\infty}) \tag{2}$$

di mana k adalah konstanta laju reduksi sampah, V adalah volume sampah dalam suatu waktu tertentu, yang merupakan perbandingan antara V<sub>max</sub> dalam persentase waktu awal sebelum pirolisis dan V<sub>∞</sub> sebagai prosentase dari sampah pada akhir proses. Dengan mengganti k yang similar dengan persamaan Arrhenius, maka k dinyatakan sebagai berikut,

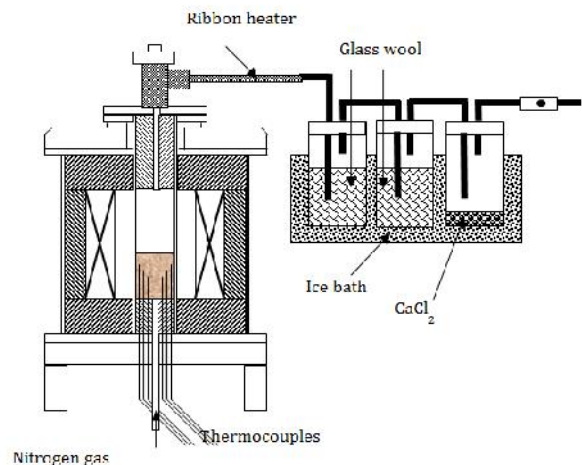
$$k = k_0 \exp\left(-\frac{a}{T}\right)$$

karena k tergantung pada temperature pirolisis (T), maka reduksi volume juga dipengaruhi oleh besarnya temperature pirolisis.

Kelebihan lain dari metode pirolisis dibandingkan dengan metode

pengkonversian yang lain adalah metode pirolisis ini berlangsung dalam waktu yang relatif cepat. Waktu pirolisis untuk memproses yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 2,5 jam, dimana waktu tersebut adalah waktu yang sangat singkat untuk dapat menghasilkan bahan bakar alternatif.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan piroliser portable dengan kualitas tinggi yang dapat memenuhi beberapa kualifikasi; seperti volume input dan output yang tepat, temperatur pemanasan yang cukup, serta waktu operasi yang tepat. Dengan mengetahui parameter-parameter pada piroliser tersebut, bisa diciptakan piroliser portable yang menghasilkan produk bahan bakar sesuai dengan kebutuhan dan dimensi gasifier yang tepat pula, sehingga tidak memerlukan energy operasional yang besar.



Gambar 1 Instalasi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pirolisis untuk mengolah sampah organik menjadi arang dan tar hasil pirolisis. Karakteristik sampah organik dimulai dengan pengujian kandungan sampah untuk mengetahui prosentase kandungan sampah. Selain itu, akan diuji dengan proses pirolisis, nilai kalor sampah sebelum dan sesudah proses pirolisis. Untuk pirolisis ini, sampah akan terdegradasi menjadi arang (char), tar, dan gas. Namun, pada penelitian ini akan diteliti variasi volume dan massa sampah pada berbagai temperature pirolisis serta nilai

kalor dari char sebagai bahan bakar.

Untuk mengetahui kualitas produk pirolisis, penelitian ini juga menguji nilai kalor arang dan tar yang dihasilkan. Diharapkan, sampah mempunyai nilai guna yang tinggi dengan menghasilkan bahan bakar dengan nilai kalor yang cukup besar.

## METODE PENELITIAN

Pirolisis merupakan metode termolisis dimana sampah (feedstock) direaksikan/dipanaskan dengan gas inert ( $N_2$ ) sehingga hasil reaksi dekomposisi dari komponen-komponen feedstocknya.

Skema penelitian dapat dilihat pada gambar 1 yang menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangan alat-alat pirolisisnya.

### Proses Persiapan Spesimen/Proses Drying

Untuk proses ini, mula-mula sampah kita ambil sampelnya dari 10 KK selama 10 hari. Kemudian kita pisahkan anatar sampah organik dan anorganik. Sampel yang kita gunakan kita batasi pada sampah organik. Kemudian kita buat prosentase sampah yang sudah kita survey, kemudian kita buat sendiri sampah untuk skala laboratorium berdasarkan perbandingan-perbandingan unsur pada sampah tersebut.

Setelah kita buat sampah dalam skala laboratorium yang mempunyai komposisi sama seperti sampah rumah tangga, maka sampah/specimen uji tersebut dimasukkan ke dalam gelas ukur kemudian kita masukkan ke dalam oven. Suhu dalam oven kita pasang hingga  $100^\circ C$  selama kurang lebih 10 menit. Kemudian mengambil beberapa gram sample untuk di uji kadar airnya. Kadar air pada penelitian ini sebesar 80% setelah di uji dengan moisture analyzer, sesuai dengan kadar air sampah di TPA. Setelah proses tersebut dilakukan, specimen ditimbang sebesar 300 gram untuk tiap specimen.

Selain suhu pirolisis yang divariasikan untuk penelitian ini, sampah tersebut kita perlakukan dengan memvariasikan densitas sampah untuk mengetahui pengaruh penekanan sampah pada saat masuk

piroliser terhadap reduksi volume dan massa sampah yang dihasilkan dari proses ini.

### Proses Pirolisis

Sebelum melakukan percobaan, pertama-tama disiapkan terlebih dahulu instalasi penelitian. Kemudian persiapan spesimen, Spesimen tersebut kita timbang massanya dan kita ukur volumenya Spesimen dimasukkan ke dalam glass beaker. Glass beaker yang telah diisi dengan spesimen selanjutnya dimasukkan ke dalam ruang pemanas piroliser, dan piroliser ditutup. Kemudian katup  $N_2$  dibuka agar gas  $N_2$  dapat mengalir masuk ke dalam ruang pemanas piroliser. Gas  $N_2$  dialirkan ke dalam ruang pemanas sampai kadar  $O_2 \pm 2\%$  dari volume ruang pemanas. Katup  $N_2$  ditutup saat kadar  $O_2$  mencapai  $\pm 2\%$  dari volume ruang pemanas. Agar piroliser dapat bekerja dan memberikan hasil sesuai yang diharapkan, terlebih dahulu thermocontrol diatur untuk variasi pertama dengan temperatur  $200^\circ C$  dan laju pemanasan  $0,44^\circ C/detik$ . Selanjutnya piroliser dinyalakan dan juga katup keluar dibuka sedikit supaya  $O_2$  dapat tedorong keluar karena gas  $N_2$  yang memenuhi tabung. Proses pirolisis dibiarkan berjalan selama 2 jam. Apabila sudah menempuh waktu selama 2 jam piroliser dimatikan dan padatan hasil pirolisis yang telah terbentuk dikeluarkan. Kemudian berat dan volume padatan hasil pirolisis tersebut diukur. Langkah-langkah tersebut dilakukan untuk semua variasi. Namun sebelum pengujian dengan variasi yang lainnya dilakukan, glass beaker dibersihkan terlebih dahulu agar tidak ada sisa-sisa proses pirolisis yang ikut tercampur dengan spesimen berikutnya.

Untuk penelitian ini, temperatur dan waktu pirolisis disetting. Temperatur divariasikan dari  $200^\circ C$  hingga  $400^\circ C$ . Kemudian proses pirolisis dimulai. Perubahan temperatur diamati. Setelah proses pirolisis selesai, massa dan volume arang hasil pirolisis ditimbang.

Secara parallel pula, tar yang dihasilkan ditangkap dengan cara dikondensasikan ke dalam air es yang didalamnya berisi tabung reaksi glass wool dan  $CaCl_2$  untuk menangkap tar. Kemudian setelah proses

selesai, tabung-tabung tersebut ditimbang untuk mengetahui massa tar yang dihasilkan.

#### Pengujian Nilai Kalor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai kalor bahan bakar padat yang dihasilkan. Setelah proses pirolisis selesai, char hasil pirolisis diuji nilai kalornya dengan menggunakan alat bomb calorimeter.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa data yang menunjukkan hubungan berbagai variasi temperatur pirolisis terhadap beberapa variabel terikatnya, yaitu :

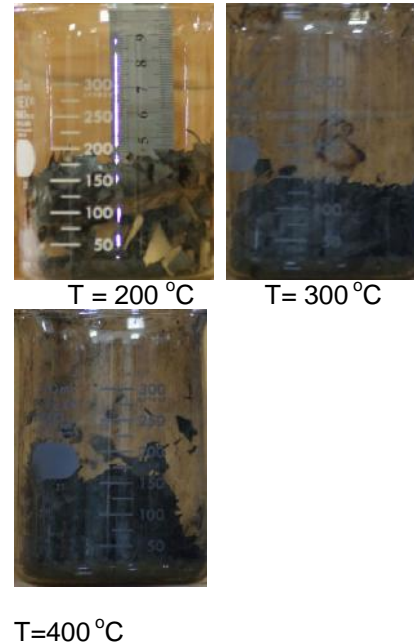
- Perubahan massa sampah berupa char dengan variasi temperatur pirolisis.
- Perubahan volume sampah dengan variasi temperatur pirolisis.
- Perubahan massa tar yang terbentuk dengan variasi temperatur pirolisis.
- Peningkatan nilai kalor char yang dihasilkan dari pirolisis terhadap berbagai variasi temperatur pirolisis.

Karena pirolisis sampah menghasilkan produk berupa char (arang), tar (+air), dan gas, maka setiap variasi temperatur pirolisis terhadap perubahan massa dan volume selama proses pirolisis. Penelitian ini belum mengukur gas hasil proses pirolisis yang terbentuk. Karena produk pirolisis adalah bahan bakar, maka nilai kalor arang juga diukur. Namun, nilai kalor tar belum dapat diukur karena banyaknya air yang terbentuk. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan untuk memisahkan air dari tar beserta pengukuran nilai kalornya.

Berikut ini adalah visualisasi hasil pirolisis berupa char yang didapatkan pada akhir proses.

Pada visualisasi tersebut dapat dilihat perubahan volume dan massa yang terjadi pada proses pirolisis. Dari visualisasi tersebut dapat dilihat perubahan warna atau char yang terbentuk. Pada temperatur pirolisis yang rendah, hasil pirolisis adalah campuran dari char dan sampah yang belum terpirolisis secara sempurna. Pada temperatur yang lebih tinggi, char yang tersebut berwarna hitam yang menunjukkan kualitas (kadar carbon dan nilai kalor) char tersebut. Secara

kuantitatif, besarnya perubahan yang terjadi dapat dijelaskan pada masing-masing grafik produk pirolisis berikut.



T = 200 °C

T = 300 °C

T=400 °C

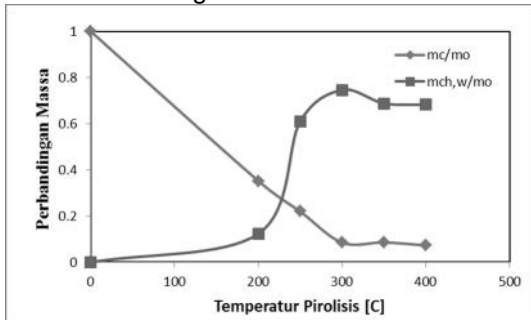
Gambar 2 Visualisasi Char hasil pirolisis

#### Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Dan Massa Sampah

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan massa char dan tar yang terbentuk selama proses pirolisis dapat dilihat pada gambar 3. Temperatur pirolisis berdampak signifikan terhadap hasil pirolisis. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin besar pula pengurangan massa spesimennya. Sebaliknya, pada temperatur lebih rendah pengurangan massanya lebih sedikit. Pada pirolisis sampah ini, perubahan massa produk terjadi secara cepat meskipun temperatur pirolisis masih rendah. Bila pada temperature 200°C perubahan massa terjadi secara cepat, setelah temperatur 300°C, pengurangan massa terjadi secara konstan. Pada titik ini proses pirolisis mencapai kondisi equilibrium. Artinya, dekomposisi sampah terjadi hingga pada temperatur 300°C.

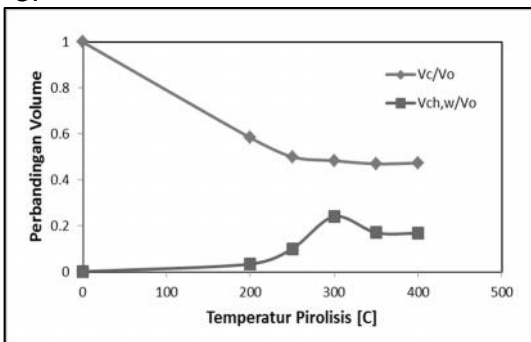
Karena sampah bersifat sangat basah, saat temperatur pirolisis 200 °C, pengurangan massa terjadi karena pada temperatur tersebut, panas menguapkan kadar air yang terkandung dalam spesimen

tanpa mengalami dekomposisi pada komponen-komponen spesimen. Sedangkan pada temperatur pirolisis 300 °C mengalami pengurangan massa yang paling besar, karena komponen-komponen spesimen mengalami dekomposisi termal menjadi bentuk cair, gas dan padat, sehingga massa padatan yang tersisa tentunya lebih sedikit akibat dikurangi oleh hasil pirolisis dalam bentuk cair dan gas.



Gambar 3 Perubahan massa char dan ta+air yang terbentuk pada proses pirolisis

Hal ini dapat dilihat dengan melihat besarnya produk tar dan air yang terjadi, yang ditunjukkan oleh massa tar dan air yang terbentuk. Bila proses pirolisis sebelumnya (pirolisis kayu atau pun kotoran sapi) hanya membentuk tar saja, pada proses pirolisis sampah ini, dihasilkan produk cair dengan kandungan air yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan sampah mempunyai kadar air yang cukup tinggi sebelum masuk piroliser dimana kadar airnya mencapai 80% meskipun telah mengalami proses pengeringan. Temperatur optimal untuk proses ini yang menghasilkan produk tar dan air optimal juga terjadi pada temperatur 300 °C.



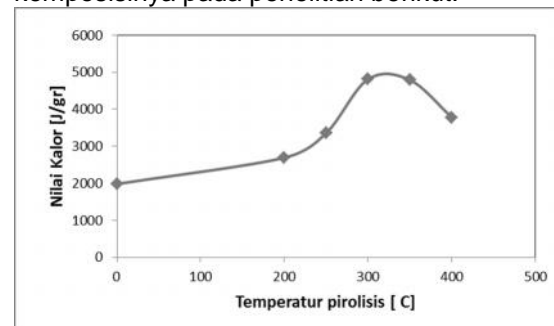
Gambar 4 Volume char dan tar+air yang

berbentuk pada proses pirolisis  
**Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Dan Volume Sampah**

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan volume tersisa spesimen dapat dilihat pada gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan pengurangan volume sampah pada tingkat pemanasan yang berbeda. Secara umum, semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka pengurangan volume sampah semakin besar. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi temperatur maka semakin banyak komponen-komponen biomassa yang terdekomposisi menjadi bentuk cair, padat, dan gas, sehingga volumenya juga akan semakin berkurang.

Pada saat temperatur pirolisis 200 °C pengurangan volume yang terjadi sudah sangat signifikan. Panas dapat menguapkan kadar air dan dekomposisi termal unsur sampah sudah terjadi. Kecenderungan tersebut berlanjut hingga temperatur 250 °C. Pada temperatur pirolisis 300 °C, pengurangan volume mencapai kondisi equilibrium, sehingga temperature optimal untuk proses pirolisis sampah ini hanya memerlukan suhu sekitar 300 °C saja.

Begitu juga, temperatur pirolisis 300 °C merupakan temperature optimal untuk memperoleh tar. Karena setelah temperature ini, produk tar mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan sampah organik banyak mengandung cellulose yang dapat terdekomposisi hanya pada temperatur rendah (sekitar 250-300 °C) saja. Kemungkinan lain, karena produksi gas yang dihasilkan tinggi, namun perlu diamati lagi bagaimana massa produk gas beserta komposisinya pada penelitian berikut.



Gambar 5 Perubahan nilai kalor yang

terbentuk pada proses pirolisis

### Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor Char (arang) Hasil Pirolisis

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan nilai kalor char hasil pirolisis dapat dilihat pada gambar 5. Pada grafik tersebut dapat dilihat nilai kalor dari sampah dari sebelum dipirolisis hingga dipirolisis dengan temperatur yang bervariasi. Secara umum, sampah yang dipirolisis dengan temperatur 200-400 °C selama 2 jam memiliki nilai kalor yang meningkat. Namun, nilai kalor tertinggi diperoleh char pada temperatur pirolisis 300-350 °C. Peningkatan nilai kalor mengalami kenaikan sebesar 150% dibandingkan bila sampah langsung dibakar secara konvensional. Hal tersebut terjadi karena saat pirolisis, char yang merupakan hasil padatan pirolisis mengandung fixed carbon yang nantinya akan menaikkan nilai kalornya. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya maka semakin sedikit char yang terbentuk. Namun demikian, kandungan fixed carbonnya akan semakin tinggi pula. Hal ini yang akan menyebabkan nilai kalor char menjadi lebih tinggi.

Tetapi pada titik tertentu, setelah temperatur 350 °C, terjadi penurunan nilai kalor. Penurunan tersebut dikarenakan gas yang dihasilkan besar [4], sehingga flammable gas (seperti H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>) yang terbentuk semakin besar pada fase gas, sehingga terlepas dari fixed carbonnya.

### KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi temperatur pirolisis menyebabkan semakin banyak char (arang) yang terbentuk, yang ditunjukkan oleh warna produk yang semakin gelap atau hitam dimana hal ini dapat menunjukkan kadar fixed carbonnya.
2. Temperatur pirolisis untuk mereduksi sampah dicapai secara optimal pada 300 °C. Pada temperatur ini, proses pirolisis sudah dapat mereduksi massa dan volume sampah secara maksimal, sehingga tidak diperlukan temperatur pirolisis yang tinggi untuk pengolahan sampah.
3. Pada pirolisis ini, produk cair yang dihasilkan adalah campuran tar dan air, sehingga diperlukan proses lanjutan untuk memisahkan tar dan air. Besarnya kandungan air yang terdapat pada hasil pirolisis disebabkan kadar air yang tinggi pada sampah. Produksi tar dan air tertinggi juga didapat pada temperatur 300 °C.
4. Selain mampu mereduksi dan menghasilkan bahan bakar secara optimal pada temperatur pirolisis 300 °C, nilai kalor char yang dihasilkan secara optimal juga terjadi pada temperatur ini. Bila sebelum dipirolisis nilai kalor sampah adalah sebesar 1980 kcal/kg, maka pada temperatur 300 °C nilai kalor dapat meningkat hingga 150% dari nilai sampah.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Tanoue, K., Widy, W., Yamasaki, K., Kawanaka, T., Yoshida, A., Nishimura, T., Taniguchi, M., Sasauchi, K., 2010, "Numerical Simulation Of The Thermal Conduction Of Packed Bed Of Woody Biomass Particles Accompanying Volume Reduction Induced By Pyrolysis", J. Jpn. Inst. Energy, 89 (10), 948.
- [2]. Tanoue, K., T. Hinauchi, T. Oo, T. Nishimura, M. Taniguchi, and K. Sasauchi.,2007," Modeling Of Heterogeneous Chemical Reactions Caused In Pyrolysis Of Biomass Particles", Advanced Powder Technology 18, 825-840.
- [3]. Wijayanti, W.,2012," Visualisasi Laju Penurunan Volume Biomasa Yang Dipengaruhi Oleh Temperatur Pirolisis", Prosiding KNEP Bali.
- [4]. Wijayanti, W., Sasongko, Mega,2012," Reduksi Volume Dan Pengurangan Kotoran Sapi Dengan Metode Pirolisis", Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 3, No. 2 :343-349. ISSN 0216-468X.

- [5]. Wijayanti, W., Tanoue, K., 2013, "Char formation and gas products of woody biomass pyrolysis", Energy Procedia Elsevier, Vol. 32.

