

**PENGARUH VARIASI KADAR AIR SAMPAH RUMAH TANGGA
ORGANIK TERHADAP PRODUKSI CHAR DAN TAR HASIL
PIROLISIS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**ITSBAT SYAIKHUL MUHIM
NIM. 0810620070-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEDUBAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI KADAR AIR SAMPAH RUMAH TANGGA ORGANIK TERHADAP PRODUKSI *CHAR* DAN *TAR* HASIL PIROLISIS

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ITSBAT SYAIKHUL MUHIM
NIM. 0810620070-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI KADAR AIR SAMPAH RUMAH TANGGA
ORGANIK TERHADAP PRODUKSI CHAR DAN TAR HASIL
PIROLISIS**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ITSBAT SYAIKHUL MUHIM
NIM. 0810620070-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 31 Juli 2013

Skripsi 1

Skripsi 2

**Dr.Eng.Yudi Surya Irawan, ST.,M.Eng
NIP. 19750710 199903 1 004**

**Prof.Dr.Ir. Pratikto, MMT.
NIP. 19461110 198103 1 001**

Skripsi 3

**Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.,MET.
NIP. 19551117 198601 1 001**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001**



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya, Shalawat serta salam semoga tetap tercurah kepada nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

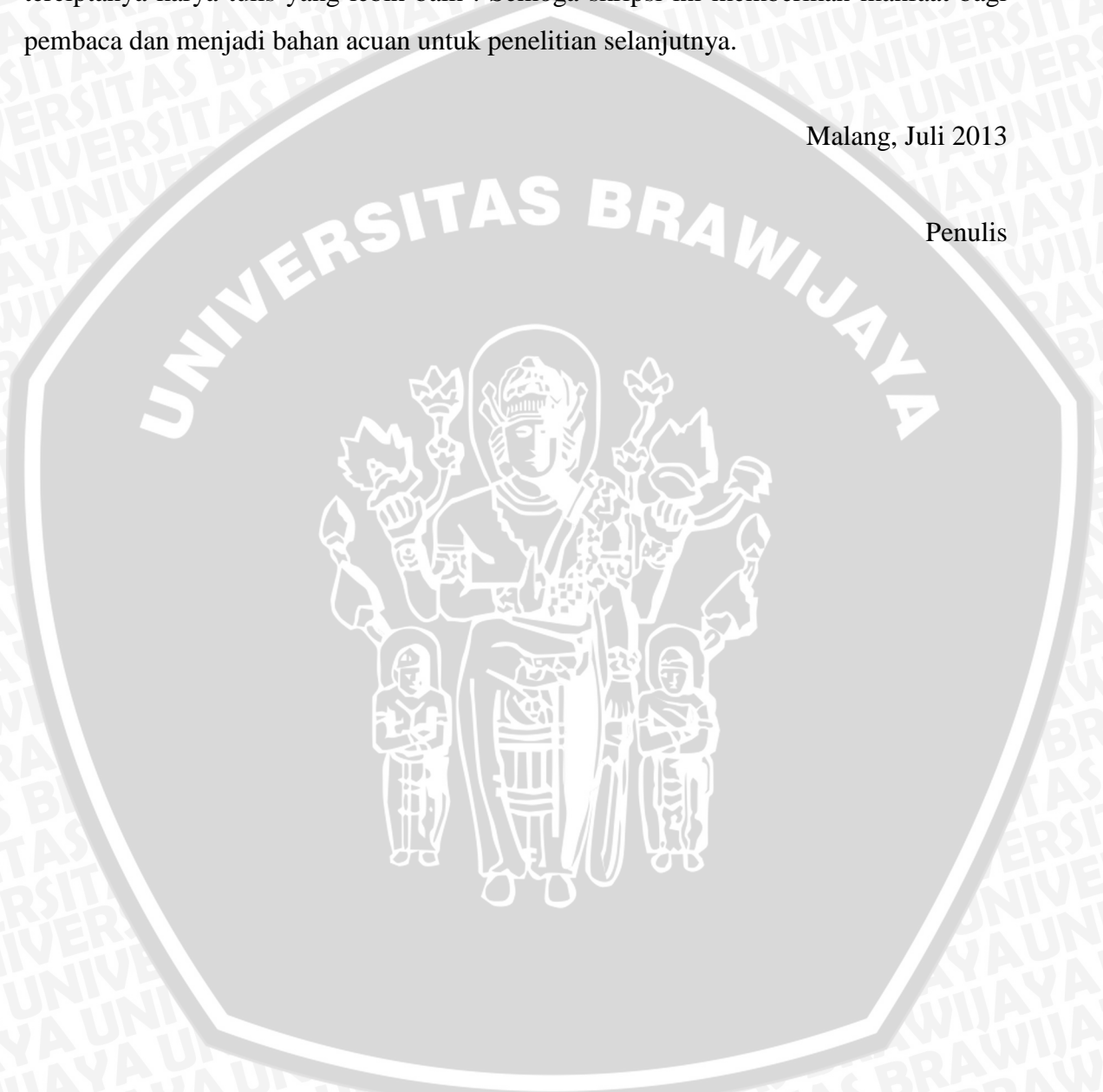
1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT. Selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST.,MT.,Ph.D., Selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. dan Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT., selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam menyusun skripsi ini.
5. Kedua orang tua bapak Imam Romadji dan ibu Binti Solehah yang telah memberikan banyak dukungan moril, dan materiil, nasehat serta doa yang sangat berarti dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Kakakku Zahrona P.L. beserta kedua keponakan-keponakanku Al dan Fa yang selalu mendukung dan memberi semangat.
7. Teman Palsoe *Community* ,Hendra A., Muzakky M, Fadjar F, Afrima N, Bayu P dan saudara-saudaraku yang tak bisa saya sebut satu persatu.
8. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
9. Seluruh Asisten dan Laboran Laboratorium FDM dan Motor Bakar yang telah banyak memberikan bantuan dalam menyusun skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman seperjuangan mesin angkatan 2008 (M'08).

11. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar terciptanya karya tulis yang lebih baik . Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Juli 2013

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Sampah	5
2.1.1 Penggolongan Sampah	5
2.1.2 Model pengolahan sampah di dunia	6
2.1.3 Model pengolahan sampah di Indonesia	7
2.3 Pirolisis	8
2.4 Faktor – Faktor Pirolisis	9
2.5 Macam-Macam Pirolisis	10
2.6 Kadar air Biomassa	10
2.7 Biomassa	11
2.8 Komponen Utama Biomasa	12
2.8.1 Selulosa	12
2.8.2 Hemiselulosa	12
2.8.3 Lignin	13
2.9 Pirolisis Biomassa	14
2.9.1 Pirolisis Selulosa	14
2.9.2 Pirolisis Hemiselulosa	15
2.9.3 Pirolisis Lignin	16

2.10 Bahan Bakar.....	16
2.10.1 Bahan Bakar Padat.....	17
2.11 Nilai Kalor.....	19
2.11.1 Menghitung Nilai Kalor.....	19
2.12 Hipotesa.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Variabel Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.3 Instalasi Penelitian.....	30
3.4 Prosedur Penelitian.....	31
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Hasil Penelitian.....	34
4.2 Pembahasan.....	34
4.2.1 Produk Hasil Pirolisis.....	34
4.2.2 Produk Pirolisis Berupa <i>Char</i>	35
4.2.3 Produk Pirolisis Berupa <i>Tar</i>	38
BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan antara analisa *ultimate* dan analisa *proximate*



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Konversi biomassa
- Gambar 2.2 Struktur kimia selulosa
- Gambar 2.3 Struktur kimia hemiselulosa
- Gambar 2.4 Struktur kimia lignin
- Gambar 2.5 Model reaksi sederhana dari dekomposisi selulosa
- Gambar 3.1 Timbangan elektrik
- Gambar 3.2 Oven
- Gambar 3.3 *Moisture analyzer*
- Gambar 3.4 Piroliser
- Gambar 3.5 *Bomb* Kalorimeter
- Gambar 3.6 *Orifice*
- Gambar 3.7 *Manometer*
- Gambar 3.8 *Pressure gauge*
- Gambar 3.9 Kamera Samsung ES9
- Gambar 3.10 Instalasi penelitian
- Gambar 3.11 Diagram alir penelitian
- Gambar 4.1 Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan pengurangan massa bahan uji.
- Gambar 4.2 Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan pengurangan volume bahan uji.
- Gambar 4.3 Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan nilai kalor *char*.
- Gambar 4.4 Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan massa *tar*
- Gambar 4.5 Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan volume *tar*
- Gambar 4.6 Perbandingan padatan hasil pirolisis dengan variasi kadar air bahan uji dan temperatur pirolisis

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Survei Sampah



RINGKASAN

Itsbat S Muhim, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, *Pengaruh Variasi Kadar Air Sampah Rumah Tangga Organik Terhadap Produksi Char Dan Tar Hasil Pirolisis*. Dosen Pembimbing : Widya Wijayanti, Mega Nur Sasongko.

Peningkatan jumlah penduduk menimbulkan berbagai macam permasalahan yang kompleks. Diantaranya permasalahan peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbunan sampah. Menurut hasil survei sampah organik menyumbang prosentase terbesar pada sampah rumah tangga. Potensi sampah rumah tangga organik apabila kita bisa mengolah sampah organik secara tepat dengan menjadikannya suatu energi *alternative* baru maka akan mampu mengatasi permasalahan cadangan energi yang semakin menipis dan membantu mengurangi penimbunan sampah secara signifikan yaitu dengan cara pirolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kadar air sampah rumah tangga organik terhadap produksi *char* dan *tar* hasil pirolisis.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar air sampah rumah tangga organik terhadap produksi *char* dan *tar* hasil pirolisis. Bahan uji yang digunakan menggunakan sampah rumah tangga organik dengan massa 70 gr dan variasi kadar air bahan sebesar 13%, 24%, dan 34%. Variabel terikat yang diukur adalah nilai kalor pembakaran (kal/gr), pengurangan massa (gr), pengurangan volume (mm³), dan perubahan warna bahan uji.

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa semakin tinggi kadar air bahan uji pirolisis menyebabkan penurunan massa dan volume *char* (arang) yang terjadi semakin besar tetapi justru menurunkan kualitas dari *char* dan *tar*, Semakin rendah kadar air bahan uji maka warna sisa bahan uji setelah pirolisis semakin gelap dan mengkilap. Semakin rendah kadar air bahan uji maka nilai kalor akan semakin meningkat,. Pada penelitian ini nilai kalor terbesar terjadi pada kadar air bahan uji 13% dan temperatur 400°C dengan nilai kalor sebesar 3880 kal/gr. Hal ini jauh bila dibandingkan sampah rumah tangga organik yang tanpa melalui proses pirolisis yang memiliki nilai kalor sebesar 30,39 kal/gr . Semakin tinggi kadar air bahan uji maka volume dan massa *tar* yang dihasilkan semakin besar tetapi semakin tidak murni.

Kata Kunci: kadar air, pirolisis, *char*, *tar*, nilai kalor

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk menimbulkan berbagai macam permasalahan yang kompleks. Diantaranya permasalahan peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbunan sampah. Seiring dengan meningkatnya laju populasi penduduk di Indonesia maka konsumsi energi di berbagai sektor baik industri maupun rumah tangga akan semakin meningkat, hal ini di khawatirkan akan menimbulkan krisis energi di masa depan apabila tidak dilakukan suatu terobosan akan sumber energi baru sebagai *alternative* cadangan energi yang semakin menipis. Selain itu peningkatan laju pertumbuhan penduduk akan menimbulkan peningkatan jumlah timbunan sampah. Kebersihan lingkungan dapat terjaga apabila pengolahan sampah dilakukan secara terpadu. Sedangkan pengolahan sampah yang selama ini dilakukan hanya penimbunan sampah secara besar-besaran tanpa ada pemilahan maupun pengolahan secara lebih lanjut sehingga menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan.

Secara umum sampah-sampah tersebut dapat dipilah mejadi sampah organik dan sampah anorganik. Setelah dilakukan survei sampah rumah tangga pada sepuluh kepala keluarga di daerah Summersari pada bulan November 2012 diperoleh prosentase 84,95% sampah organik dan 15,05% sampah anorganik dengan rata-rata setiap kepala keluarga menghasilkan 1,84 kg sampah perhari.. Dari data tersebut terlihat bahwa sampah organik memiliki prosentase yang dominan dibandingkan sampah anorganik apabila kita bisa mengolah sampah organik secara tepat dengan menjadikannya suatu energi *alternative* maka akan mampu mengatasi permasalahan cadangan energi yang semakin menipis dan membantu mengurangi penimbunan sampah secara signifikan.

Salah satu cara mengatasi penumpukan sampah yang semakin hari semakin bertambah dan sekaligus memanfaatkan kandungan karbonis yang ada dalam sampah menjadi produk *tar* dan *char* yang memiliki nilai kegunaan dan manfaat yang lebih tinggi yaitu sebagai energi *alternative* yakni dengan cara pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa oksigen, dimana

material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase *gas*, *liquid*, dan *solid*. Produk hasil pirolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satu diantaranya adalah kadar air, sedangkan sampah di Indonesia memiliki prosentase kadar air yang cukup tinggi sehingga sebagian energi yang digunakan untuk pirolisis digunakan untuk menguapkan air. Hal ini akan mempengaruhi produk yang dihasilkan selama proses pirolisis.

Dari uraian di atas maka perlu diadakan suatu penelitian serta pengembangan sampah rumah tangga yang dipirolisis dengan variasi kadar air untuk mendapatkan produksi *char* dan *tar* yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan sebuah permasalahan, yaitu: Bagaimana pengaruh variasi kadar air sampah rumah tangga organik terhadap produksi *char* dan *tar* hasil pirolisis

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Pada proses pirolisis, massa dibuat sama untuk tiap variasi yaitu 70 gr.
2. Proses pirolisis berlangsung selama 2 jam.
3. Laju pemanasan yang digunakan adalah $0.44^{\circ}\text{C}/\text{detik}$ atau $26.4^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.
4. Bahan uji yang digunakan menggunakan sampah rumah tangga organik.
5. Produksi *char* dan *tar* yang diteliti meliputi, hubungan kadar air terhadap perubahan massa *char*, perubahan volume *char*, nilai kalor *char*, warna *char*, massa dan volume *tar* yang terbentuk
6. Pada penelitian ini produk pirolisis berupa gas tidak dibahas.
7. Produk *tar* tidak murni karena bercampur air

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kadar air sampah rumah tangga organik terhadap produksi *char* dan *tar* hasil pirolisis.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan alternatif metode pengolahan sampah yang lebih efektif dan lebih aman terhadap lingkungan dan masyarakat.
2. Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi mahasiswa teknik mesin pada khususnya dalam penelitian-penelitian selanjutnya tentang pirolisis.
3. Bagi masyarakat, diharapkan dapat memberikan alternatif pilihan sumber energi pengganti minyak yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari serta memiliki nilai ekonomis.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Himawanto (2005), dalam penelitiannya melakukan karbonisasi terhadap sampah kota dengan variasi temperatur 80 °C, 120 °C, 140 °C, dan menyimpulkan bahwa proses karbonasi akan mempengaruhi karakteristik pembakaran briket sampah kota, dimana tinggi temperatur karbonasi akan mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik pembakaran. Kenaikan temperatur karbonasi tidak dengan serta merta menaikkan karakteristik pembakaran briket sampah kota, namun terdapat kondisi optimal untuk menghasilkan karakteristik pembakaran terbaik.

Abraham (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor arang kotoran sapi, variasi temperatur 100-500°C . Dengan semakin tinggi temperatur pirolisis menyebabkan semakin banyak *char* yang terbentuk, serta semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin besar pengurangan massa dan volume dari spesimen dengan kenaikan kalor sebesar 6-10% dibandingkan biomassa kotoran sapi yang tidak dipirolisis.

Himawan (2010), melakukan penelitian mengenai pengaruh *heating rate* pada proses *slow* pirolisis, dengan variasi *heating rate* 5°C/menit, 10°C/menit, 15°C/menit. Menyimpulkan bahwa seiring dengan kenaikan *heating rate* pada pirolisis lambat memberikan massa *char* yang cenderung sedikit, sedangkan pada pirolisis dengan *heating rate* 10°C/menit memberikan massa *char* yang cenderung semakin sedikit, hal ini diduga karena adanya depolimerisasi selama proses pirolisis. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa waktu penahanan (*holding time*) memberikan efek penyempurnaan pirolisis.

2.2 Sampah

Sampah merupakan material sisa yang sudah tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang harus dibuang yang umumnya berasal dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia tetapi bukan kegiatan biologis. Dalam berkegiatan manusia memproduksi sampah, karena semakin banyaknya sampah yang dihasilkan manusia perlu melakukan pengolahan sampah, dengan tujuan mengubah sampah menjadi material yang memiliki nilai ekonomis dan mengolah sampah agar tidak membahayakan bagi lingkungan hidup (Fadhilah et-al, 2011). Dalam rumah tangga pun demikian tidak semua barang-barang habis dikonsumsi tetapi sebagian akan dibuang dalam bentuk sampah, bisa berupa sampah organik maupun sampah anorganik.

2.2.1 Penggolongan Sampah

Secara umum sampah dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu sampah organik dan sampah anorganik

1. Sampah Organik

Sampah organik merupakan jenis sampah yang terdiri dari bahan-bahan penyusun tumbuhan dan hewan yang di ambil dari alam atau di hasilkan dari kegiatan pertanian, perikanan atau rumah tangga. Sampah ini dengan mudah dapat diuraikan dengan proses alami (Nadiasa et-al, 2009). Sampah rumah tangga sebagian besar merupakan bahan organik misalnya: sampah dari dapur, sisa tepung, sayuran, kulit buah dan daun.

2. Sampah Anorganik

Sampah anorganik merupakan jenis sampah yang berasal dari sumber daya alam tak terbarui seperti mineral dan minyak bumi atau dari proses industri. Beberapa dari bahan ini tidak terdapat di alam seperti plastik. Sebagian zat anorganik secara keseluruhan tidak dapat diuraikan secara proses alami, sebagian ada yang dapat terurai tetapi memerlukan proses yang sangat lama (Nadiasa et-al, 2009). Sampah jenis ini pada tingkat rumah tangga misalnya berupa botol kaca, plastik, dan kaleng. Kertas dan karton merupakan pengecualian karena berdasarkan asalnya, koran dan karton tergolong sampah anorganik, tetapi karena dapat di daur ulang seperti sampah organik maka digolongkan kedalam kelompok sampah organik.

2.2.2 Model Pengolahan Sampah di Dunia

Pemusnahan sampah saat ini masih pada tingkat pengurangan jumlah dan daur-ulang atau pemanfaatan kembali (*reduce recycle, reuse*). Pada prinsipnya pengolahan sebaiknya dilakukan dengan konsep mutakhir 4R (*reduce, recycle, reuse and recovery*) dapat memberi manfaat luas, serta fungsi pengelolaan yang tidak hanya menghabiskan anggaran pengelolaan, tetapi juga perolehan pendapatan bagi pengelola (Djatnika, 2010).

Secara ringkas metode pengolahan sampah di dunia adalah:

a. Komposting dan penimbunan

Merupakan cara konvensional yang banyak diterapkan di negara ini. Pengurangan volume sampah adalah pengambilan kembali bahan-bahan daur ulang serta bahan organik segar yang dapat dikomposting rata-rata sekitar 25%-35% berat, sisanya kemudian ditimbun. Penimbunan sering menimbulkan masalah mulai dari degradasi tanah dan air tanah sampai kerentanan terhadap longsor (Djatnika,2010).

b. Insinerasi (pembakaran langsung)

Merupakan pembakaran sampah secara oksidasi penuh didalam sebuah *insenerator*. Insenerasi masih menggunakan bahan bakar fosil dan masih akan menyisakan abu yang kemungkinan besar masih memiliki kandungan unsur berbahaya. Selain itu emisi gas buang yang ditimbulkan merupakan gas – gas yang juga berbahaya seperti dioksin pada zona bakar diatas 1300°C. dioksin dihasilkan dari reaksi pembakaran diklorobenzena yang banyak ditemukan pada sampah rumah tangga seperti CCD,CDF dan PCB (Winarti et-al,2005), serta jenis gas berbahaya lainnya yang berasal dari bahan bakar fosil, terutama pada zona bakar di bawah 1300°C seperti gas merkuri dan belerang. Tujuan penghematan bahan bakar hanya akan memperlambat pemusnahan sampah, sehingga membutuhkan areal pemusnahan sampah yang lebih luas dan akan membutuhkan lahan penimbunan bagi sampah yang tidak sempat dibakar (Djatnika,2010).

c. Pirolisis

Merupakan cara degradasi termal di dalam tungku dengan memanfaatkan kandungan karbonis dan oksigen dalam bahan sampah (tanpa bantuan oksigen dari udara luar) yang umum dilakukan pada proses pembuatan arang kayu. Temperatur pembakaran cukup rendah antara 400 – 600°C. Pengurangan jumlah sampah dapat mencapai 70 - 75% berat. Sisa proses adalah abu dan arang bakar. Manfaat dari pirolisis adalah produk arang gas dan minyak pirolisis. Produk gas dapat digunakan untuk proses pengeringan biomassa untuk proses pirolisis sendiri. Minyak pirolisis dapat di proses lebih lanjut dan dikonversikan secara katalitik menjadi berbagai jenis bahan bakar , bahan kimia industri, perekat dan sebagainya.

2.2.3 Model Pengolahan Sampah di Indonesia

Meskipun banyak kota dan kabupaten memiliki cara pengolahan sampah, tetapi modelnya tidak banyak berbeda. Hampir di setiap daerah menerapkan model yang paling sederhana dan dirasakan cukup aman. Alasannya cukup masuk akal yaitu anggaran APBD tidak seyogyanya di investasikan untuk hal yang konsumtif. Bila tidak dirasakan dampak negatif terhadap lingkungan maka model pengolahan sampah tersebut bisa saja terus di lanjutkan. Namun, bila dampak negatif sudah dirasakan maka mulai harus di pikirkan mencari model baru yang lebih efisien dan aman.

Model pengolahan sampah di Indonesia ada dua macam yaitu urugan dan tumpukan model pertama merupakan model yang sangat sederhana, yaitu sampah di buang di lembah atau cekungan tanpa memberikan perlakuan. Urugan atau model buang dan pergi ini bisa saja dilakukan pada lokasi yang tepat yaitu bila tidak ada pemukiman di bawahnya, tidak menimbulkan polusi udara, polusi pada air sungai, longsor dan estetika. Model ini umumnya dilakukan untuk suatu kota yang volume sampahnya tidak begitu besar.

Pengolahan sampah yang kedua lebih maju dari cara urugan, yaitu tumpukan. Model ini bila dilaksanakan secara lengkap sebenarnya sama dengan teknologi *aerobic*. Hanya saja tumpukan perlu dilengkapi dengan unit saluran air buangan, pengolahan air buangan (*leachate*) dan pembakaran gas metan (*flare*). Model ini telah memenuhi prasyarat kesehatan lingkungan dan telah banyak diterapkan di kota-kota besar. Namun, sayangnya

model tumpukan ini tidak lengkap, tergantung pada kondisi keuangan dan kepedulian pejabat daerah setempat akan kesehatan lingkungan dan masyarakat. Aplikasinya ada yang terbatas pada tumpukan saja atau tumpukan yang dilengkapi saluran air buangan, jarang yang membangun unit pengolah air buangan. Meskipun demikian ada suatu daerah yang mengelolanya secara kreatif berikut beberapa model pengolahan sampah di beberapa kota di Jawa.

1. DKI Jakarta (Bantar Gebang)

Lokasi lahan terletak di kabupaten Bekasi dan pemerintah provinsi membayar *tipping fee* kepada pemda Bekasi sebesar Rp. 60 juta per ton sampah. TPA Bantar Gebang di kelola dengan penerapan sistem tumpukan yang dilengkapi dengan IPAS (instalasi pengolahan air sampah) dan sistem *drainage*. Sistem *drainage* ini untuk menampung air buangan atau lindi hitam (*leachate*) ke dalam IPAS dan membuangnya ke sungai terdekat. Permasalahan sampah di DKI saat ini adalah volume sampah yang sudah tidak bisa di tampung lagi oleh lahan yang ada, perluasan lahan tidak akan memecahkan masalah yang ada hanya memindahkan masalah

2. Surabaya (Sukolilo)

Model TPA di Surabaya persis sama dengan DKI Jakarta. Sekitar tahun 1980-an TPA Sukolilo di protes masyarakat setempat karena menimbulkan polusi bau. Sebagai jalan keluar pemerintah kota Surabaya mengimpor 1 (satu) unit *incinerator* (pembakar) sampah dari Inggris. Ternyata alat tersebut tidak efektif karena biaya sangat besar dan polusi udara berubah menjadi asap dan debu bahkan partikulat. Aplikasi *incinerator* di Indonesia kurang sesuai karena kadar air sampah sangat tinggi (>80%) sehingga sebagian besar energi yang digunakan untuk membakar adalah untuk menguapkan air.

2.3 Pirolisis

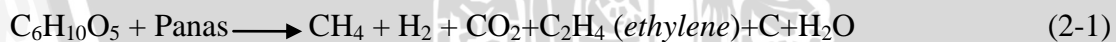
Pirolisis di definisikan sebagai degradasi termal dari bahan bakar padat pada kondisi udara atau oksigen terbatas dimana proses ini akan menghasilkan produk *char tar*, dan *gas* (di blasi, 2008).

Sementara pirolisis merupakan proses yang dipandang merupakan salah satu *alternative* yang cukup prospektif untuk di kembangkan. Beberapa kelebihan pirolisis yang di pandang cukup prospektif diantaranya memiliki rasio konversi yang tinggi, produk produknya memiliki kandungan energi yang tinggi, serta pengontrolan proses yang lebih mudah bila di bandingkan dengan proses *incineration* (Himawanto,2008).

Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis berupa arang (karbon padat), *tar* (minyak) biasanya berupa *ethylene*, *tar* juga memiliki kelembaban tinggi yang berasal dari kelembaban asli dan air yang dihasilkan dan itu merupakan campuran bahan organik cair dan air. Sehingga nilai kalornya lebih rendah jika dibandingkan dengan produk char, gas yang meliputi metana, hidrogen, karbon monoksida dan karbon dioksida. Presentase padatan, cair, dan gas yang dihasilkan dari proses pirolisis dipengaruhi oleh temperatur dan laju pemanasan yang digunakan (JIE, 2002).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pirolisis diantaranya temperatur, laju pemanasan, waktu, dll. Material yang dapat digunakan untuk proses pirolisis antara lain, batubara, kotoran manusia dan hewan, kertas, kardus, plastik, karet dan biomassa (Sadaka, 2007).

Sebagai contohnya, jika material yang terdiri dari selulosa di pirolisis. Persamaan reaksinya seperti pada reaksi berikut, (Vassilind et-al, 2002):



2.4 Faktor-Faktor Pirolisis

Berikut beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses pirolisis:

a. Suhu pirolisis

Suhu berpengaruh terhadap hasil pirolisis, karena dengan bertambahnya suhu maka proses penguraian semakin sempurna.

b. Waktu pirolisis

Waktu pirolisis berpengaruh terhadap kesempatan bereaksi. Waktu pirolisis yang panjang akan meningkatkan hasil *char* dan *gas*, sedangkan hasil padatnya akan menurun.

c. Kadar air bahan

Kadar air yang tinggi menimbulkan timbulnya uap air dalam proses pirolisis sehingga waktu yang digunakan untuk pemanasan semakin lama.

2.5 Macam-Macam Pirolisis

Secara umum pirolisis dapat digolongkan menjadi 3 jenis, antara lain :

a. Pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pirolisis konvensional atau pirolisis lambat ditandai oleh laju pemanasan yang lambat, temperatur rendah dan waktu tinggal (*residence time*) gas dan solid yang lama. Laju pemanasan yang digunakan berkisar antara 0,1 – 2 °C/detik. Tujuan dari pirolisis lambat adalah untuk mendapatkan produk *char*, tapi ini akan selalu disertai dengan produk-produk cair dan gas.

b. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis cepat adalah dekomposisi termal dari komponen organik tanpa oksigen dalam prosesnya untuk menghasilkan cairan dari bahan organik. Pirolisis jenis ini memiliki keuntungan yaitu biaya produksi yang rendah, efisiensi panas yang tinggi, penggunaan bahan bakar fosil yang rendah, dan netralitas CO₂ (Mohan et al, 2006). Pirolisis cepat ditandai dengan tingkat pemanasan tinggi ($2 < HR < 200$ °C/detik) dan pendinginan yang cepat dari produk cair untuk menghentikan reaksi sekunder dari produk (Klass, 1998; Bridgwater, 2004; Bock, 2006).

c. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi, yaitu berkisar antara 200-10⁵ °C/detik. Proses ini akan menghasilkan produk *char* dan *tar* yang sedikit.

2.6 Kadar Air Biomass

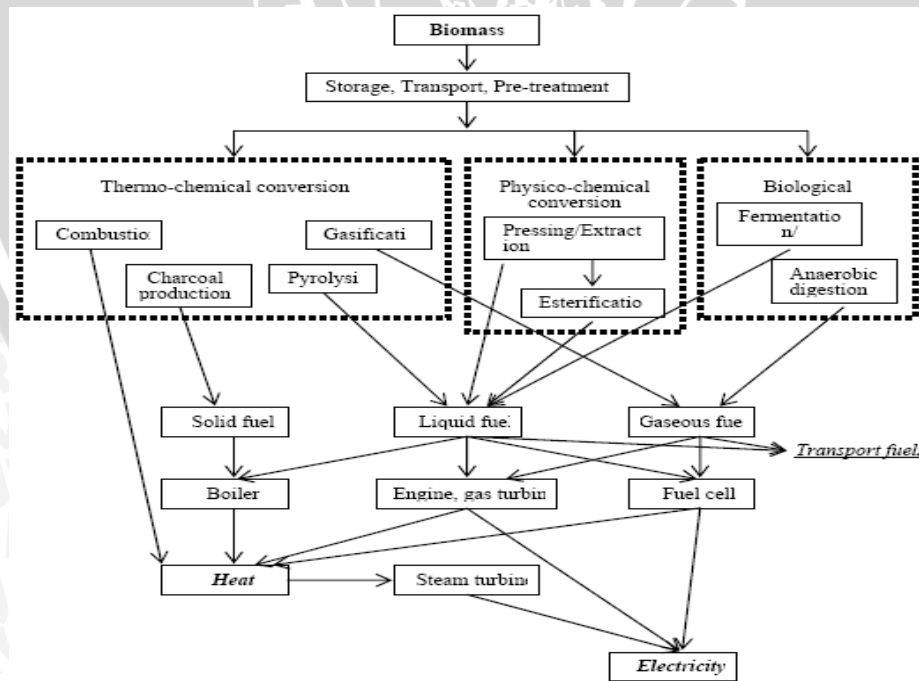
Proses pirolisis yang tepat membutuhkan kelembaban yang rendah. Alasan utamanya adalah biaya. Alasan utama adalah pengendalian biaya. Semua air yang ada pada biomassa akan berahir menjadi produk *tar*, ini sangat tidak menguntungkan untuk distribusi biaya. Total nilai kalor pembakaran *tar* akan menurun secara linier dengan kadar air

(Siemons,2005). Dan distribusi biaya meningkat secara linier sejauh ini biaya di batasi oleh massa bukan volume. Kadar air biomass sebenarnya juga dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan energi perusahaan, karena keseimbangan akan hilang jika terlalu banyak panas yang untuk pengeringan biomass pasa tingkat yang kita inginkan.

2.7 Biomassa

Biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi atau bahan dalam jumlah yang besar (JIE,2002). Biomassa memiliki salah satu sifat energi alternatif yaitu dapat diperbaharui (*renewable energi*) dan banyak tersedia di alam. Biomassa sebagai bahan bakar alternatif menyediakan energi sebesar 3.10^{12} J per tahun dan yang dimanfaatkan hanya dibawah 2 % sebagai bahan bakar. Selain dijadikan sebagai bahan bakar padat, biomassa juga dapat dijadikan sebagai bahan bakar cair dan gas.

Teknologi pemanfaatan energi biomassa yang telah dikembangkan terdiri dari pembakaran langsung dan konversi biomassa menjadi bahan bakar. Penggunaan biomassa langsung sebagai bahan bakar kurang efisien, sehingga konversi biomassa dianggap lebih baik dalam pemanfaatannya. Pemanfaatan biomassa dapat dilihat pada gambar 2.1.

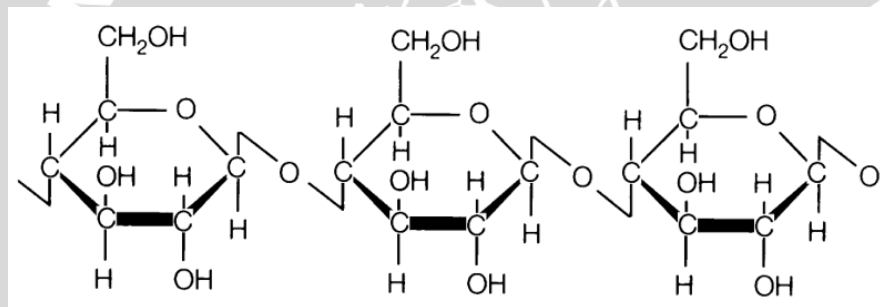


Gambar 2.1 : Konversi Biomassa
 Sumber : Heriansyah, 2005

2.8 Komponen Utama Biomassa

2.8.1 Selulosa

Selulosa adalah polisakarida mempunyai fungsi sebagai unsur struktural pada dinding sel tumbuhan tingkat tinggi. Selulosa berbentuk serabut liat, tidak larut dalam air dan ditemukan pada bagian berkayu pada tumbuhan. Selulosa merupakan unsur yang paling banyak ditemukan pada tanaman. Selulosa tersusun atas D-glukosa yang terikat melalui ikatan β (1-4). Rumus molekulnya adalah $(C_6H_{12}O_6)_n$. Selulosa terdiri dari 100-14000 monosakarida atau lebih dan tidak bercabang. Molekul-molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier, dimana setiap molekul glukosa sebagai penyusun polimer dapat berotasi 180° dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan hidrogen intra maupun intra molekul. Ikatan antar fibril ini yang kemudian membentuk selulosa *crystalline*. (Shovitri et al, 2010). Struktur kimia selulosa dapat di lihat pada gambar 2.2.

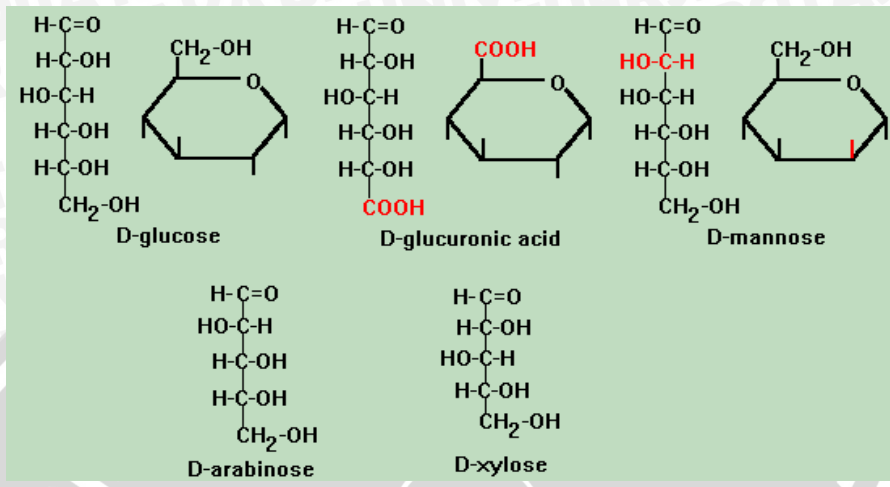


Gambar 2.2 : Struktur Kimia Selulosa
Sumber : organiksmksmakmakassar3a25.blogspot.com

2.8.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polimer yang mirip dengan selulosa yang terdiri dari molekul bercabang yang hanya memiliki 150-200 monomer. Hemiselulosa lebih mudah terlarut dibandingkan dengan selulosa. Rangka utama dari hemiselulosa terbentuk dari ikatan β 1,4-D-pyranosyl dari unit penyusunnya. Jadi secara struktural homogen dengan selulosa. Hemiselulosa mempunyai banyak cabang, secara umum hemiselulosa dapat dikatakan sebagai *noncrystalline heteropolysaccharides*. Komponen penyusun hemiselulosa adalah gula pentose (D-xylose, L-arabinose) gula hexosa (D-galactose, L-galactose, D-mannose, L-fucose) dan asam uronik (*glukomonic acid*). Karena secara structural memiliki kesamaan dan kemiripan nama hemiselulosa sering kali dianggap sebagai produk intermediet dari

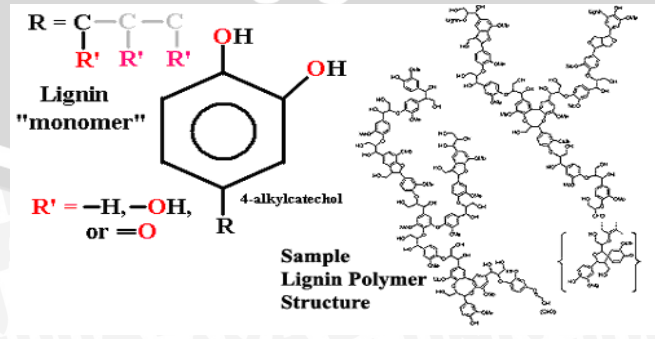
biosintesis selulosa padahal jalur biosintesis mereka berbeda. (Shovitri et-al,2010). Struktur kimia hemiselulosa dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 : Struktur Kimia Hemiselulosa
Sumber : isroi.com

2.8.3 Lignin

Lignin merupakan senyawa aromatik terdiri dari unit phenilpropana, memiliki gugus metoksil dan inti phenol yang saling berikatan dengan ikatan eter atau ikatan karbon dan memiliki berat molekul tinggi. Polimer lignin cenderung bercabang dan membentuk struktur tiga dimensi. Struktur 3 dimensi yang kompleks ini menyebabkan lignin sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme dan bahan-bahan kimia. Lignin terdapat diantara sel-sel dan di dalam dinding sel yang berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel agar tetap bersama. Berdasarkan pengamatan ini, maka dapat disimpulkan bahwa lignin memberikan kekuatan mekanis dan juga perlindungan untuk tumbuhan itu sendiri. (Agustina,2009). Struktur kimia lignin dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Struktur Kimia Lignin
Sumber : Moharifr.blogspot.com

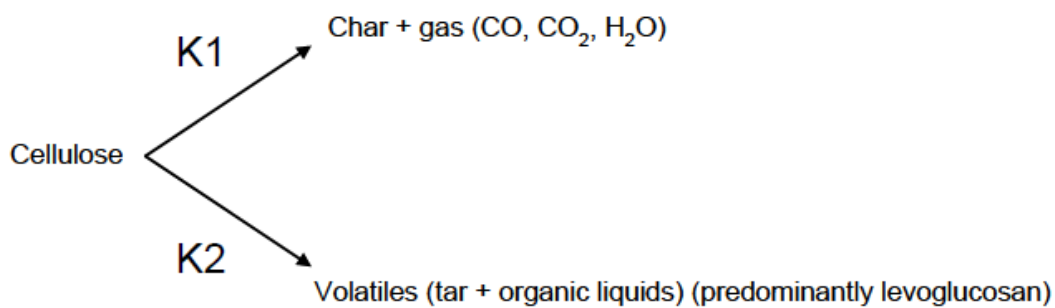
2.9 Pirolisis Biomassa

Selulosa, hemiselulosa, dan lignin merupakan komponen utama dari biomassa, yang memiliki properties yang berbeda. Hemiselulosa adalah konstituen yang paling reaktif dan lignin sebaliknya (Probstein dan Hicks, 1982). Pirolisis biomassa keseluruhan dapat digambarkan dalam hal perilaku komponen-komponen ini. Laju reaksi, produk, dan perilaku termal lainnya dari pirolisis biomassa dianggap sebagai kombinasi dari perilaku komponen utamanya.

2.9.1. Pirolisis Selulosa

Selulosa adalah komponen utama dari biomassa yang paling banyak dipelajari. Hal ini karena selulosa merupakan komponen utama dari biomassa yang paling banyak. Selulosa adalah sumber utama dari *combustible volatiles*. Selulosa muncul secara alami dalam keadaan murni pada kapas.

Sejumlah penelitian dari pirolisis selulosa dalam berbagai kondisi telah dilaporkan dan disederhanakan melalui dua jalur mekanisme dekomposisi pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Model reaksi sederhana dari dekomposisi selulosa
Sumber : Sadaka, 2007

Reaksi 1 terjadi pada suhu rendah sementara reaksi 2 terjadi pada suhu tinggi. Adanya dua jalur ini ditunjukkan oleh studi tentang tingkat kehilangan berat selulosa. Transisi ini ditemukan terjadi pada temperatur sekitar 300°C. Di bawah temperatur tersebut, reaksi kimia yang mungkin terjadi yaitu pengurangan berat molekul, munculnya radikal bebas, oksidasi, dehidrasi, dekarboksilasi, dan decarbonilasi. Produk utamanya adalah CO, CO₂, H₂O, dan *residu char*.

Jalur kedua terjadi pada temperatur di atas 300 °C dan melibatkan dekomposisi selulosa menjadi *tar* yang mengandung *levoglucosan* sebagai komponen utama (22-50%), yang menguap dan kemudian terurai seiring dengan meningkatnya temperatur. Karena suhu yang meningkat dari 300 °C sampai 500 °C, jumlah produk *tar* meningkat sedangkan proporsi komponen *char* (arang) berkurang dan hasil dari *levoglucosan* yang tertinggal tetap.

Produk utama dari pirolisis selulosa di bawah 500 °C adalah *char*, *tar* (terutama *levoglucosan*), air, CO₂ dan CO (Funakuzuri et al., 1986). Hasil dari hidrokarbon ringan, yaitu C₁ - C₄, saat di bawah 500 °C diabaikan tetapi akan diperhitungkan apabila terjadi pada temperatur tinggi (Scott et al, 1988.). Hasil *tar* mulai turun ketika suhu pirolisis dinaikkan di atas 600 °C (Hajaligol et al, 1982.). Peningkatan jumlah dari produk gas terjadi pada temperatur yang sama dengan temperatur dimana produk *tar* mulai berkurang. Hal ini merupakan indikasi bahwa pemecahan struktur utama *tar* memberikan kontribusi terhadap produksi total gas pada temperatur tinggi.

2.9.2. Pirolisis Hemiselulosa

Glucoronoxylans (sering disebut sebagai xilan) adalah hemiselulosa yang paling penting yang terdapat pada kayu keras (*hardwood*), dan glukomanan adalah hemiselulosa yang dominan pada kayu lunak (*softwood*). Xilan telah digunakan dalam beberapa penelitian (Koufopanos et al., 1989) untuk model pirolisis hemiselulosa. Hemiselulosa merupakan komponen utama yang paling reaktif dari komposisi kayu yaitu pada rentang temperatur 200-260 °C. Ketidakstabilan termal pada hemiselulosa mungkin disebabkan karena kurangnya *crystallines*. Dekomposisi hemiselulosa dalam kondisi pirolitik ini terjadi dalam dua tahap (Soltes dan Elder, 1981). Pertama adalah pemutusan ikatan dari polimer menjadi fragmen-fragmen yang larut dalam air diikuti oleh konversi ke unit monomer, dan akhirnya dekomposisi dari unit-unit monomer menjadi *volatil matter*. Hemiselulosa menghasilkan gas lebih banyak dan *tar* yang lebih sedikit dibandingkan dengan selulosa, dan tidak mengandung *levoglucosan*. Hemiselulosa juga memproduksi metanol dan asam asetat yang lebih banyak dibandingkan dengan selulosa.

2.9.3. Pirolisis Lignin

Lignin, komponen utama ketiga dari biomassa, merupakan jaringan polimer 3 dimensi, yang bersifat amorf dan berat molekul senyawa fenoliknya tinggi. Lignin berfungsi memepererat antar serat kayu dan juga berfungsi sebagai pengerasan. Lignin merupakan komponen biomassa yang kurang reaktif. Temperatur yang lebih tinggi diperlukan untuk pirolisis lignin. Dekomposisi termal dari lignin terjadi pada kisaran temperatur 280 °C sampai 500 °C, meskipun beberapa perubahan fisik atau kimia (misalnya, depolimerisasi dan kehilangan beberapa metanol) dapat terjadi pada temperatur rendah (Koufopoulos et al., 1989).

Wenzel (1970) melaporkan bahwa, pada tingkat pemanasan lambat, lignin kehilangan hanya sekitar 50% dari berat ketika pirolisis ini dihentikan pada 800 °C. Pirolisis lignin menghasilkan *char* dan *tar* yang lebih banyak dibandingkan dengan selulosa. Soltes dan Elder (1981) telah melaporkan komposisi produknya, terdiri dari 51-66% *char*, 14-15% *tar*, asam *pyroligneous* sebesar 13-28% dan 12% produk gas (terutama terdiri dari CO, CH₄ dan C₂H₆).

2.10 Bahan Bakar

Ditinjau dari sudut teknis dan ekonomis, bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor.

Secara umum bahan bakar yang selama ini digunakan dapat digolongkan ke dalam dua kelompok besar yaitu bahan bakar primer dan bahan bakar sekunder.

Bahan bakar yang digunakan secara langsung disebut bahan bakar primer. Beberapa contoh dari bahan bakar primer adalah kayu bakar dan gas alam.

Sedangkan bahan bakar sekunder adalah bahan bakar yang diolah terlebih dahulu dari bahan bakar primer sebelum dipakai. Yang termasuk bahan bakar jenis ini yaitu bensin, minyak tanah, dan solar.

2.10.1 Bahan Bakar Padat

Beberapa jenis bahan bakar padat yang sering digunakan adalah batu bara, cokes, dan biomassa. Dalam pemilihan bahan bakar padat, harus dipertimbangkan sifat fisik dan sifat kimianya. Yang meliputi sifat fisik bahan bakar adalah nilai kalor, kadar air, bahan yang mudah menguap, dan abu. Sedangkan yang termasuk sifat kimia adalah kandungan berbagai bahan kimia seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan sulfur (S).

Untuk menganalisa bahan bakar padat, dapat digunakan beberapa analisa, yaitu analisa *ultimate* dan analisa *proximate*. Analisa *ultimate* menganalisa seluruh elemen komponen kimia dari bahan bakar padat yang terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan sulfur (S). Sedangkan analisa *proximate* menganalisa *fix carbon*, bahan yang mudah menguap (*volatile matter*), kadar air (*moisture*), dan persen abu. Ada beberapa jenis pengujian untuk mengetahui kualitas dari bahan bakar padat, yaitu :

1. Analisa *Proximate*

Pada analisa *proximate* ini, parameter yang dianalisa adalah :

a. Kadar Air (*Moisture*)

Kadar air dapat menurunkan kandungan panas per kg bahan bakar padat. Kandungannya berkisar antara 0,5% hingga 10%. Penentuan kadar air dilakukan dengan menempatkan sampel bahan baku bahan bakar padat yang dihaluskan sampai ukuran 200 mikron dalam krus terbuka. Kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 108-110 °C selama satu jam dan diberi penutup. Sampel kemudian didinginkan hingga suhu kamar dan ditimbang lagi. Kehilangan berat dikalikan 100%. Hasilnya merupakan kadar airnya (M), pengaruh kadar air terhadap proses pembakaran adalah :

- Meningkatkan kehilangan panas, karena penguapan dan pemanasan yang berlebih dari uap.
- Membantu pengikatan partikel halus pada tingkatan tertentu.
- Membantu radiasi transfer panas.

b. Bahan yang Mudah Menguap (*Volatile Matter*)

Volatile matter dalam bahan bakar padat adalah gas hidrokarbon (C_xH_y), karbon monoksida (CO), dan gas-gas yang tidak mudah terbakar seperti karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N). *Volatile matter* merupakan indeks dari kandungan

bahan bakar dalam bentuk gas pada bahan bakar padat. Kandungan *volatile matter* berkisar antara 20% hingga 35%.

Penentuan *volatile matter* dapat ditentukan dengan cara sampel bahan baku yang masih baru ditimbang, ditempatkan pada krus tertutup, kemudian dipanaskan dalam tungku pada suhu 900-915 °C selama 7 menit. Hasilnya merupakan persentase *volatile matter* (VM).

c. Kadar Abu (*Ash*)

Abu merupakan bahan yang tidak dapat terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Penentuan kadar abu dilakukan setelah dilakukan uji *volatile matter*. Setelah itu memanaskan bahan bakar padat dengan pembakaran Bensen hingga seluruh karbon terbakar pada suhu 700-750 °C. Kemudian abunya ditimbang (A). Pengaruh abu terhadap proses pembakaran adalah :

- Mengurangi kapasitas pembakaran
- Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan

d. *Fix Carbon*

Fix carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didestilasi. Kandungan utamanya adalah karbon, tetapi juga mengandung hidrogen (H), oksigen (O), sulfur (S), dan nitrogen (N) yang tidak terbawa oleh asap. *Fix carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai kalor bahan bakar padat. Besarnya *fix carbon* (FC) dapat ditentukan dengan cara menghitung sisa dari jumlah bahan di atas, sehingga diperoleh:

$$FC = 100 - (M + VM + A) \quad (\text{UNEP, 2006}) \quad (2 - 1)$$

2. Analisa *Ultimate*

Analisa *Ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen(O), dan sulfur (S). Analisa ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran, volume serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang.

Dari kedua analisa di atas dapat dibuat suatu hubungan antara analisa *ultimate* dan analisa *proximate* yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hubungan antara analisa *ultimate* dan analisa *proximate*

% C	=	$0,97 + 0,7 (VM + 0,1 A) - M (0,6 - 0,01 M)$
% H	=	$0,03 FC + 0,086 (VM - 0,1 A) - 0,0035 M^2 (1 - 0,02 M)$
% N ₂	=	$2,10 - 0,020 VM$

Sumber : UNEP, 2006

Keterangan :

FC = % *fix carbon*A = % abu (*ash*)M = % kadar air (*moisture*)VM = % *volatile matter*

2.11 Nilai Kalor

Nilai kalor pembakaran adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar ketika terjadi pembakaran sempurna dalam keadaan *steady-flow* (Cengel et-al, 2002). Nilai kalor pembakaran diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu : nilai kalor pembakaran tinggi (*High Heating Value* atau HHV) dan nilai kalor pembakaran rendah (*Low Heating Value* atau LHV).

Nilai kalor pembakaran tinggi (HHV) adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar tanpa memperhitungkan jumlah kalor yang dikeluarkan akibat terbentuknya uap air (H₂O). Sedangkan nilai kalor rendah (LHV) adalah energi panas yang dilepaskan oleh satu satuan massa bahan bakar dengan memperhitungkan kerugian panas akibat terbentuknya uap air (H₂O).

Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan antara HHV dan LHV merupakan panas laten dari sejumlah uap air dalam gas hasil pembakaran bahan bakar apabila pembakarannya memakai udara kering dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$HHV = LHV + (mh_{fg}) H_2O \quad (\text{Cengel et-all, 2002: 714}) \quad (2 - 2)$$

Dimana m adalah massa dari produk H₂O per satuan massa bahan bakar dan h_{fg} adalah entalpi penguapan dari air pada temperatur tertentu (Cengel et-al. 2002).

2.11.1 Cara Mengukur Nilai Kalor

Pengukuran nilai kalor dilakukan dengan menggunakan alat kalorimeter.

Macam-macam kalorimeter :

- a. *Ishothermal Oxigen Bomb Calorimeter*

Kenaikkan suhu dari *inner vessel (Calorimeter Bucket)* dapat diperiksa, sedang suhu *out vessel (jacket)* konstan. Suhu *jacket* dapat diatur terus menerus selama penetapan untuk tetap sama dipertahankan terhadap *Calorimeter Bucket*.

b. *Adiabatic Oxigen Bomb Calorimeter*

Tidak diperlukan koreksi radiasi panas dan hanya memerlukan pemeriksaan suhu awal dan akhir *calorimeter* dan suhu *jacket* terpaku sama terhadap suhu linier *vessel* selama penetapan. Perbedaannya dengan jenis yang pertama bahwa *isothermal* memerlukan pengukuran suhu awal, dan suhu akhir.

c. *Ballistic Oxigen Bomb Calorimeter*

Sampel yang diketahui beratnya ditetapkan kalorinya dengan dibakar di dalam suatu *bomb* yang berisi oksigen yang berlebihan, kemudian kenaikan maksimum dari *bomb* diukur dengan termokopel dan galvanometer. Dengan membandingkan kenaikan suhu dengan sampel standar yang telah diketahui nilai kalornya dengan cara pembakaran asam benzoat dalam *bomb calorimeter*.

Dalam analisa nilai kalor menggunakan *adiabatic oxygen bomb calorimeter* digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$NK = \frac{(EE \times \Delta T) - (Acid) - Fulse}{m} \quad (2 - 3)$$

Dengan :

NK = Nilai Kalor (kal/gr)

ΔT = Perubahan Temperatur Pada Termometer ($^{\circ}C$)

Acid = Sisa Abu Yang Terbakar (gr) ; 1 gr = 1 kal

Fulse = Panjang Kawat Yang Terbakar (cm) ; 1 cm = 1 kal

m = Massa Awal Bahan Yang Dibakar (gr)

EE = Standart Nilai Kalor Benzoid (2401,459 kal/ $^{\circ}C$)

2.12 Hipotesa

Semakin tinggi kadar air bahan uji *tar* yang terbentuk semakin banyak karena air ikut terkondensasi bersama *tar*, sedangkan massa dan volume *char* yang terbentuk semakin banyak karena panas digunakan untuk menguapkan air terlebih dahulu dan dekomposisi terjadi lebih singkat. Semakin rendah kadar air bahan uji nilai kalor *char* akan meningkat karena *fix carbon* terbentuk semakin banyak disebabkan air dan *volatile matter* semakin banyak dihilangkan, sedangkan warna *char* semakin gelap karena selulosa, hemiselulosa, dan lignin telah terdekomposisi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh variasi kadar air sampah rumah tangga organik terhadap produksi *char* dan *tar* hasil pirolisis. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Phenomena Dasar Mesin, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang, dan waktu pelaksanaan pada 2 Februari 2013 sampai 9 Maret 2013.

3.1 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

a. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini adalah kadar air sampah rumah tangga organik, yaitu sebesar, 13%, 24%, 34%.

b. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan, adapun yang merupakan variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kalor pembakaran (kal/gr), perubahan massa (gr), perubahan volume (mm³), dan perubahan warna bahan uji.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya tetap dan ditentukan sebelum penelitian. Adapun yang merupakan variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah laju pemanasan saat proses pirolisis adalah 26.4°C/menit, dan pada temperatur ,200°C, 300°C, 400°C.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:

1. Sampah rumah tangga

Sampah rumah tangga ini digunakan sebagai bahan uji yang akan dipirolisis dan di uji nilai kalornya. Jenis sampah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah rumah tangga organik.

2. Gas N₂

Gas N₂ digunakan untuk mereduksi kandungan O₂ hingga $\pm 2\%$ volume di furnace. Dengan begitu akan mengurangi kemungkinan terjadinya pembakaran, sehingga hasil dari proses adalah arang bukan abu.

Alat yang digunakan dalam penelitian :

1. Timbangan Elektrik

Alat ini digunakan untuk menimbang bahan uji sebelum dan sesudah dipirolisis. Timbangan elektrik dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1: Timbangan Elektrik

Sumber :Lab Mesin PendinginTeknik Mesin Universitas Brawijaya

Spesifikasi :

Model : AD-600H

Capacity : 600 g

Resolution : 0.01 g

Pan size : Ø115 mm

2. Oven

Fungsi oven dalam penelitian ini digunakan untuk mengeringkan bahan uji hingga tercapai kadar air yang diinginkan, yaitu 13%, 24%, 34%. Oven dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 :Oven
Sumber : Dokumentasi pribadi

Spesifikasi :

Mode : OT-105

watt : 600 W

Power : AC - 220 V

Timer : 15 - 30 menit

Heater : Ceramicsheate

3. Moisture Analyzer

Moisture ini digunakan untuk mengukur kadar air bahan uji yang akan dipirolisis. *Moisture analyzer* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3: *Moisture analyzer*

Sumber: Lab. Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Spesifikasi :

<i>Type</i>	:MOC-120H
<i>Measurement format</i>	: <i>evaporation weight loss method</i>
<i>Sampel weight</i>	:0.5-120 g
<i>Minimum display</i>	:0.01%; <i>weight</i> :0.001 g
<i>Measurable quantities</i>	: <i>moisture content (wet & dry base), weight, solid content</i>
<i>Heater temperature</i>	:30-200°C
<i>Display</i>	:backlit LCD 137 x 43 mm
<i>External output</i>	:RS-232C interface 20
<i>Heat source</i>	:6 watt
<i>Power supply</i>	:AC 100-120/220-240V (50/60 Hz)
<i>Power consumption</i>	:max 640 watt

4. Sarung Tangan

Dalam penelitian ini sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan saat mengolah sampah rumah tangga menjadi bahan uji

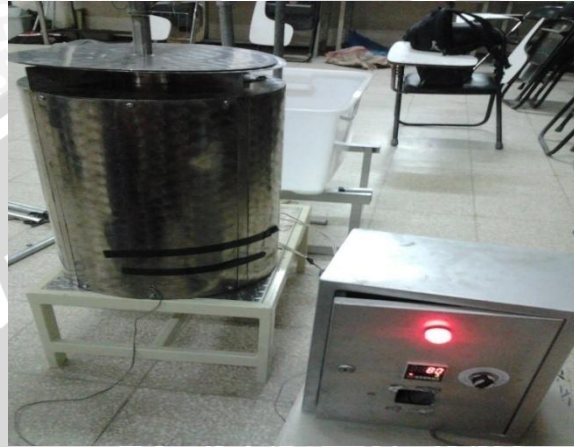
5. Masker

Masker digunakan untuk melindungi hidung dan mulut dari bau serta debu saat mengolah sampah menjadi bahan uji ataupun pada proses pirolisis

6. Piroliser

Alat ini digunakan untuk melakukan proses pirolisis pada bahan uji. Terdiri dari *heater* sebagai pemanas, *thermocouple* dan *thermocontrol* sebagai pengatur temperatur dan pemanas, dan potensiometer untuk mengatur laju pemanasannya.

Piroliser dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 :Piroliser
Sumber : Dokumentasi pribadi

Spesifikasi :	
<i>Thermocontrol</i>	:TC4S-14R
<i>Heater</i>	:4000 watt
<i>Isolator</i>	: <i>glasswool</i>
<i>Thermocouple</i>	:type K(-200°C – 1350°C)

7. Bomb kalorimeter

Bomb kalorimeter digunakan untuk mengukur nilai kalor bahan uji yang telah dipirolisis. *Bomb* kalorimeter dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5: *Bomb* kalorimeter

Sumber : Lab Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Spesifikasi :

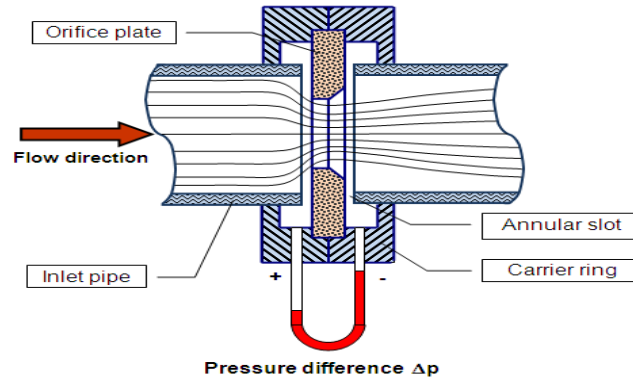
Merk : PAAR
Model : PAAR 124 EP
Volt : 220 V/50 Hz
Negara pembuat : USA
Tahun : 1987

8. Gelas beker

Gelas beker digunakan untuk meletakkan bahan uji dan nantinya akan diletakkan di dalam piroliser.

9. *Orifice*

Untuk mengatur debit aliran N_2 yang mengalir masuk ke dalam piroliser dibutuhkan pengukuran perbedaan tekanan. Jadi *orifice* ini digunakan untuk membuat perbedaan tekanan pada selang masuk gas N_2 . *Orifice* dapat dilihat pada gambar 3.6.



$$D = 5 \text{ mm} ; d = 1 \text{ mm}$$

Gambar 3.6: Orifice
Sumber: Wikipedia.org

10. Manometer

Perbedaan luas penampang pada *orifice* akan menyebabkan perbedaan tekanan. Manometer U dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan gas N_2 yang masuk ke piroliser. Manometer U dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 : Manometer U
Sumber: Dokumentasi Pribadi

11. Pressure gauge

Pada penelitian ini pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan gas N_2 didalam tabung gas N_2 maupun tekanan keluar tabung gas N_2 . *Pressure gauge* dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8: *Pressure gauge*
Sumber : harborfreight.com

12. Handphone

Handphone digunakan untuk merekam perubahan temperatur pada *thermocontrol*. Handphone di letakkan di depan layar display *thermocontrol*

13. Kamera

Kamera digunakan untuk mengambil gambar spesimen sebelum dan sesudah dipirolisis. Dengan gambar yang diambil dapat dilihat perbedaan sebelum dan sesudah dipirolisis pada berbagai variasi kadar air. Kamera dapat dilihat pada gambar 3.9.



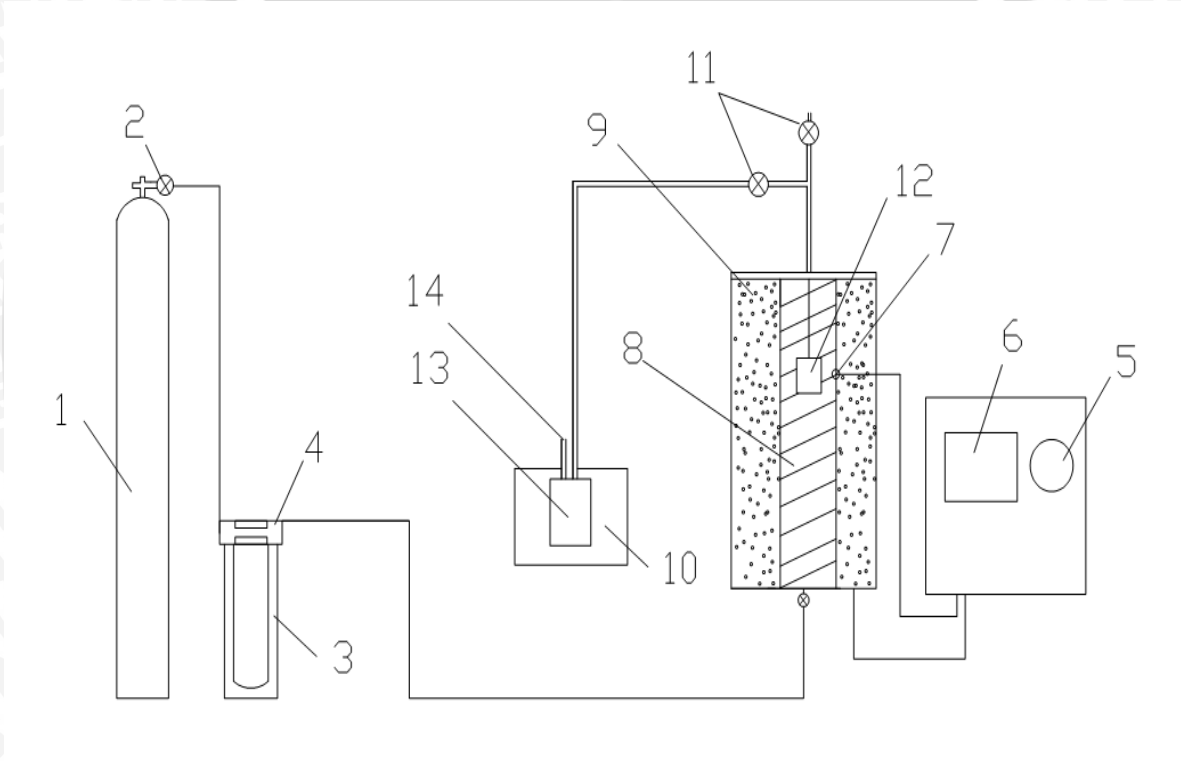
Gambar 3.9: Kamera
Sumber: Dokumentasi pribadi

14. Bak pendinginan

Digunakan untuk mengkondensasikan *tar* yang dihasilkan selama proses pirolisis.

3.3 Instalasi Penelitian

Gambar 3.10 merupakan instalasi penelitian beserta keterangan dan beberapa alat pendukungnya



Gambar 3.10: Instalasi penelitian

Keterangan :

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Tabung gas N ₂ | 7. Thermocouple |
| 2. Pressure gauge | 8. Heater |
| 3. Manometer | 9. Isolator |
| 4. Orifice | 10. Bak pendinginan |
| 5. Potensiometer | 11. Stop kran |
| 6. Thermocontrol | 12. Wadah bahan uji |

13. Wadah *tar*

14. Saluran keluar gas

3.4 Prosedur Penelitian

a. Proses Persiapan Bahan Uji

Pada penelitian ini menggunakan sampah rumah tangga organik sebagai bahan uji. Sampah rumah tangga organik yang telah dipilah menurut jenisnya dijadikan menjadi satu dalam perbandingan komposisi, massa, dan volume yang sama untuk setiap variasi. Kemudian menentukan kadar air bahan uji yang akan divariasikan yaitu dengan tanpa pengovenan didapatkan kadar air sebesar 34%, pengovenan bahan uji selama 5 menit didapatkan kadar air sebesar 24%, pengovenan bahan uji selama 10 menit didapatkan kadar air sebesar 13%.

b. Proses Pirolisis

Sebelum melakukan percobaan, pertama-tama disiapkan terlebih dahulu instalasi penelitian. Kemudian persiapan bahan uji, bahan uji dimasukkan ke dalam gelas beker. Gelas beker yang telah diisi dengan bahan uji 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 kadar air 34% dan laju pemanasan $26.4^\circ C/\text{menit}$ pada temperatur $200^\circ C$. 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 lalu *char* dan *tar* hasil pirolisis yang telah terbentuk dikeluarkan. Kemudian berat dan volume *char* dan *tar* hasil pirolisis tersebut diukur. Langkah-langkah tersebut

dilakukan untuk semua variasi. Namun sebelum pengujian dengan variasi yang lainnya dilakukan, wadah pembakaran dibersihkan terlebih dahulu agar tidak ada sisa-sisa proses pirolisis yang ikut tercampur dengan bahan uji berikutnya.

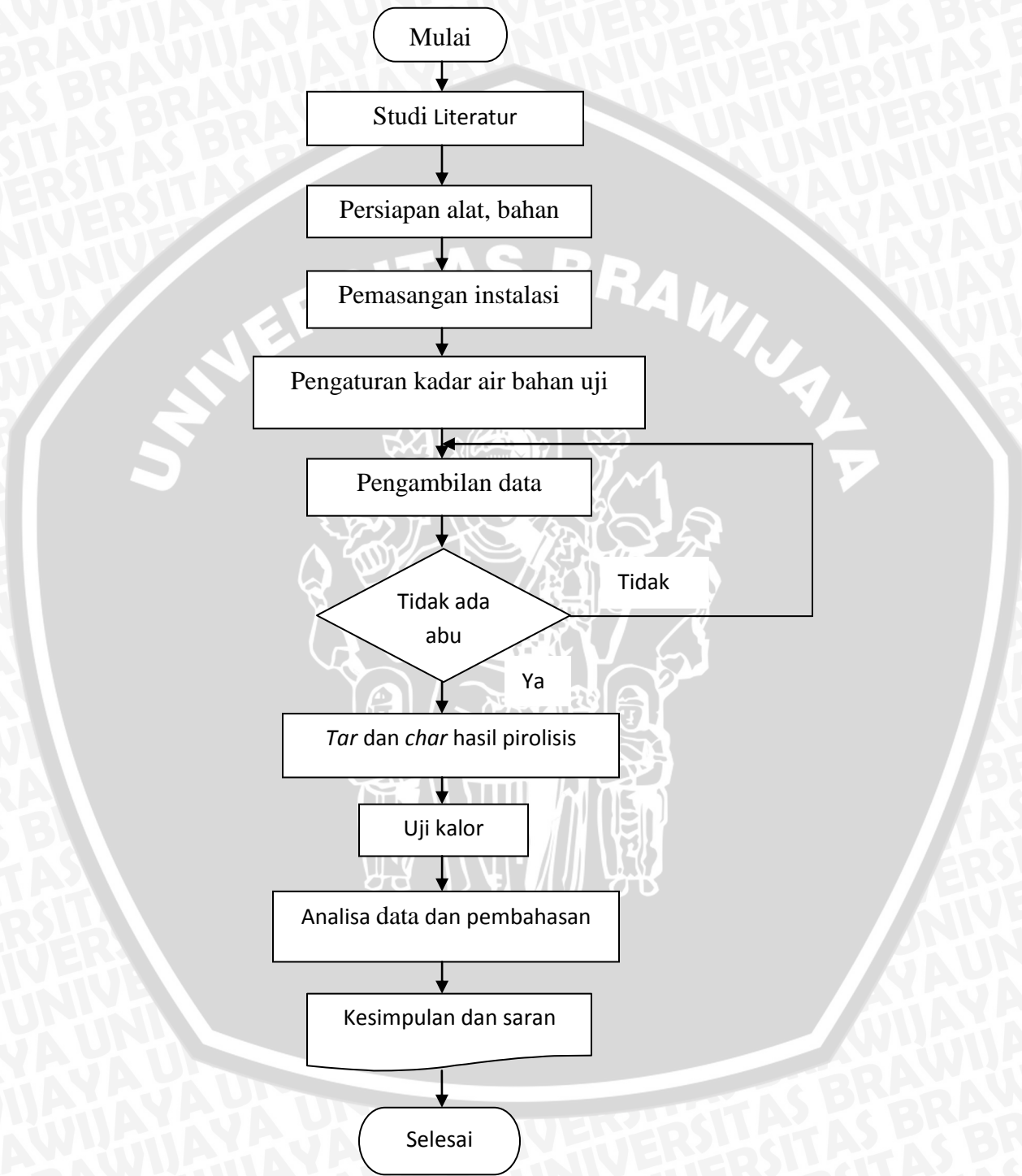
c. Pengujian Nilai Kalor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai kalor dari *char* dengan menggunakan alat *bomb* kalorimeter. Prosedur yang digunakan sebagai berikut, air 2 liter disiapkan dan kemudian dimasukkan ke *oval bucket*. Bahan bakar yang diuji ditimbang seberat 1 gram (bahan uji hasil pirolisis) lalu dimasukkan ke dalam *combustion capsule*. Selanjutnya kawat sepanjang 10 cm dipasang sehingga mengenai bahan bakar yang diuji tanpa mengenai permukaan besi *combustion capsule* dengan menggunakan bantuan *bomb head support stand*. Bahan bakar yang diuji (bahan uji hasil pirolisis) dimasukkan dalam *combustion capsule* tadi bersama dengan kawat ke dalam *oxygen bomb*. Setelah itu, semua peralatan *bomb kalorimeter* dihubungkan dengan listrik. *Oxygen bomb* diisi dengan oksigen yang bertekanan 30-35 atm menggunakan bantuan *auto charger*. Setelah selesai *oxygen bomb* dimasukkan ke dalam *oval bucket* yang telah terisi air dan kemudian *oval bucket* dimasukkan ke dalam *adiabatic calorimeter*, lalu ditutup. Posisi *switch* diubah ke posisi *on*. Temperatur dari aquades/air di *oval bucket* disamakan dengan temperatur *water jacket* dengan menggunakan *switch hot/cold*. Setelah sama, temperatur yang terjadi dicatat. Kemudian bahan bakar yang diuji tersebut dibakar dan beberapa saat kemudian temperatur yang terjadi pada aquades/air dicatat (temperatur maksimum yang tercapai). Kemudian selisih temperatur di air pada kondisi awal dengan kondisi setelah terjadi pembakaran dihitung. Dan sisa kawat yang terbakar diukur.

Setelah melakukan prosedur di atas akan diperoleh data-data yang diperlukan untuk menghitung nilai kalor bahan bakar. Dari data-data tersebut dapat diketahui nilai kalor dari bahan bakar yang di uji.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Ilustrasi diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.11:



Gambar 3.11 : Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa data yang menunjukkan beberapa hubungan berbagai variasi kadar air bahan uji pirolisis terhadap beberapa variabel terikatnya antara lain adalah perubahan massa, perubahan volume, perubahan warna, serta peningkatan nilai kalor bahan uji.

4.2 Pembahasan

Pembahasan pada subbab ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan dari data hasil penelitian setiap variasi kadar air sampah rumah tangga organik terhadap perubahan massa, volume, warna, dan nilai kalor bahan uji.

4.2.1 Produk Hasil Pirolisis

Pada pirolisis sampah rumah tangga ini dihasilkan dihasilkan beberapa jenis produk antara lain :

1. *Char*

Char merupakan produk hasil pirolisis yang berupa padatan. Pada penelitian ini akan dibahas perubahan massa dan volume antara bahan uji awal dan *char* yang dihasilkan. Selain itu, juga akan dibahas nilai kalor yang dihasilkan oleh *char* dari berbagai macam variasi yang telah ditentukan.

2. *Tar*

Pada penelitian ini *tar* yang dihasilkan tidak sepenuhnya murni, namun masih ada campuran berupa air yang komposisinya masih sangat tinggi, dimana posisi *tar* berada di permukaan campuran tersebut. Hal ini disebabkan karena masih tingginya kadar air dari sampah yang dipirolisis.

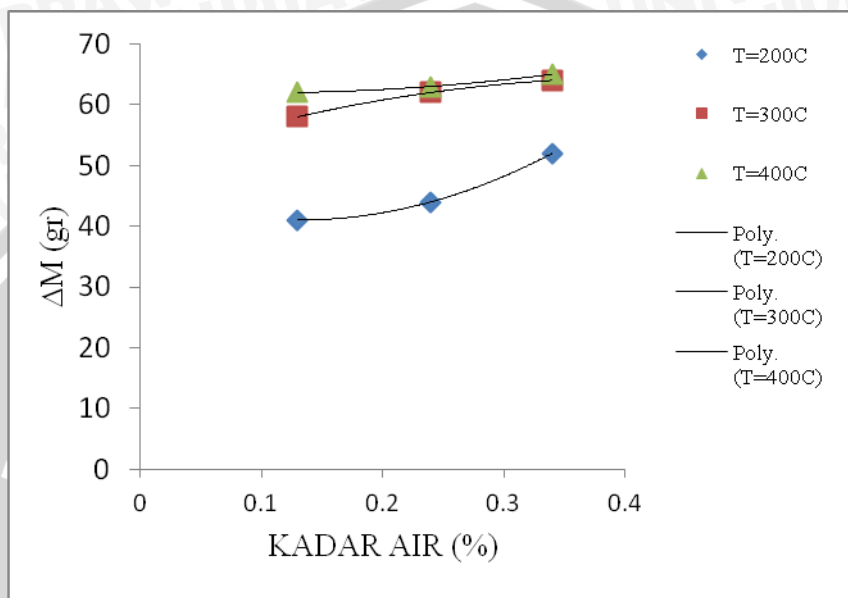
3. Gas

Pada penelitian ini belum dilakukan pembahasan terhadap gas yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah rumah tangga.

4.2.2 Produk Pirolisis Berupa Char

a. Hubungan antara Kadar Air Bahan Uji Pirolisis dan Perubahan Massa Bahan Uji

Hubungan antara kadar air bahan uji pirolisis dan pengurangan massa bahan uji dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 : Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan perubahan massa bahan uji

Temperatur pirolisis berdampak signifikan terhadap hasil pirolisis. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin besar pula pengurangan massa bahan ujinya. Sebaliknya, pada temperatur lebih rendah pengurangan massanya lebih sedikit.

Pada saat temperatur pirolisis 200 °C pengurangan massa yang terjadi tidak terlalu besar karena pada temperatur tersebut, panas hanya dapat menguapkan kadar air yang terkandung dalam bahan uji tanpa mengalami dekomposisi pada komponen-komponen bahan uji. Sedangkan pada temperatur pirolisis 400 °C dan 300 °C mengalami pengurangan massa yang besar, karena komponen-komponen bahan uji 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.

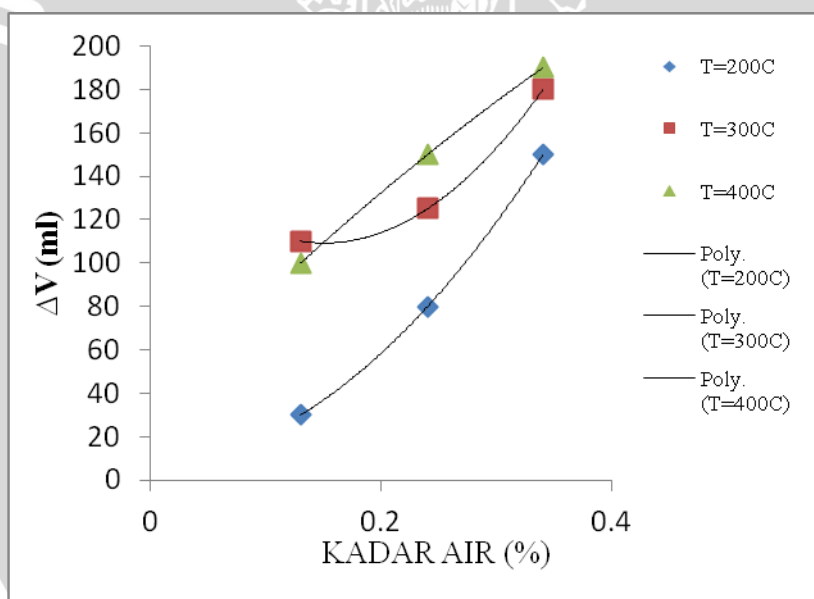
Dari grafik terlihat bahwa semakin besar kadar air bahan uji, penurunan massa yang terjadi semakin besar. Penurunan massa tertinggi terjadi pada kadar air 34% dan terendah pada kadar air 13%. Hal ini disebabkan karena semakin besar prosentase kadar air bahan uji mengakibatkan semakin lama waktu dan energi yang diperlukan untuk

menguapkan air terlebih dahulu sehingga proses dekomposisi terjadi lebih singkat serta *volatile matter* yang dihilangkan lebih sedikit. Tetapi karena kadar air memiliki fase cair yang lebih berat sedangkan *volatile matter* memiliki fase gas lebih ringan maka kehilangan kadar air lebih berperan terhadap pengurangan massa bahan uji.

Semakin tinggi kadar air pengurangan massanya lebih tinggi tetapi produk *char* yang dihasilkan semakin sedikit karena proses pendekomposisian yang singkat menyebabkan bahan uji tidak terdekomposisi secara sempurna. Semakin tinggi kadar air bahan uji juga menyebabkan kerugian karena membutuhkan energi yang semakin besar untuk proses dehidrasi dibandingkan untuk proses dekomposisi.

b. Hubungan antara Kadar Air Bahan Uji Pirolisis dan Pengurangan Volume Bahan Uji

Hubungan antara kadar air bahan uji pirolisis dan pengurangan volume bahan uji dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 : Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan perubahan volume bahan uji

Gambar 4.2 menunjukkan pengurangan volume bahan uji pada tingkat kadar air bahan uji yang berbeda. Dari grafik secara umum dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya kadar air, penurunan volumenya cenderung meningkat. Pengurangan volume terbesar terjadi pada kadar air 34% dan pengurangan volume terkecil terjadi pada kadar air 13%. Hal ini disebabkan karena semakin besar prosentase kadar air sampah mengakibatkan semakin lama waktu dan energi yang diperlukan untuk

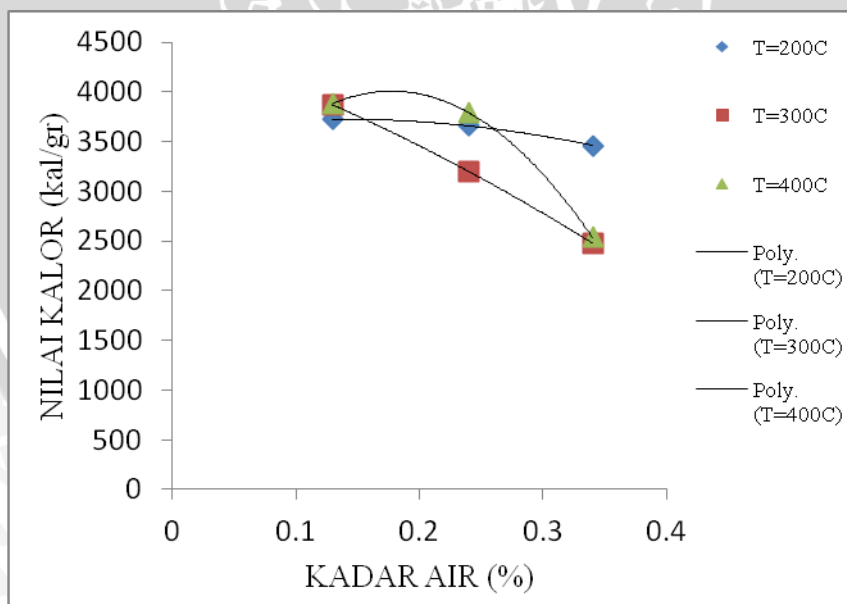
mengeringkan kandungan air bahan uji. Sehingga proses dekomposisi terjadi lebih singkat akibatnya *volatile matter* yang berdifusi keluar dari bahan uji sedikit. Tetapi karena kadar air memiliki fase cair sedangkan *volatile matter* memiliki fase gas lebih berperan terhadap penyusutan *volume* bahan uji

Semakin tinggi kadar air bahan uji pengurangan volumenya lebih tinggi tetapi produk *char* yang dihasilkan memiliki kualitas rendah karena proses dekomposisi yang singkat menyebabkan bahan uji tidak terdekomposisi secara sempurna. Semakin tinggi kadar air bahan uji juga menyebabkan kerugian karena membutuhkan energi yang semakin besar untuk proses dehidrasi dibandingkan untuk proses dekomposisi.

Dari grafik diatas juga terlihat bahwa, semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka pengurangan volume bahan uji semakin besar. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi temperatur maka semakin banyak komponen-komponen biomassa yang terdekomposisi menjadi bentuk cair, padat, dan gas, sehingga pengurangan volumenya juga akan semakin besar.

c. Hubungan antara Kadar Air Bahan Uji Pirolisis dan Nilai Kalor *Char*

Hubungan antara kadar air bahan uji pirolisis dan nilai kalor arang dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 : Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan nilai kalor *char*

Gambar 4.3 menunjukkan perubahan nilai kalor yang terjadi setelah proses pirolisis pada beberapa variasi kadar air bahan uji. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya kadar air bahan uji, nilai kalor cenderung menurun. Hal

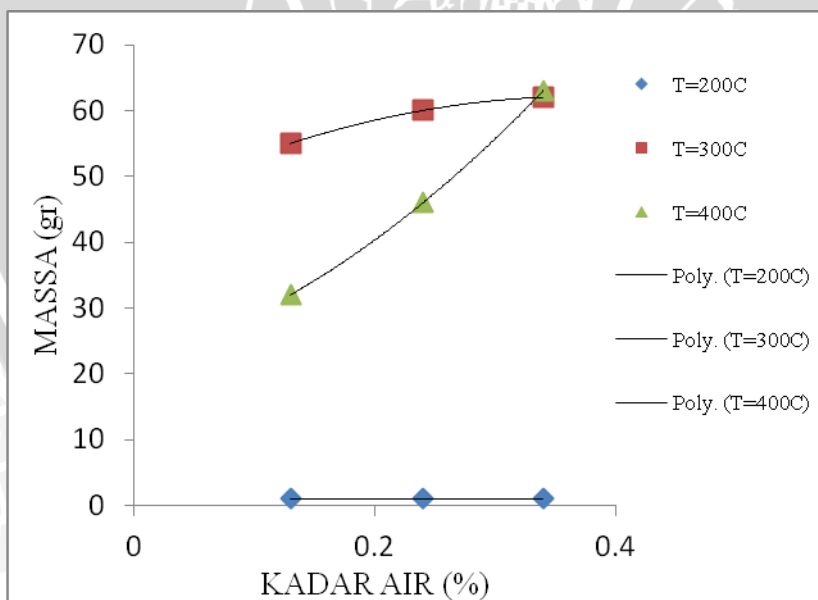
tersebut terjadi karena semakin tinggi kadar air bahan uji proses pengeringan bahan uji semakin lama sehingga proses dekomposisi bahan uji akan terjadi lebih singkat jika dibandingkan dengan bahan uji dengan kadar air yang lebih rendah, proses dekomposisi yang lebih singkat ini menyebabkan air dan *volatile matter* yang dihilangkan dari bahan uji lebih sedikit, *fix carbon* yang terkandung dalam *char* juga semakin sedikit dan menyebabkan nilai kalornya semakin rendah. Demikian pula sebaliknya semakin rendah kadar air bahan uji maka waktu yang di perlukan untuk pengeringan bahan uji semakin cepat sehingga proses dekomposisi bahan uji yang terjadi semakin lama, proses dekomposisi yang lama ini menyebabkan *volatile matter* dan air yang dihilangkan semakin banyak, *fix carbon* yang terbentuk semakin banyak serta nilai kalornya semakin meningkat.

Pada grafik dapat terlihat bahwa nilai kalor terbesar terjadi pada kadar air bahan uji 13% dan temperatur 400°C dengan nilai kalor sebesar 3880 kal/gr.

4.2.3 Produk Pirolisis Berupa Tar

a. Hubungan antara Kadar Air Bahan Uji dan Massa Tar

Hubungan antara kadar air bahan uji pirolisis dan massa *tar* dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 : Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan massa *tar*

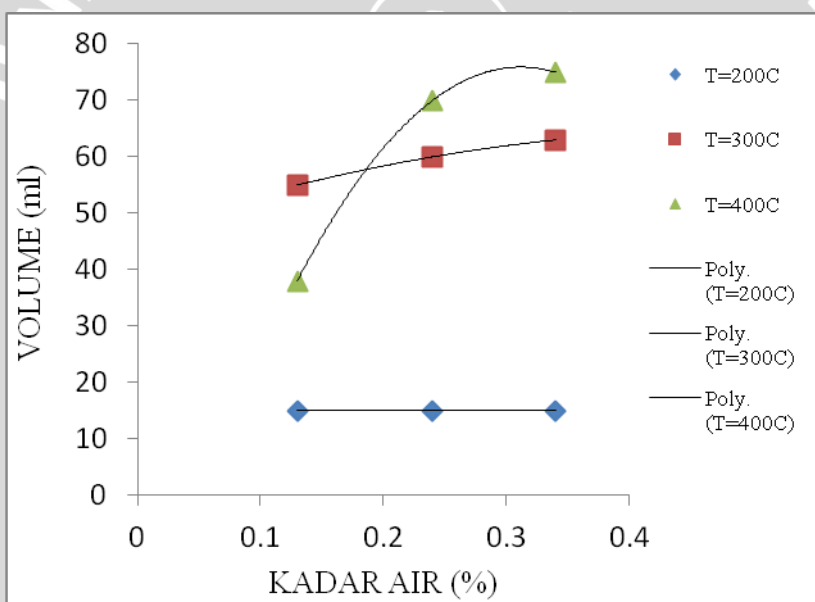
Gambar 4.4 menunjukkan produk hasil pirolisis berupa campuran antara *tar*. Dari gambar terlihat bahwa semakin tinggi kadar air bahan uji massa *tar* yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tinggi kadar

air bahan uji akan menyebabkan semakin banyak air yang menguap bersama *volatile matter* dan kemudian terkondensasi dan tercampur menjadi *tar*. Massa *tar* yang terbentuk semakin banyak tetapi *tar* yang terbentuk semakin tidak murni karena kandungan air yang ada dalam *tar* juga semakin banyak

Dari ketiga variasi temperatur, didapatkan massa *tar* tertinggi terjadi pada saat temperatur 400 °C, dan terendah pada 200 °C. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya maka semakin banyak pula bahan uji yang akan terdekomposisi menjadi *tar* dan gas. Dari penelitian ini didapatkan nilai optimum untuk produksi *tar* tertinggi terjadi pada saat temperatur 400 °C.

b. Hubungan antara Kadar Air Bahan Uji dan Volume *Tar*

Hubungan antara kadar air bahan uji pirolisis dan volume *tar* dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5: Grafik hubungan kadar air bahan uji pirolisis dan volume *tar*

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa semakin tinggi kadar air bahan uji volume *tar* yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tinggi kadar air bahan uji akan menyebabkan semakin banyak air yang menguap bersama *volatile matter* dan kemudian terkondensasi menjadi *tar*. Volume *tar* yang terbentuk semakin banyak tetapi *tar* yang terbentuk semakin tidak murni karena kandungan air yang ada dalam *tar* juga semakin banyak

Dari ketiga variasi temperatur, didapatkan volume *tar* tertinggi terjadi pada saat temperatur 400 °C dan terendah pada temperatur 200 °C. Semakin tinggi temperatur

pirolisisnya maka semakin banyak pula sampah yang akan terdekomposisi menjadi *tar* dan gas.

Perbandingan Padatan Hasil Pirolisis dengan Berbagai Kadar Air Bahan Uji

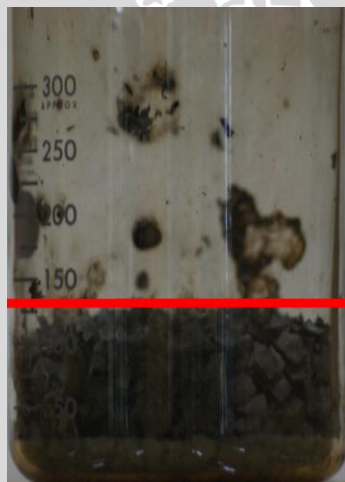
a. Kadar Air 34%



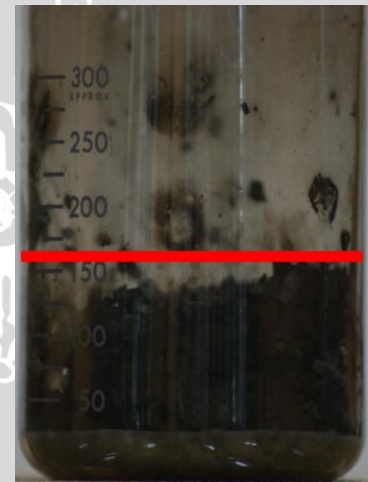
Sebelum Pirolisis



200 °C



300 °C



400 °C

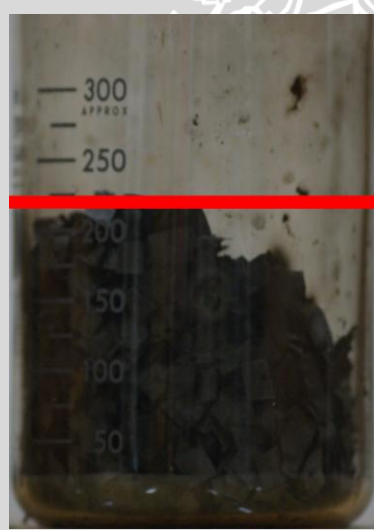
b. Kadar Air 24%



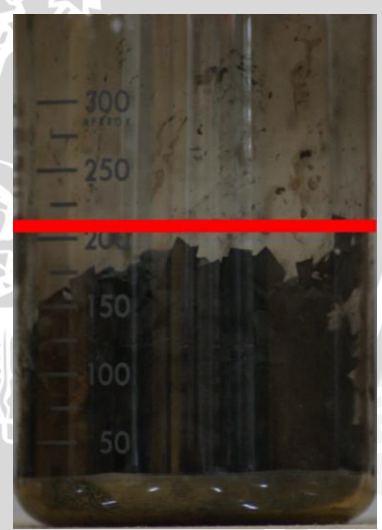
Sebelum Pirolisis



200 °C



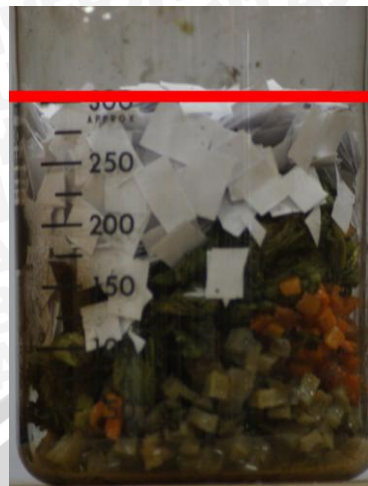
300 °C



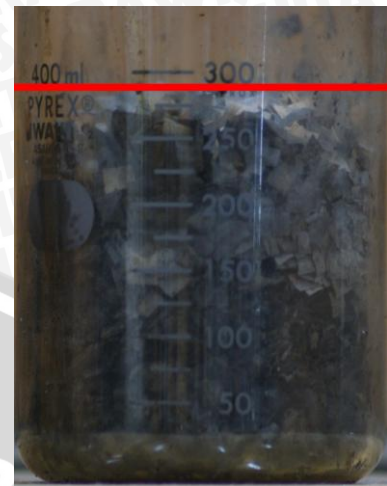
400 °C



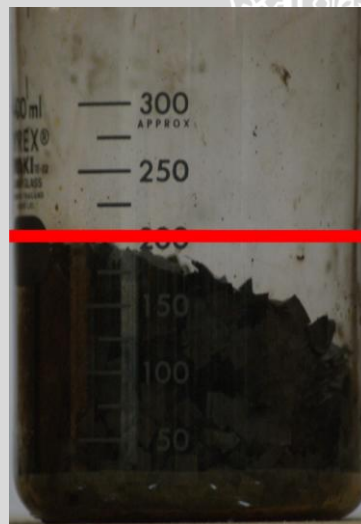
c. Kadar Air 13%



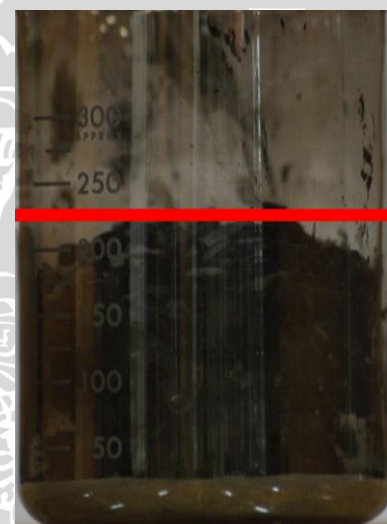
Sebelum



200 °C



300 °C



400 °C

Gambar 4.6 : Perbandingan padatan hasil pirolisis dengan berbagai variasi kadar air bahan uji dan temperatur pirolisis

Perbedaan padatan hasil pirolisis dapat dianalisa secara visual dengan melihat perbedaan warna dari padatan hasil pirolisis yang difoto. Perbandingan padatan hasil pirolisis dengan berbagai variasi kadar air bahan uji dan temperatur pirolisis dapat dilihat pada gambar 4.6.

Dari gambar 4.6 secara visual terlihat bahwa semakin rendah kadar air bahan uji warna *char* yang terbentuk juga semakin hitam pekat. Hal ini terjadi menandakan

bahwa bahan uji dengan kadar air rendah mengalami dekomposisi yang lebih sempurna dibandingkan bahan uji dengan kadar air tinggi.

Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa bahan uji sebelum dipirolisis masih berwarna alami dan bahan uji yang dipirolisis 200 °C mulai berubah warna menjadi kecoklatan. Hal tersebut terjadi karena bahan uji yang belum dipirolisis masih mengandung kadar air yang sangat tinggi, sedangkan bahan uji yang dipirolisis 200 °C kadar airnya menjadi lebih sedikit dari sebelumnya.

Pada temperatur 300 °C warna bahan uji tersebut menjadi coklat gelap. Hal itu dikarenakan hanya sebagian hemiselulosa yang terdekomposisi. Dan pada temperatur 300 °C bahan uji berwarna hitam dan lebih gelap daripada temperatur 200 °C. Penyebabnya, karena hemiselulosa telah terdekomposisi sepenuhnya. Sedangkan lignin dan selulosa belum sepenuhnya terdekomposisi.

Namun saat temperatur 400 °C, warna dari bahan uji berubah menjadi lebih hitam. Warna hitam pekat ini dari warna *char*. Pada tahap ini hanya lignin yang belum sepenuhnya terdekomposisi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa komponen-komponen biomassa telah terdekomposisi sepenuhnya, dan menyisakan *char* sebagai hasil padatan (*solid residue*).

Dari gambar diatas secara visual terlihat bahwa semakin rendah kadar air bahan uji warna *char* yang terbentuk juga semakin hitam pekat. Hal ini terjadi karena proses penguapan air berjalan cepat sehingga semakin terdekomposisi sempurna dan menghasilkan *char* yang lebih hitam.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa grafik serta pembahasan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- Semakin tinggi kadar air bahan uji pirolisis menyebabkan penurunan massa dan volume *char* (arang) yang terbentuk semakin besar.
- Semakin rendah kadar air bahan uji, warna *char* (arang) setelah pirolisis akan semakin gelap dan semakin mengkilap.
- Semakin rendah kadar air bahan uji maka nilai kalor akan semakin meningkat. Pada penelitian ini nilai kalor terbesar terjadi pada kadar air bahan uji 13% dan temperatur 400°C dengan nilai kalor sebesar 3880 kal/gr. Hal ini jauh bila dibandingkan dengan sampah rumah tangga tanpa mengalami proses pirolisis yang memiliki nilai kalor sebesar 30,39 kal/gr.
- Semakin tinggi kadar air maka volume dan massa *tar* yang dihasilkan semakin besar tetapi semakin tidak murni.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemurnian *tar* hasil pirolisis yang bercampur uap air.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang produk gas hasil pirolisis sampah rumah tangga.
3. Penempatan *thermocouple* pada piroliser diharapkan lebih banyak agar lebih teliti dalam pembacaan temperatur.

Daftar Pustaka

- Agustina, D. 2009. Kadar Lignin dan Tipe Monomer Penyusun Lignin Pada Kayu Akasia. Bogor
- Beall, F.C. & Eickner, H.W. 1970. *Thermal degradation of wood components*. a review of literature, Forest Service Research, Paper FPL 130, 0363-6259.
- Bridgwater, A. V. 2004. *Biomass Fast Pyrolysis*. Thermal Science **8**(2): 49.
- Bock, B. 2006. *Feasibility of Renewable Energy from poultry litter in the TVA Region*. EPRI, Palo Alto, CA and Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, AL. 1010486.
- Cengel, Yunus A & Michail A Boles. 2002. *Thermodynamics : An Engineering Approach*. New York : Mc Graw Hill Higher Education.
- Diblasi, C. 2008. *Modelling Chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis*. Prog. energy combust,sci.2008
- Djatnika, S.S.D.2010.Penerapan Teknologi Plasma Pada Pemusnahan Sampah Kota. Bandung.
- Fadhilah, A.et-al. 2011. Kajian Pengolah Sampah Kampus Jurusan Arsitektur Universitas Diponegoro. Semarang
- Funazukuri, T., R. Hudgins and P. Silveston. 1986. *Product distribution in pyrolysis of cellulose in microfluidized bed*. J. Anal. Pyrolysis. Vol. 9: 139-158.
- Hajaligol, M., J. Howard, J. Longwell & A. Peters. 1982. *Product composition and kinetics of rapid pyrolysis of cellulose*. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. Vol. 21: 457-465.
- Heriansyah, I. 2005. Potensi Pengembangan Energi dari Biomassa Hutan di Indonesia. *Inovasi Online, Majalah Inovasi, PPI Jepang*. Vol.5/XVII/Nov2005.
- Himawanto, D. A. 2005. *Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket Sampah Kota*. MEDIA MESIN (2) : 84-91.
- Kersten, S. R. A., X. Wang, W. Prins & W. P. M. vanSwaaij. 2005. *Biomass Pyrolysis in a Fluidized Bed Reactor. Part 1: Literature Review and Model Simulations*. Industrial & Engineering Chemistry Research **44**(23): 8773-8785.
- Klass, L. D. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. San Diego, Academic Press.
- Koufopoulos, C. A., G. Maschio & A. Lucchesi. 1989. *Kinetic modeling of the pyrolysis of biomass and biomass components*. Canadian Journal of Chemical Engineering. Vol. 67. pp. 75-84.
- Mohan, D., C. U. Pittman & P. H. Steele. 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. Energy & Fuels **20**(3): 848-889.

- Nadiana, M.et-al. 2009. Managemen Pengangkutan Sampah di Kota Amlapura. Denpasar
- Sadaka. S. 2007. *Pyrolysis*. Department of Agricultural and Biosystems Engineering Iowa State University. Nevada.
- Scott, D. S, J. Piscorz, M.A. Bergougnou, R. Graham & R.P. Overend. 1988. *The Role of Temperature in Fast Pyrolysis of Cellulose and Wood*. Industrial Engineering Chemical Research., 27: 8-11.
- Siemons, R.V. 2005. Bio-oil Production From Biomass The Pyrolysis process. The netherland
- Soltes, E. & T. Elder. 1981. Pyrolysis. *In Organic Chemicals from Biomass*. Goldstein IS. (ed.) CRC Press, Florida. 63-100.
- Shovitri, M & Dwianita, N.K. 2010. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Aerob Pendeградasi Selulosa Dari Serasah Daun Rumput Gajah. ITS. Surabaya.
- JIE. 2002. *The Asian Biomass Handbook*.
- Vesilind, P. A., Worrell, W., & Reinhart, D. 2002. *Solid waste engineering*. Brooks/Cole, Pacific Grove, California, USA.
- Wenzl, H. 1970. *The Chemical Technology of Wood*. Academic Press, New York
- Winarti, C & Mursono, J. 2005. Kajian Kontaminasi Dioksin Pada Bahan Pangan. Balai penelitian dan pengembangan pasca panen
- Harborfreight.com/oxygen-regulator-94846.html
- Isroi.com/2008/11/23/karakteristik-lignoselulosa.html
- Organiksmksmakassar3a25.blogspot.com/2013/03/karbohidrat.html
- Moharifr.blogspot.com/2012_4_01_archive.html
- Wikipedia.org/wiki/orifice_plate

LAMPIRAN 1**HASIL SURVEI SAMPAH DI DAERAH SUMBERSARI GANG I RT. 08
HARI KE 1 (26/9/2012)**

NO KK	BERAT SAMPAH (GRAM)					KETERANGAN
	PLASTIK	ORGANIK	BOTOL	KALENG	LAIN-LAIN	
1	500	1600	0	0	200	lain-lain = gabus
2	400	750	0	150	0	
3	300	2100	0	0	0	
4	150	1850	0	0	0	
5	200	550	0	0	0	
6	150	2400	0	0	0	
7	600	1300	0	0	0	
8	200	600	0	0	0	
9	200	750	0	0	0	
10	350	1900	0	0	0	
TOTAL	3050	13800	0	150	200	

Total sampah = 17200 gram
 % plastik = 17.73%
 % organik = 80.23%
 % kaleng = 0.87%
 % lain-lain = 1.16%

HARI KE 2 (27/9/2012)

NO KK	BERAT SAMPAH (GRAM)					KETERANGAN
	PLASTIK	ORGANIK	BOTOL	KALENG	LAIN-LAIN	
1	300	1650	0	0	0	
2	100	2000	0	0	200	lain-lain =kaca
3	350	1300	0	0	0	
4	350	2200	0	0	150	lain-lain =kaca
5	350	1100	0	0	0	
6	150	4350	0	0	0	
7	300	2800	0	0	0	
8	250	2750	0	0	150	lain-lain =kaca
9	200	250	0	0	0	
10	500	2900	0	0	0	
TOTAL	2850	21300	0	0	500	

Total sampah = 24650 gram
 % plastik = 11.56%
 % organik = 86.41%
 % lain-lain = 2.03%

LAMPIRAN 2

HARI KE 3 (28/9/2012)

NO KK	BERAT SAMPAH (GRAM)					KETERANGAN
	PLASTIK	ORGANIK	BOTOL	KALENG	LAIN-LAIN	
1	5	1400	0	0	0	
2	200	700	0	0	0	
3	250	900	0	0	0	
4	300	2500	0	0	0	
5	200	900	0	0	0	
6	300	1450	0	0	0	
7	300	1200	0	0	300	Lain-Lain = Baterai
8	10	2400	0	0	0	
9	5	20	0	0	0	
10	150	1000	0	0	0	
TOTAL	1720	12470	0	0	300	

Total sampah = 14490 gram
 % plastik = 11.87%
 % organik = 86.06%
 % lain-lain = 2.07%

HARI KE : 4 (29/9/2012)

NO KK	BERAT SAMPAH (GRAM)					KETERANGAN
	PLASTIK	ORGANIK	BOTOL	KALENG	LAIN-LAIN	
1	200	1550	0	0	0	
2	300	1100	0	200	0	
3	250	1200	0	0	0	
4	300	2400	0	0	0	
5	300	800	0	0	0	
6	200	2500	0	0	0	
7	350	1500	0	0	0	
8	100	2350	0	0	0	
9	150	100	0	0	0	
10	300	1900	0	0	0	
TOTAL	2450	15400	0	200	0	

Total sampah = 18050
 % plastik = 13.57%
 % organik = 85.32%
 % botol = 0.00%
 % kaleng = 1.11%
 % lain-lain = 0.00%

LAMPIRAN 3

HARI KE : 5 (30/9/2012)

NO KK	BERAT SAMPAH (GRAM)					KETERANGAN
	PLASTIK	ORGANIK	BOTOL	KALENG	LAIN-LAIN	
1	150	1400	0	0	0	
2	250	1500	0	0	0	
3	200	1100	0	0	0	
4	300	2300	0	0	0	
5	250	600	0	0	0	
6	200	1900	0	0	0	
7	400	1600	0	0	0	
8	150	2200	0	0	0	
9	100	150	0	0	0	
10	400	2300	0	0	0	
TOTAL	2400	15050	0	0	0	

Total sampah = 17450
 % plastik = 13.75%
 % organik = 86.25%
 % botol = 0.00%
 % kaleng = 0.00%
 % lain-lain = 0.00%

