

ANALISIS THERMAL PADA REAKTOR PIROLISIS BIO-ARANG

SKRIPSI

**OLEH:
FREDDY SAPUTRA TUA SILABAN
14.813.0019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/8/22

Access From (repository.uma.ac.id)10/8/22

HALAMAN JUDUL

ANALISIS THERMAL PADA REAKTOR PIROLISIS BIO-ARANG

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

FREDDY SAPUTRA TUA SILABAN
14.813.0019

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : ANALISIS THERMAL PADA REAKTOR
PIROLISIS BIO-ARANG
Nama Mahasiswa : FREDDY SAPUTRA TUA SILABAN
NIM : 148130019
Bidang Keahlian : Konversi Energi

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area**

Nama Dosen Pembimbing I : Ir. Amirsyam Nasution, MT
NIDN : 0025125606
Nama Dosen Pembimbing II : Muhammad Idris, ST, MT
NIDN : 0106058104

Dosen Pembimbing II, Medan, 30 Mei 2022
Dosen Pembimbing I,

(Muhammad Idris, ST, MT)
NIDN: 0106058104

(Ir. Amirsyam Nasution, MT)
NIDN: 0025125606

Dekan Fakultas Teknik Mengetahui :
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom
NIDN: 0105058804

(Muhammad Idris, S.T., M.T.)
NIDN: 0106058104



HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 20 April 2022



(Freddy Saputra Tua Silaban)
NPM.148130019

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

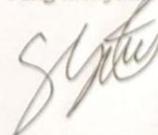
Nama : Freddy Saputra Tua Silaban
NPM : 148130019
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Thermal Pada Reaktor Pirolisis Bio-Arang. Dengan Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 30 Mei 2022

Yang menyatakan



(Freddy Saputra Tua Silaban)
NPM.148130019

ABSTRAK

Arang mempunyai aplikasi besar di pertanian dan sektor lainnya. Terlepas dari potensi manfaatnya, teknologi skala kecil yang relevan untuk produksinya tetap menjadi tantangan. Teknologi menyeimbangkan keseimbangan antara keramahan pengguna, efisiensi energi, kemudahan adaptasi dan emisi terbatas dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam komunitas lokal untuk berkelanjutan produksi biochar menjawab aspek teknis dan sosial ekonomi. Teknologi ini dapat disesuaikan untuk memulihkan panas yang dihasilkan bersama biochar dan gas produsen. Itu Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk meninjau keadaan seni dalam teknologi skala kecil, yang terkait risiko dan tantangan serta kesenjangan penelitian untuk pekerjaan di masa depan. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biochar telah dibahas dan temperatur diketahui sangat mempengaruhi biomassa menjadi konversi biochar proses. Berdasarkan pekerjaan yang ditinjau, ada kebutuhan untuk mengembangkan dan mempromosikan berkelanjutan dan teknologi efisien yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem produksi biochar. Ada juga selanjutnya perlu mengembangkan teknologi portabel yang layak secara ekonomi yang dapat diintegrasikan ke dalamnya proses produksi biochar tanpa mengurangi kualitas biochar yang diproduksi. Teknologi seperti itu pada tingkat tengah dapat disalurkan ke penggunaan petani skala kecil konvensional agar para petani dapat memproses biochar mereka sendiri.

Kata Kunci : Pirolisis, Biochar, Jengkol

ABSTRACT

Charcoal has great applications in agriculture and other sectors. Despite the potential benefits, the relevant small-scale technologies for their production remain a challenge. The technology balancing the balance between user friendliness, energy efficiency, ease of adaptation and limited emissions can be easily integrated into local communities for sustainable biochar production addressing technical and socio-economic aspects. This technology can be adapted to recover the heat generated with the biochar and producer gas. The aim of this work is to review the state of the art in small-scale technology, the associated risks and challenges and research gaps for future work. The factors influencing biochar production have been discussed and temperature is known to greatly affect the biomass to biochar conversion process. Based on the work reviewed, there is a need to develop and promote sustainable and efficient technologies that can be integrated into biochar production systems. There is also a further need to develop economically viable portable technologies that can be integrated into the biochar production process without compromising the quality of the biochar produced. Such technology at mid-level could be channeled to conventional small-scale farmer use so that farmers can process their own biochar.

Keywords: Pyrolysis, Biochar, Jengkol

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa yang

senantiasa melimpahkan rahmatNya kepada kita, terkhususnya dalam penulisan skripsi ini sehingga dapat selesai. Tugas akhir ini saya laksanakan di laboratorium teknik mesin Universitas Medan Area. Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area. Pada kesempatan ini tak lupa kami mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir. H. Dadan Ramdan, M.Sc, M.Eng selaku Rektor Universitas Medan Area yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini..
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Indra Hermawan, ST., MT., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membantu dalam administrasi di Fakultas Teknik.
4. Bapak Muhammad Idris, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area sekaligus sebagai Dosen Pembimbing II, Yang telah bersedia meluangkan waktunya membimbing, mengarahkan, memberikan perhatian serta motivasi dan telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi
5. Bapak Ir. H. Amirsyam Nasution, selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktunya membimbing, mengarahkan, Dan memberikan motivasi.
6. Segenap Dosen dan Biro Administrasi Fakultas Teknik
7. Bapak saya Bleider Pieter Silaban dan Mamak ku Dorsi Boru Lumban Tobing yang telah banyak membantu menyemangati, memberikan semua yang ku perlu selama di Medan.
8. Adik saya Elkana Riski Silaban yang sudah memberikan dukungan berupa emosi.
9. Senior, Junior, Dan kawan - kawan yang telah banyak memberikan bantuan selama di Medan.
10. Segenap kawan-kawan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
11. Dan pada Poppy Julita Simanjuntak yang telah mendukung saya.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis dan semua pembaca.
Amin

Medan, 6 Juni 2022

Freddy Saputra Tua Silaban

148130019

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1. 1. Latar Belakang	1
1. 2. Rumusan Masalah	3
1. 3. Tujuan Penelitian.....	3
1. 4. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2. 1. Analisis Thermal	5
2.1.1. Thermografimetry	5
2.1.2. Differential Thermal Analysis	6
2.1.3. Differential Scanning Calorymentry.....	6
2.1.4. Thermomechanical Analysis.....	7
2. 2. Reaktor	8
2.2.1. Fixed Bed Reaktor	9

2.2.2. Fluidized Bed Reaktor	10
2.2.2.1. Bubling Fluidized Bed Reaktor.....	11
2.2.2.2 Circulating Fluidized Bed Reaktor	12
2.2.3. Ablative Reaktor	14
2.2.3.1 Vortex Reaktor.....	15
2.2.3.2 Rotating disk Reaktor	16
2.2.4. Vacum Pyrolysis Reaktor	17
2.2.5 Rotating Cone Reaktor.....	17
2.2.6. Pyro Reaktor.....	18
2.2.7. Auger Reaktor	19
2.2.8. Plasma Reaktor.....	20
2.2.9. Microwave Reaktor	20
2.2.10. Solar Reaktor.....	21
2.3. Pirolisis.....	22
2.3.1. Klasifikasi Pirolisis	23
2.3.1.1. Pirolisis Lambat.....	23
2.3.1.2 Pirolisis Cepat	23
2.3.1.2 Pirolisis Flash.....	24
2.4. Konduktivitas	24
2.5. Perpindahan Kalor.....	26
2.5.1. Konduksi	26
2.5.2 Konduktivitas Thermal.....	27
2.6. Pengertian Sensor Suhu.....	30
2.6.1. Thermocouple	30
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	34
3. 1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	34
3. 2. Alat dan Bahan	34
3.2.1. Alat.....	34
3.2.1.1. Mesin Las.....	34
3.2.1.2. Mesin Gerinda Potong	35

3.2.1.3 Mesin Gerinda Tangan.....	36
3.2.1.4. Mesin Bor Tangan	36
3.2.1.5. Mesin Tekan	37
3.2.1.6. Jangka Sorong.....	38
3.2.1.7. Meteran Gulung	38
3.2.1.8. Thermometer Digital.....	38
3.2.1.9. Pipa	39
3.2.1.10. Besi Plat	40
3.2.1.11. Keran.....	40
3.2.2 Bahan	41
3.2.2.1. Kawat Las	41
3.2.2.2. Lem Dexton	41
3.2.2.3. Isolatip	42
3.2.2.4. Kulit Jengkol.....	42
3.3. Prosedur Penelitian	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4. 1. Laju Aliran Konduksi Pada Dasar Tabung.....	45
4. 2 Laju Aliran Konveksi Dalam Tabung	48
BAB 5 PENUTUP.....	50
5. 1. Kesimpulan.....	50
5. 2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Konduktivitas Thermal Pada Berbagai Bahan	29
Tabel 4. 1. Data Hasil Pengukuran	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik Temperatur FG	5
Gambar 2. 2. Grafik Temperatur DTA.....	6
Gambar 2. 3. Grafik Temperatur DSC	7
Gambar 2. 4. Grafik Temperatur TMA	8
Gambar 2.5 Penampang Fixed Bed Reaktor	10
Gambar 2.6. Penampang Fluidized Bed Reaktor	11
Gambar 2.7. Penampang Bubling Fluidized Bed Reaktor	12
Gambar 2.8. Single Circulating Fluidized Bed Reaktor.....	12
Gambar 2.9. Double Circulating Fluidized Bed Reaktor	13
Gambar 2.10. Skema Reaktor Ablative.....	15
Gambar 2.11. Penampang Reaktor Vortex.....	16
Gambar 2.12. Rotating Disk Reaktor	16
Gambar 2.13. Skema Vakum Pirolisis	17
Gambar 2.14. Skema Rotating Cone Reaktor	17
Gambar 2.15. Skema pyro Reaktor	19
Gambar 2.16 Skema Auger Reaktor.....	19
Gambar 2.17. Plasma Reaktor.....	20
Gambar 2.18. Microwave Reaktor	21
Gambar 2.19. Solar Reaktor	22
Gambar 2.20. Proses Perpindahan Reaktor	25
Gambar 2.21. Proses Perpindahan Kalor Pada 2 Benda yang Bersentuhan	26
Gambar 2.22. Proses Aliran Kalor pada Suatu Penampang	27
Gambar 2.23 Laju Aliran Kalor	28
Gambar 2.24. Sensor Suhu Thermocoule.....	31
Gambar 3.1. Mesin Las Karbit	35
Gambar 3.2. Mesin Las Listrik AC	35
Gambar 3.3 Mesin Gerinda Potong.....	36

Gambar 3.4 Mesin Gerinda Tangan	36
Gambar 3.5 Mesin Bor Tangan	37
Gambar 3.6 Mesin Tekan	37
Gambar 3.7. Jangka Sorong	38
Gambar 3.8. Meter Gulung.....	39
Gambar 3.9 Display dan sensor suhu	39
Gambar 3.10 Thermocouple tipe K dan Thermocouple digital.....	39
Gambar 3.11. Pipa 1 cm	39
Gambar 3.12. Besi Plat 5mm.....	40
Gambar 3.13. Keran Air 1/2 inch	40
Gambar 3.14 Kawat Las	41
Gambar 3.15 Lem Dexton	41
Gambar 3.16 Isolatip	42
Gambar 3.17 Kulit Jengkol.....	42
Gambar 3.18 Set Up Peralatan	43
Gambar 3.19 Pemanasan Tabung Menggunakan Kompor Gas	44
Gambar 3.20 Diagram Alir Penelitian.....	45
Gambar 4.1 Set up Aliran Panas Pada Tabung.....	46
Gambar 4.2 Hantaran Panas Pada Tabung	48

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1. Laju Aliran Konveksi Panas Terhadap Waktu.....	50
Grafik 4. 2. Laju Aliran Konduksi Panas Terhadap Waktu.....	50



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang kaya akan sumber daya terutama sumber daya alam (SDA). Namun seiring perkembangan zaman SDA yang digunakan pun akan habis dan tidak dapat diperbaharui. Maka banyak dilakukan penelitian-penelitian untuk menggantikan SDA yang akan habis tersebut. Adapun sumber daya yang akan menjadi pengganti SDA tersebut dinamakan dengan energy alternative.

Ada banyak jenis energy alternative yang sudah berkembang hingga saat ini. Dan salah satunya adalah biomassa [1]. Biomassa sendiri dapat di olah dengan berbagai cara antara lain, Gasifikasi merupakan proses dimana pengoksidasi dengan mengubah sebagian bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas. Pembakaran merupakan proses dimana pengoksidasi biomassa dapat dilakukan dengan menyeluruh dan dipindahkan menjadi panas, kekurangan dari proses ini ialah menjadi satu-satunya proses dengan tingkat polusi yang tinggi karena proses ini merupakan proses eksotermik jadi sangat berdampak pada lingkungan. Pyrolysis sendiri merupakan proses yang memadukan antara proses pembakaran dan proses gasifikasi dan proses ini dapat dijelaskan menjadi proses pemanasan bahan biomassa tanpa atau sedikit oksigen sehingga bahan menjadi gas dan struktur kimianya menjadi terpecah. [2]

Pada kali ini kita akan membahas pengolahan biomassa dengan cara pirolisis. Biomassa dengan di proses secara pyrolysis maka akan menghasilkan

beberapa zat antara lain: zat arang atau karbon (C), hidrogen (H), zat asam atau oksigen (O), nitrogen (N), belerang (S), abu dan air, yang semuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia. [3] dan dari beberapa zat diatas kita akan memperoleh beberapa zat yang akan diolah dan dikembangkan

Setelah proses pyrolysis dilakukan maka akan ada 3 jenis produk yang akan dihasilkan yaitu berupa padatan (charcoal/ arang), gas (fuel gas) dan cairan (bio-oil) [4]. Padatan dapat diolah kembali menjadi bahan bio-arang yang dapat berguna sebagai bahan bakar dalam proses pembuatan makanan-makanan ringan yang sekarang ini banyak di gandrungi atau diminati oleh masyarakat dari berbagai kalangan. Gas dapat menjadi produk bahan bakar yang dapat langsung digunakan, akan tetapi untuk tahapan pengolahannya sendiri memerlukan proses yang sedikit rumit dan jangka waktu yang sedikit agak lama. Sementara untuk produk yang berupa cair sendiri dapat dikembangkan menjadi bahan bakar bio-fuel, dengan cara mengkondensasi asap yang keluar dari reaktor akan memperoleh produk zat cair dan zat cair tersebut akan di campur dengan bio ethanol yang nantinya akan dapat di pergunakan sebagai bahan bakar bio-fuel.

Reactor merupakan tempat berlangsungnya proses pirolisis. Reactor dibuat dari bahan yang tebal agar dapat menghantarkan laju panas yang akan disebarkan ke seluruh bagian dari biomassa yang terdapat di dalam tabung reactor sehingga biomassa sendiri dapat memperoleh panas yang rata. Reactor akan di beri panas $350^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ untuk memaksimalkan proses pembakaran dalam sehingga akan terbentuk asap dari bahan biomassa yang diolah. [5]

Pada proses pirolisis ini dibutuhkan proses pindah panas untuk memecahkan struktur dari susunan zat dari biomassa. Pindah panas atau yang kerap dikatakan

sebagai *thermal cracking* merupakan proses penting dan merupakan menjadi kunci dari proses pirolisis. Reaktor digunakan untuk menentukan kualitas dari pindah panas, waktu proses dari fase gas dan fase cair dan keluaran dari produk utama [6]

Peneliti berharap agar dengan adanya alat ini dan segala penelitian yang dilakukan dapat membantu masyarakat untuk lebih meningkatkan penggunaan bio-arang menjadi sumber bahan bakar pengganti dari bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Bahwa dalam eksperimen penelitian sebelumnya telah diperoleh laju perpindahan panas. Dan kemudian penulis merasa perlu meningkatkan laju perpindahan panas dengan cara memodifikasi hasil pirolisis untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah ada maka penulis melihat rumusan masalah yang ada, antara lain:

1. Bagaimana hasil rancang bangun dari alat pirolisis yang simple dan dapat di aplikasikan di tengah-tengah kehidupan masyarakat?
2. Bagaimana cara menentukan karakter biomassa yang sesuai dengan tabung reactor agar dapat menghasilkan produk yang maksimal?

1.3. Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan Umum

Memodifikasi

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menganalisis laju perpindahan panas.
2. Menentukan jenis pirolisis

3. Modifikasi reaktor pirolisis untuk proses pirolisis biomassa kulit jengkol

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan kita peroleh dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti adalah sebagai berikut

1. Menambah wawasan dan referensi bagi dunia akademik dalam hal perancangan, penelitian, dan penerapan dari teori-teori yang didapat mahasiswa tentang analisa tentang proses analisis thermal pada reactor pirolisis.
2. Memberikan informasi terkait dengan efektivitas dari alat pirolisis bio-arang
3. Membantu membuka pikiran masyarakat betapa pentingnya kita mencari energy terbarukan untuk mengganti penggunaan energy fosil.
4. Sebagai referensi bagi mahasiswa lainnya yang ingin mengembangkan dan meneliti alat ini dikesempatan selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis thermal

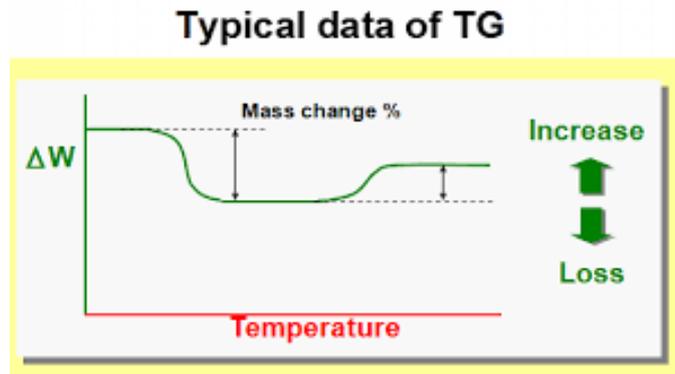
Analisis thermal merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang perubahan struktur material yang dapat terjadi dalam fase padat, cair, dan gas. Mempelajari perubahan struktur suatu material sangat penting dalam dunia Riset dan Pengembangan, *Quality Control*, maupun *failure analysis*.

Analisis thermal dibedakan menjadi beberapa jenis antara lain:

- a. TG (*Thermogravimetry*)
- b. DTA (*Differential Thermal Analysis*)
- c. DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)
- d. TMA (*Thermomechanical Analysis*)

2.1.1 *Thermogravimetry*(TG)

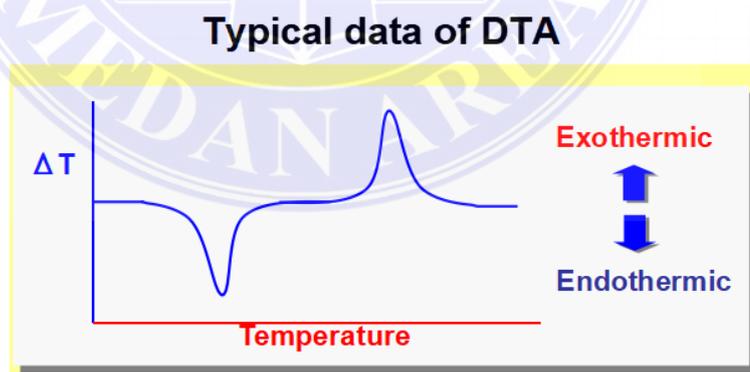
Pengukuran dengan cara TG dapat memberi kita informasi tentang perubahan fisik akibat fase transisi yang mencakup penguapan, penyubliman (Padat → Gas), absorpsi (masuknya molekul kedalam), adsorpsi (menempelnya molekul pada permukaan), dan desorpsi (pelepasan ion). Dengan pengukuran TG ini kita dapat mengetahui bahwa sampel dapat bertambah atau berkurang dari berat sebelumnya seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



gambar 2.1 grafik temperature TG

2.1.2 Differential Thermal Analysis(DTA)

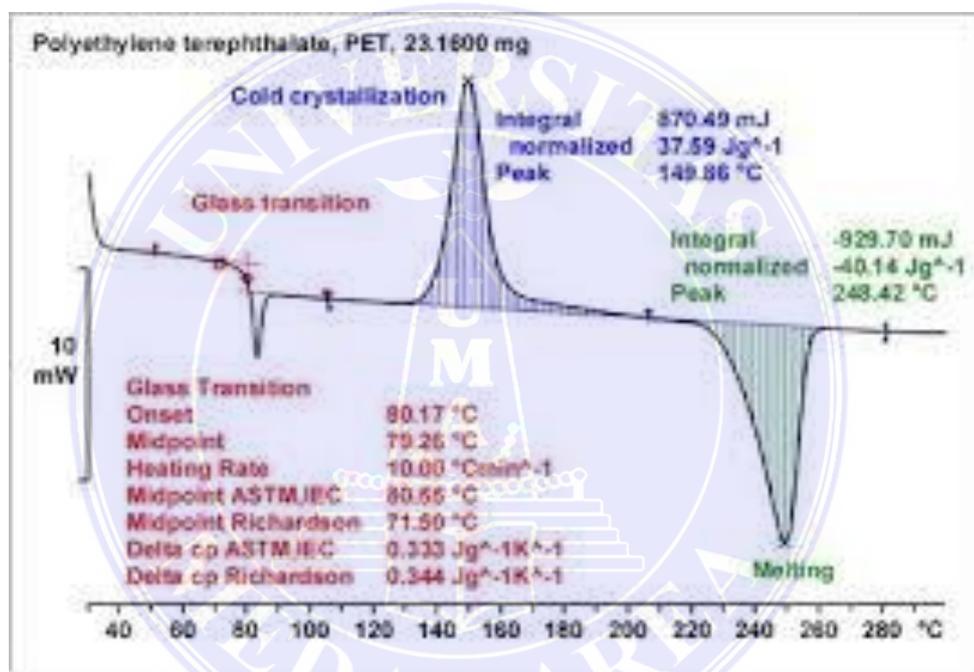
Metode pengukuran DTA ini sama halnya dengan metode pengukuran TG yang diatas hanya saja terdapat perbedaan berupa proses yang akan diteliti. Metode pengukuran dengan DTA memberikan informasi tentang transformasi transisi glass (transisi sempit yang dibatasi oleh temperature glassy dengan temperature rubbery), kristalisasi (gas→padat), mencair (padat→cair), menyublim(padat→gas) seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



gambar 2.2 grafik temperature DTA.

2.1.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC merupakan teknik analisis thermal yang mengukur energy yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Prinsip dasar dari teknik ini adalah bahwa ketika sampel mengalami transformasi fisik (perubahan bentuk), perubahan panas akan diperlukan untuk mengalir dari referensi dan sampel untuk mempertahankan keduanya pada suhu yang sama dan teknik ini akan sangat berpengaruh pada proses eksotermik (mengkristal) atau endotermik (mencair) seperti yang terlihat pada gambar2.3.

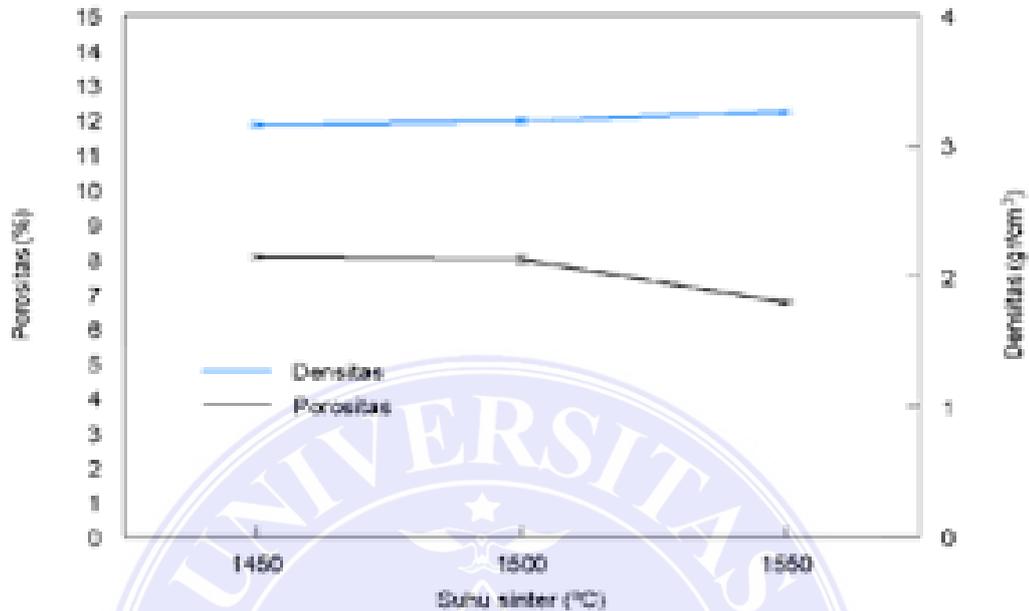


gambar 2.3 grafik temperature DSC

2.1.4 Thermomechanical Analysis (TMA)

Dapat digunakan untuk berbagai aplikasi karena kisaran suhunya yang luas dan pilihan parameter gaya yang bervariasi dalam mode kompresi dan tegangan. TMA dapat memperoleh informasi-informasi dari sampel sebagai berikut lapisan tipis, silinder sampel besar, serat halus, lapisan film, pelat, polimer rusak atau keras,

dan Kristal tunggal. TMA merupakan teknik yang sempurna jika di padukan dengan DSC seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



gambar 2.4 grafik temperature TMA

Analisis yang saya gunakan dalam percobaan ini adalah analisis dengan menggunakan *Thermogravimetry* (TG). Karena analisis dengan menggunakan metode ini simple dan mudah diterapkan dalam penguunaannya

2.2 Reaktor

Reaktor merupakan wadah yang menjadi inti dari setiap proses pirolisis. Reaktor telah menjadi subjek penelitian, inovasi dan pengembangan untuk meningkatkan karakteristik penting dari tingkat perubahan kalor dan waktu tinggal produk uap pendek untuk cairan. Pada awalnya di asumsikan bahwa pengembangan reactor pirolisis merupakan ukuran partikel biobiomassa kecil (ukurannya dibawah 1 mm) dan waktu yang singkat akan mencapai hasil bio minyak yang baik, namun

lagi-lagi percobaan selalu mendapatkan hasil yang berbeda. Ukuran partikel dan waktu singkat yang digunakan tidak mempengaruhi hasil dari bio-oil, melainkan mempengaruhi komposisinya (Wang,X;2006).

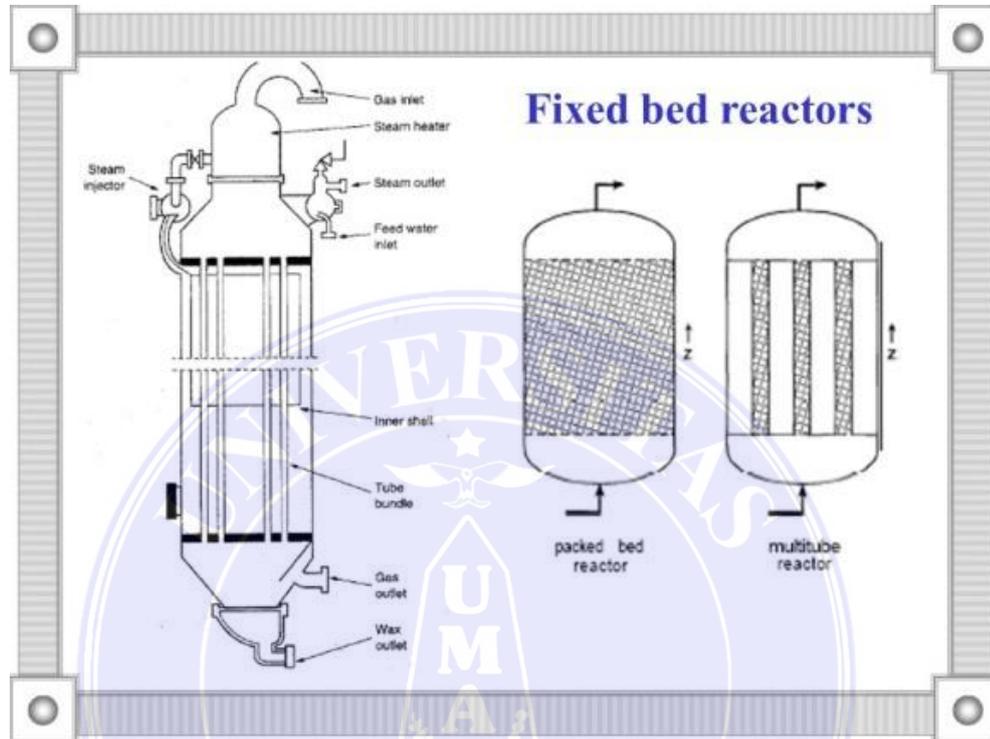
Dengan kelanjutan teknologi pengembangan reactor pirolisis, beberapa reactor telah didesain dan telah di eksplorasi guna untuk pengoptimalan dari proses pirolisis dan menghasilkan produk-produk dari bio-oil yang berkualitas. Namun reactor memiliki jenis dan karakter yang berbeda-beda seperti kapasitas produksi bio-oil, karakteristik khusus, kelebihan dan keterbatasan

2.2.1 *Fixed Bed Reaktor*

Reaktor ini merupakan teknologi yang sederhana karena menggunakan sistem pendingin dan pembersihan gas yang dapat dipelajari dan di amati dengan mudah. Teknologi reaktor unggun ini sederhana, handal dan terbukti untuk bahan bakar yang ukurannya relatif seragam dan memiliki kandungan denda yang rendah. Padatan dalam reaktor ini bergerak secara vertical menuju bagian bawah poros sementara produk berupa gas bergerak secara vertical menuju bagian atas dari reaktor.

Bagian dari reaktor ini biasanya terdiri dari batu bata, baja atau beton dengan unit pengisian bahan bakar, pembersih abu dan pintu buangan gas. Reaktor unggun tetap umumnya beroperasi dengan konservasi karbon tinggi, waktu tinggal padat yang lama, kecepatan gas rendah dan abu terbawa rendah (Leung). Dan jenis reaktor ini juga masih dilakukan percobaan dalam penggunaannya dalam skala yang lebih kecil dengan mempertimbangkan panas dan daya yang akan digunakan. Reaktor ini memiliki kendala dalam penggunaannya yaitu penghapusan tar, namun dalam

berkembangnya teknologi dalam bidang konversi termal dan katalik terhadap tar telah memberikan pilihan yang tepat untuk menghilangkan tar (Yang) seperti yang terlihat pada gambar 2.5.

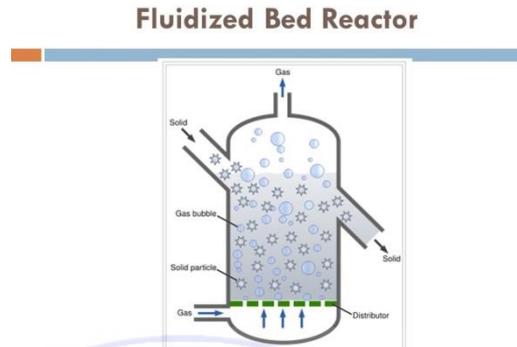


gambar 2.5 gambar penampang *fixed bed reactor*

2.2.2 *Fluidized Bed Reactor*

Reactor ini merupakan perpaduan dari fluida padat namun tetap memperlihatkan sifat aslinya sebagai fluida dan cara penggunaan reactor ini ialah dengan memasukkan cairan bertekanan ke zat yang memiliki partikar padat. Reactor ini merupakan reactor yang sangat baik digunakan pada proses pirolisis cepat karena reactor ini mampu memberikan pindah panas yang cepat dan baik, baik dalam kontrol reaksi pirolisis dan waktu tinggal uap, memiliki permukaan yang luas dapat menampung volume fluida cair dan fluida padat, dan kecepatan

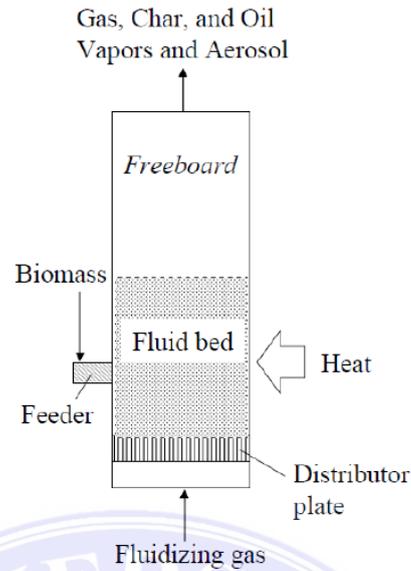
yang relatif antara fluida cair dan padat (Xiong). Berikut merupakan 2 contoh dari reaktor ini seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



gambar 2.6 penampang *Fluidized Bed Reactor*

2.2.2.1 *Bubbling Fluidized-Bed Reactor*

Gelembung-gelembung yang terdapat dalam reaktor ini berfungsi sebagai pengontrol suhu yang baik, bertemunya antara benda padat dan gas, pindah panas dan tempat penyimpanan karena kerapatan pada padatan dalam proses pirolisis dapat membantu proses berjalan dengan lancar dan hanya memerlukan waktu yang singkat. Padatan yang digunakan dalam reaktor jenis ini adalah pasir. Pirolisis dengan menggunakan reaktor ini merupakan yang paling banyak menghasilkan bio-oil sekitar 70% - 75% dari berat biomassa yang belum diolah. Arang tidak menumpuk karena langsung dipisahkan pada saat proses berlangsung. Dan bagian terpentingnya ialah reaktor ini membutuhkan ukuran bahan biomassa yang relatif lebih kecil bila di bandingkan dengan reaktor lainnya yaitu sekitar 2-3 mm untuk mendapatkan hasil yang maksimal seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



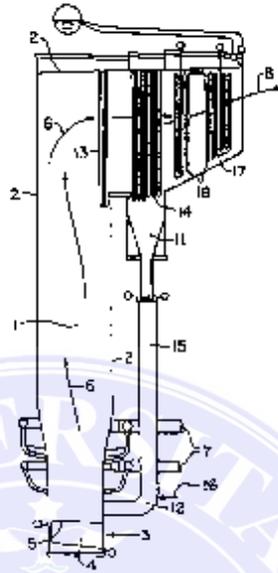
gambar 2.7 penampang *Bubbling Fluidized-Bed Reactor*

2.2.2.2 *Circulating Fluidized Bed Reactor*

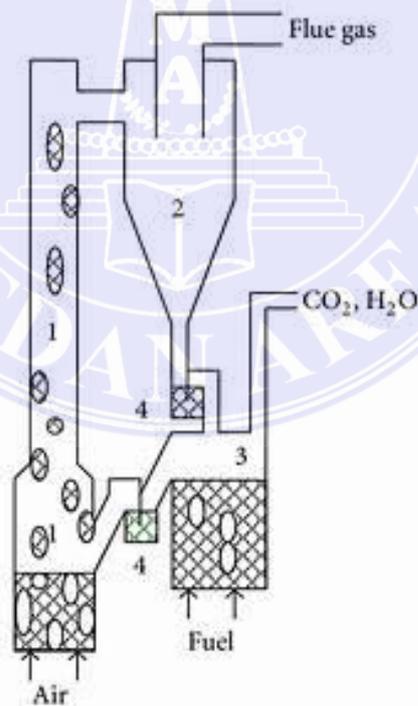
Reaktor jenis ini merupakan reaktor yang sejenis dengan *Bubbling Fluidized-Bed Reactors* yang membuat kedua reaktor ini sama ialah keduanya tidak memerlukan waktu yang lama dalam prosesnya yang membedakannya adalah waktu yang lebih singkat dan jenis uap yang dihasilkan. Menggunakan reaktor ini mampu menghasilkan kecepatan gas dan arang yang lebih tinggi kualitasnya bila dibandingkan dengan *Bubbling Fluidized-Bed Reactors*. Satu keuntungan yang besar di peroleh dari reaktor ini adalah reaktor ini cocok untuk masalah masalah yang lebih besar, walaupun reaktor ini memiliki hidrodinamika yang lebih kompleks (Li,X,T). terdapat 2 jenis sirkulasi pada reaktor ini yaitu sirkulasi tunggal dan sirkulasi ganda seperti yang terlihat pada gambar 2.8 dan gambar 2.9.

U.S. Patent May 5, 1908 Sixty Four 6,058,858

FIG. 1
PRIOR ART



gambar 2.8 *Singel Circulating Fluidized Bed Reactor*

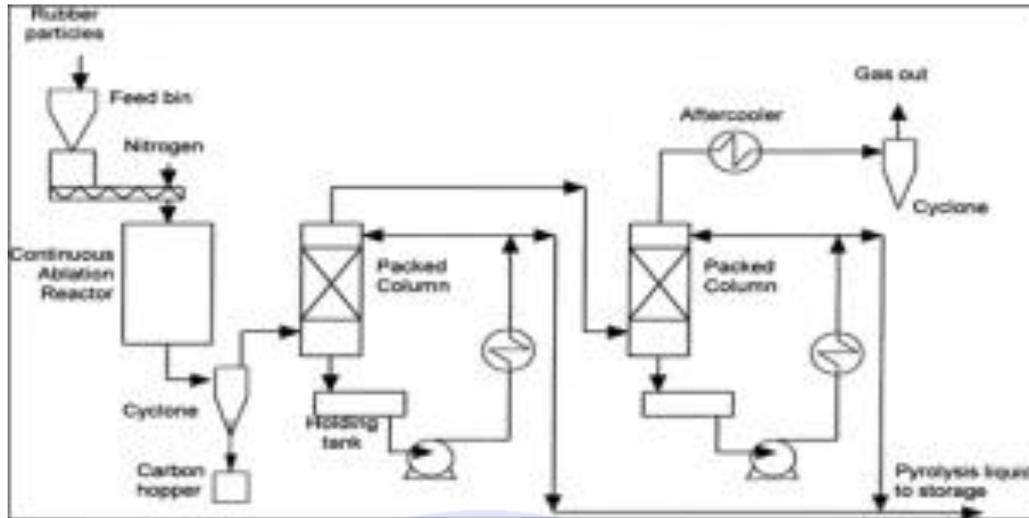


gambar 2.9 *doubleSingel Circulating Fluidized Bed Reactor*

2.2.3 Ablative Reactor

Pirolisis dengan menggunakan cara ini pada umumnya berbeda dengan proses yang menggunakan *Fluidized Bed Reactor* karena pada proses ini panas di transmisikan melalui lapisan cair yang terdapat pada permukaan reaktor dan tidak mempunyai gas fluidasi. Biomassa ditekan ke dinding reaktor yang sedang dipanaskan menggunakan tekanan mekanis. Bahan-bahan yang menjadi produk dari pirolisis akan ditekan kedinding sampai meleleh dan hasil lelehan tersebut (minyak) ketika dipindahkan akan menguap sebagai uap pirolisis (Jones,S.B).

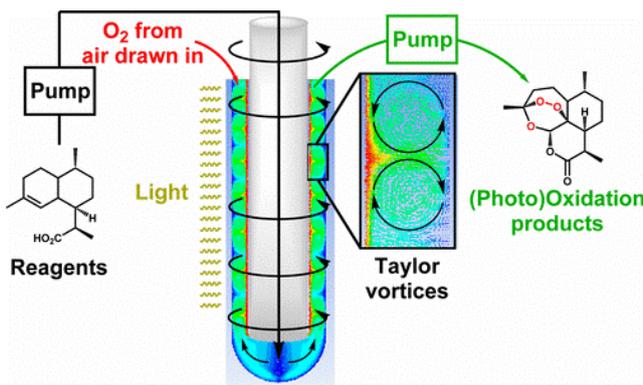
Keuntungan dari penggunaan pirolisis ini adalah bahan-bahan yang digunakan tidak perlu dipotong menjadi bagian yang kecil karena reaktor ablatif ini mampu melakukan penggilingan dengan ukuran partikel yang lebih besar, berbeda dengan *Fluidized Bed Reactor* yang harus menggunakan partikel yang berukuran 2 mm reaktor ablatif mampu menggiling partikel yang berukuran 20 mm. Pirolisis menggunakan metode ini sangat kompleks karena memiliki sifat mekanik dan penskalaan menjadi fungsi linear dari pindah panas yang terjadi karena metode ini menggunakan luas permukaan sebagai sistem kendali. Hal ini pula yang menyebabkan pirolisis dengan menggunakan reaktor ablatif tidak memungkinkan bersaing dengan reaktor lainnya dalam segi ekonomis (Bridgwater). Reaktor ablatif terdapat 2 jenis yaitu *ablative vortex* dan *ablative rotating disk* seperti yang terlihat pada gambar 2.10.



gambar 2.10 skema reaktor ablatif

2.2.3.1 Vortex Reactor

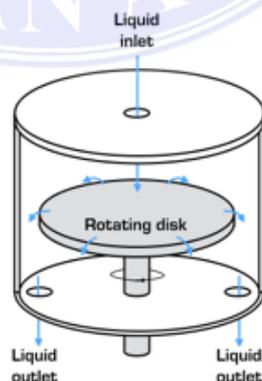
Reaktor jenis ini memanfaatkan pusaran dalam proses pembuatan produk pirolisisnya, bahan akan bercampur dengan aliran gas panas yang lembab (uap atau nitrogen) dan dengan cara tangensial masuk ke dalam reaktor. Gaya tangensial tersebut mengakibatkan gaya sentrifugal yang menyebabkan bahan meluncur ke dinding reaktor yang memiliki suhu 625° dengan kecepatan tinggi sehingga akan menghasilkan bio-oil. Partikel sebelumnya akan di konversi dan jika belum di konversi maka akan di daur ulang dengan menggunakan loop daur ulang padatan yang khusus (FAO). Uap yang dihasilkan akan disapu oleh gas pembawa dengan waktu yang relatif singkat yaitu 50-100 milidetik dan telah memenuhi syarat sebagai pirolisis cepat dengan hasil minyak 65% dari bahan sebelum diolah seperti yang terlihat pada gambar2.11.



gambar 2.11 penampang reaktor vortex

2.2.3.2 Rotating Disk Reactor

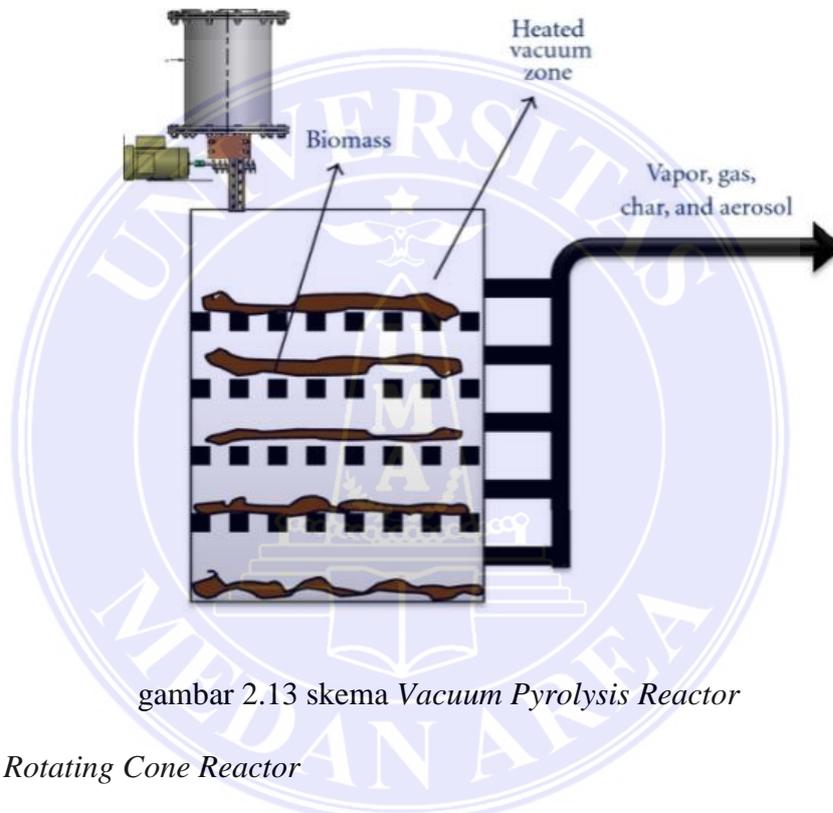
Di dalam reaktor terdapat plat panas yang berputarbiomassa di masukkan hingga mencapai bagian dari permukaan yang berotasi pada suhu tinggi. Saat bahan berada dibawah tekanan perpindahan panas yang terjadi pada permukaan akan membantu bahan menjadi lunak dan menguap ketika mengenai cakram yang berputar dan menyebabkan reaksi pirolisis terjadi. Pada reaktor ini tidak ada media untuk gas lembab sehingga dapat menghasilkan pengolahan peralatan yang lebih kecil. Dan proses ini membutuhkan penskalaan yang menjadi masalah dibidang ekonomis karena akan membutuhkan fasilitas yang lebih besar (Sadaka) seperti yang terlihat pada gambar 2.12.



gambar 2.12 Rotating Disk Reactor

2.2.4 Vacuum Pyrolysis Reactor

Proses pirolisis pada reaktor vakum berjalan pelan karena perpindahan panas lebih rendah sehingga mengakibatkan kandungan minyak yang rendah yaitu berkisar 35%-50% dibandingkan dari 75% berat pada proses pirolisis menggunakan *Fluidized Bed Reactor* seperti yang terlihat pada gambar 2.13.

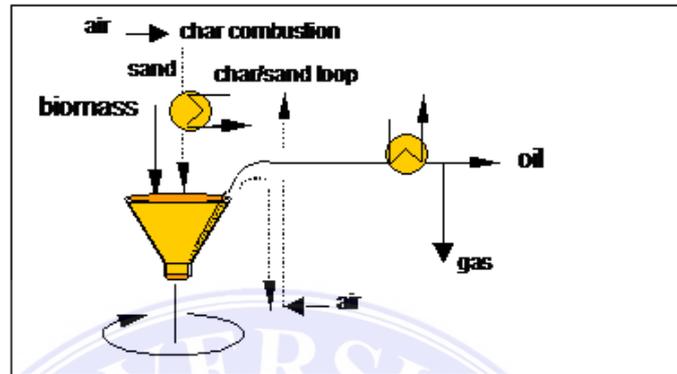


gambar 2.13 skema *Vacuum Pyrolysis Reactor*

2.2.5 Rotating Cone Reactor

Pirolisis dengan cara ini merupakan yang paling banyak diterapkan oleh pabrik-pabrik kelapa sawit. Karena bahan baku dipanaskan dengan menggunakan pasir bukan dengan gas yang sering dilakukan kita jumpai pada tahapan pirolisis yang lain. Bahan baku dimasukkan melalui dasar tabung dan akan di timpa dengan pasir panas yang akan mempercepat proses pirolisis. Bahan baku dan pasir akan mengalami gaya sentrifugal karena reaktor ini akan di putar sehingga sampai

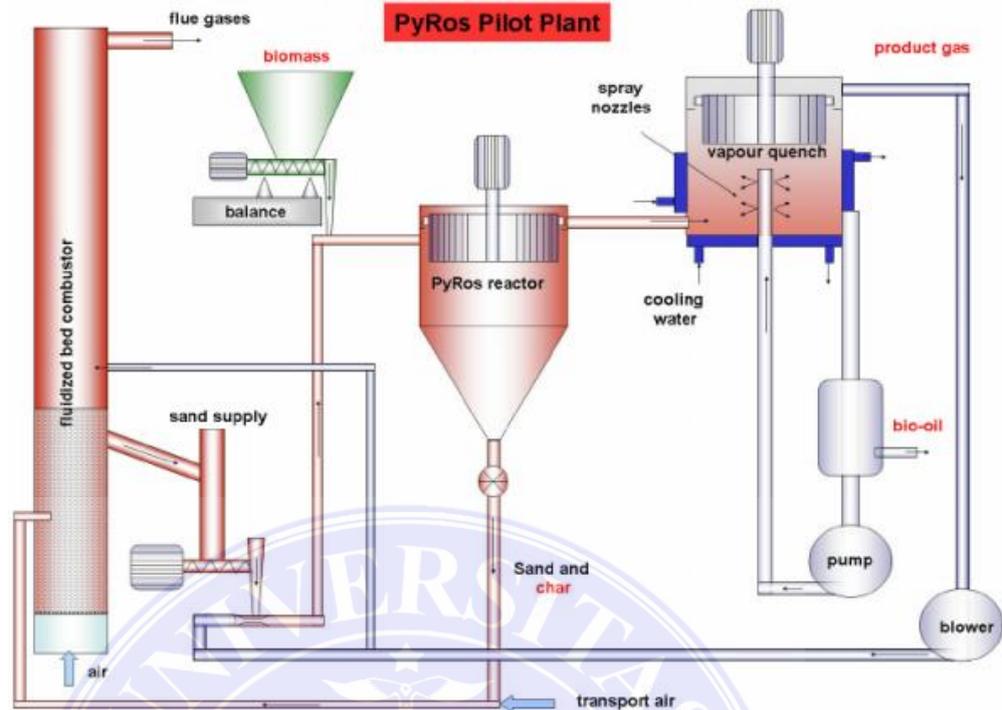
diujung kerucut dan zat padat akan dikembalikan ke dasar tabung untuk di panaskan kembali dan uap akan di arahkan ke kondesor untuk memperoleh minyak nabati seperti yang terlihat pada gambar 2.14.



gambar 2.14 skema *Rotating Cone Reactor*

2.2.6 *Pyro reactor*

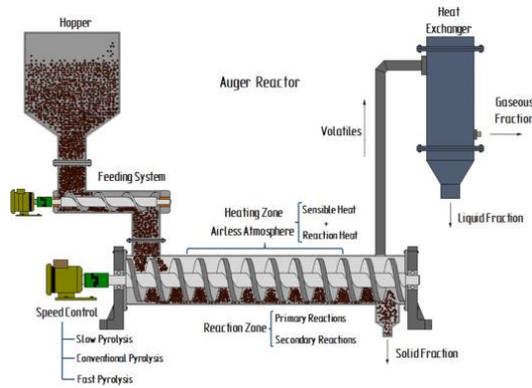
Pirolisis jenis ini menggunakan gas sebagai bahan pembantu untuk menghasilkan bio-oil yang bebas partikel. Bahan baku dan gas panas dimasukkan dan dengan gaya sentrifugal partikel-partikel dipindahkan kebawah pinggiran siklon. Selama proses pemindahan terjadi bahan baku mengalami pengeringan, pemanasan, dan pemotongan di suhu 450°C – 550°C. Uap diangkut dengan cepat ke topan dan meninggalkan topan melalui filter berputar dengan waktu tinggal 0,5 – 1 detik. Reaktor ini berbiaya rendah karena mampu menghasilkan minyak hingga 70% - 75% karena sisa dari gas dan arang masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan pemanas untuk proses selanjutnya seperti yang terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 skema pyro reactor

2.2.7 Auger Reactor

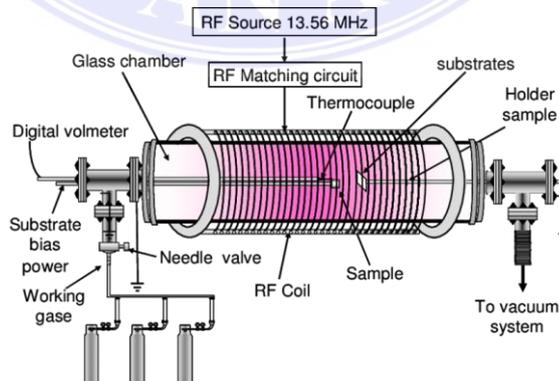
Pirolisis dengan menggunakan reaktor jenis ini memanaskan bahan baku biomassa melalui tabung yang dipanaskan tanpa oksigen dengan suhu 400°C – 800°C yang menyebabkan bahan menjadi terpotong, terpecah hingga pada proses gasifikasi. Pirolisis dengan metode menggunakan reaktor ini mampu menghasilkan 2 produk yaitu bio-oil dan bio-gas seperti yang terlihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 skema *auger reactor*

2.2.8 Plasma Reactor

Reaktor jenis ini memiliki tabung kuarsa silinder yang dikelilingi oleh dua elektroda tembaga yang dimana elektroda ini sebagai bahan yang mampu menghasilkan energi panas jika dialiri sumber daya listrik. Dan partikel biomassa diletakkan di tengah atas tabung dengan menggunakan sekrup. Reaktor ini juga menggunakan gas yang berguna untuk menghilangkan oksigen dan menghasilkan plasma. Gas uap dari proses pirolisis itu akan dipindahkan dengan menggunakan pompa vakum yang berkecepatan variabel. Meskipun menggunakan daya listrik yang tinggi reaktor ini masih memiliki keunggulan berupa reaksi cepat jika dibandingkan dengan pirolisis konvensional seperti yang terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 *plasma reactor*

2.2.9 *Microwave Reactor*

Pirolisis dengan menggunakan reaktor ini mempunyai banyak kelebihan bila dibandingkan dengan reaktor konvensional. Reaktor ini menggunakan molekul atau atom sebagai alat angkut dengan memanfaatkan lapisan yang dipanaskan menggunakan microwave dan reaktor ini tetap memakai gas sebagai penghilang kandungan oksigen. Kelebihan dari reaktor ini adalah perpindahan panas yang efisien, kontrol eksponensial pada saat pemanasan dan peningkatan reaktivitas kimia, menjadikan bahan lebih maksimal dalam proses pirolisis dan terdapatnya *hot spot* pada gelombang mikro yang berguna untuk meningkatkan hasil pada syngas. Reaktor ini dapat melakukan pirolisis dengan menggunakan bahan dari limbah industri, limbah minyak otomotif, balok kayu atau serbuk gergaji, gliserol, jerami padi, dan kopi seperti yang terlihat pada gambar 2.18.

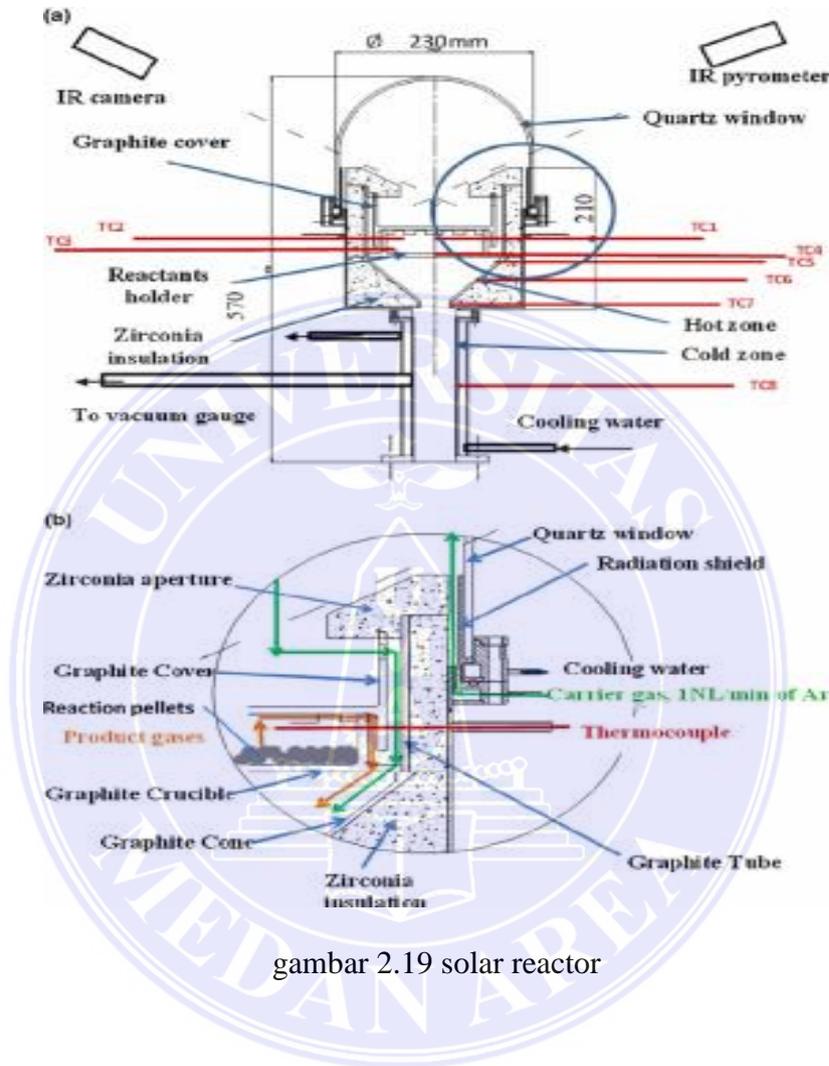


Gambar 2.18 *Microwave Reactor*

2.2.10 *Solar Reactor*

Reaktor ini mampu menyimpan energi matahari dalam bentuk energi kimia. Reaktor ini memiliki konsentrator yang terbuat dari bahan yang buram berguna untuk menyimpan radiasi dari matahari, radiasi dari sinar matahari yang mampu ditangkap yaitu lebih dari dari 700°C. Proses ini mampu memaksimalkan jumlah

bahan baku yang akan di proses sekaligus mengurangi tingkat polusi yang banyak kita temui pada proses pirolisis konvensional seperti yang terlihat pada gambar 2.19.



gambar 2.19 solar reactor

2.2.11 Pirolisis

Proses pirolisis merupakan energi terbarukan yang dikembangkan dan sudah menjadi sebuah teknologi tepat guna bagi beberapa negara. Bahkan sejak ribuan tahun yang lalu teknologi ini sudah digunakan hanya saja penggunaan dan penamaan untuk proses ini tidak disebut dengan pirolisis. Hal yang dapat kita lihat sebagai bukti bahwa teknologi ini sudah berkembang sejak dahulu kala yaitu

dengan melihat proses peleburan bijih untuk menghasilkan besi arang digunakan dalam proses ini.

2.3.1 Klasifikasi pirolisis

Jika meneliti dari kondisi pengaplikasiannya pirolisis dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama yaitu pirolisis konvensional, pirolisis cepat dan yang paling singkat yaitu pirolisis kilat. Setiap kategori memiliki tingkatan yang berbeda baik dalam suhu, laju pemanasan, ukuran partikel, dan lain sebagainya.

2.3.1.1 Pirolisis Lambat

Pirolisis dengan kategori inilah yang sudah di terapkan dari zaman besi. Pirolisis dengan metode ini memerlukan rentan waktu yang relatif lebih lama yaitu sekitar 5 sampai dengan 30 menit, asap yang terbentuk menyebabkan polusi, dan dalam penggunaan waktu yang lama menyebabkan tidak mempunya menghasilkan kualitas minyak (*bio-oil*) yang baik.

2.3.1.2 Pirolisis Cepat

Pirolisis cepat merupakan teknologi yang dikembangkan dari proses pirolisis lambat yang dimana di kembangkan untuk mengecilkan dampak buruk dari pirolisis lambat. Hasil dari proses pirolisis cepat ini berupa char, *bio-oil*, gas. Masing-masing dari hasil memiliki tingkat persentase yang berbeda-beda tergantung pada jenis reaktor yang digunakan. Namun hasil yang paling dominan ialah *bio-oil* yaitu sebanyak 60-70% kemudian di susul dengan hasil dari char sebanyak 15%-25% dan hasil yang sedikit pada fase gas yaitu sekitar 10%-15%.

Karakteristik dari pirolisis cepat adalah memiliki pindah panas yang tinggi, waktu pembentukan uap yang singkat atau sering di katakan dengan waktu tinggal yang singkat, memiliki kondensor dan aerosol yang baik untuk menghasilkan *bio-oil* yang baik untuk dapat di olah kembali.

Teknologi ini sangat mudah masuk ke dalam kalangan masyarakat karena pengaplikasian yang tidak terlalu rumit dan berbiaya murah. Bahkan teknologi banyak juga diterapkan di beberapa perusahaan penghasil bio-oil dalam jumlah yang sedikit. Dengan melihat pertimbangan mampu menghasilkan bahan kimia tertentu tanpa harus mengeluarkan biaya yang tidak terlalu mahal.

2.3.1.3 Pirolisis Flash

Teknologi ini merupakan yang paling cepat dalam memperoleh hasil dari pirolisis dimana waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil bio-oil hanya memerlukan satu detik saja. Pirolisis dengan metode ini mampu menghasilkan 75% bio-oil dari biomassa yang akan di olah. Faktor utama yang mendukung kenapa pirolisis dengan metode ini menjadi cepat adalah penggunaan suhu panas yang berada di kisaran 400°C-1000°C dan menjadi suhu yang paling panas dari ketiga karakter pirolisis yang kita bahas ini. Namun karena suhu ini juga mampu menjadikan masalah termal pada tabung, dan minyak yang dihasilkan memungkinkan mengandung zat yang korosif, viskositas akan meningkat seiring proses katalik arang yang terjadi.

2.4 Konduktivitas

Konduktivitas panas yang diartikan sebagai kemampuan suatu materi untuk menghantarkan panas, merupakan salah satu parameter yang diperlukan dalam mendapatkan material dengan konduktivitas panas yang rendah. Penelitian-penelitian mengenai konduktivitas panas terhadap berbagai lapangan yang berbeda-beda telah dilakukan para geofisikawan sejak periode tahun 1800, seperti halnya yang telah dilakukan oleh Poulsen pada tahun 1981 dengan menggunakan metode Needle Probe.

Suhu merupakan ukuran mengenai panas atau dinginnya suatu benda. Kalor adalah suatu bentuk energi yang diterima oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah suhu atau wujud bentuknya. Kalor berbeda dengan suhu, karena suhu adalah ukuran dalam satuan derajat panas seperti yang terlihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Proses perpindahan kalor

Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda. Kalor digunakan bila menjelaskan perpindahan energi dari satu tempat ke yang lain. *Kalor adalah energi yang dipindahkan akibat adanya perbedaan temperatur. Sedangkan energi dalam (termis) adalah energi karena temperturnya.*

Satuan kalor adalah kalori dimana, *1 kalori adalah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 gr air dari 14,5 C menjadi 15,5 C.* Dalam sistem

British, *1 Btu (British Thermal Unit) adalah kalor untuk menaikkan temperatur 1 lb air dari 63 F menjadi 64 F.*

$$1 \text{ kal} = 4,186 \text{ J} = 3,968 \times 10^{-3} \text{ Btu}$$

$$1 \text{ J} = 0,2389 \text{ kal} = 9,478 \times 10^{-4} \text{ Btu}$$

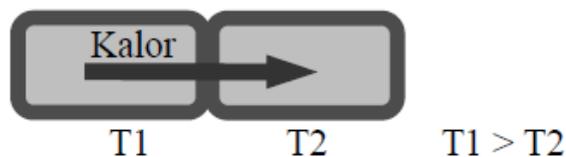
$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J} = 252,0 \text{ kal}$$

2.5 Perpindahan Kalor

Perpindahan panas terjadi secara alamiah dari tempat bertemperatur tinggi (panas) ke tempat bertemperatur rendah (dingin), sampai keduanya memiliki keadaan temperatur yang sama atau dalam keadaan seimbang. Proses perpindahan panas ini berlangsung dalam 3 mekanisme, yaitu : konduksi, konveksi dan radiasi.

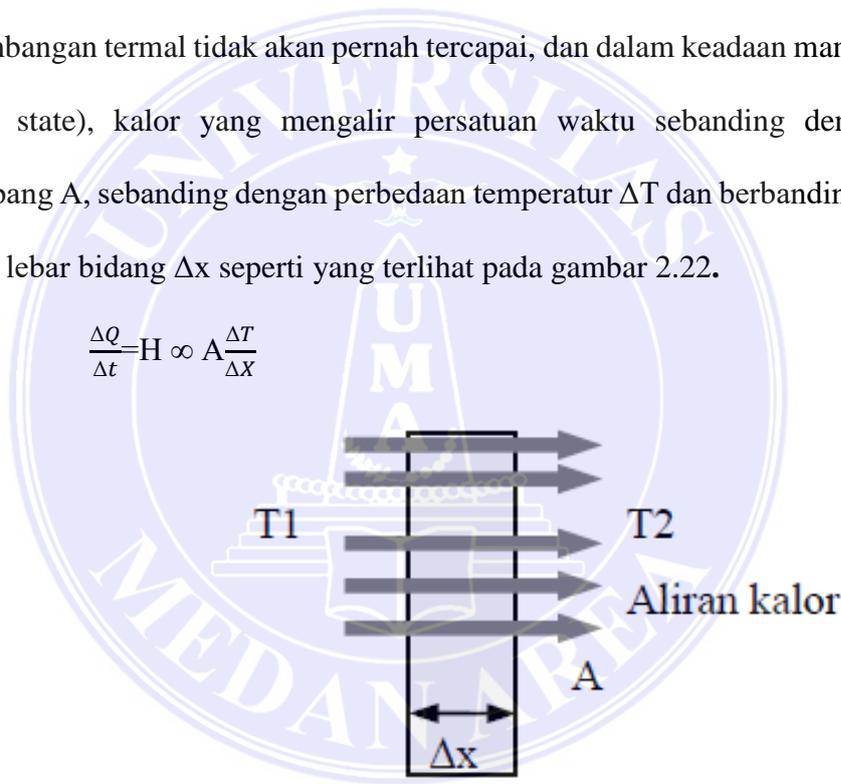
2.5.1 Konduksi

Adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair, gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Proses perpindahan kalor secara konduksi bila dilihat secara atomik merupakan pertukaran energi kinetik antar molekul (atom), dimana partikel yang energinya rendah dapat meningkat dengan ditumbuk partikel dengan energi yang lebih tinggi seperti yang terlihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Proses perpindahan kalor pada dua benda yang bersentuhan. Sebelum dipanaskan kisi atom dari logam bergetar pada posisi setimbang. Pada ujung logam mulai dipanaskan, pada bagian ini kisi atom bergetar dengan amplitudo yang makin membesar. Selanjutnya bertumbukan dengan kisi atom disekitarnya dan memindahkan sebagian energinya. Kejadian ini berlanjut hingga pada atom dan elektron di ujung logam yang satunya. Konduksi terjadi melalui getaran kisi atom. Bila T_2 dan T_1 dipertahankan terus besarnya, maka kesetimbangan termal tidak akan pernah tercapai, dan dalam keadaan mantap/tunak (steady state), kalor yang mengalir persatuan waktu sebanding dengan luas penampang A , sebanding dengan perbedaan temperatur ΔT dan berbanding terbalik dengan lebar bidang Δx seperti yang terlihat pada gambar 2.22.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

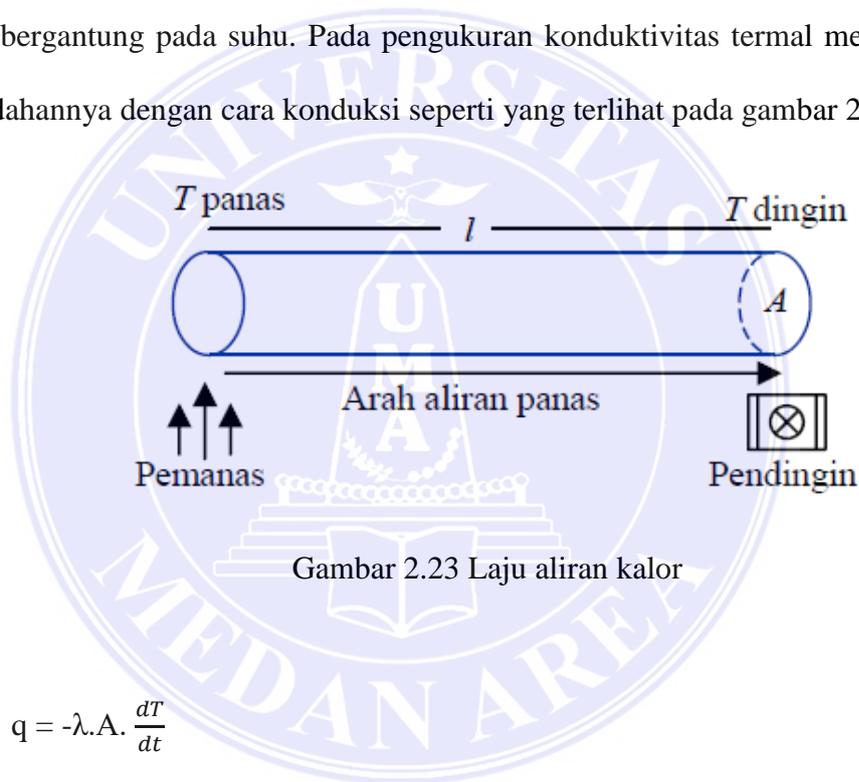


Gambar 2.22. Proses aliran kalor pada suatu penampang.

2.5.2 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah sifat bahan dan

menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu. Bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor, sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator. Konduktivitas termal berubah dengan suhu, tetapi dalam banyak soal perancangan perubahannya cukup kecil untuk diabaikan. Nilai angka konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Makin cepat molekul bergerak, makin cepat pula ia mengangkut energi. Jadi konduktivitas termal bergantung pada suhu. Pada pengukuran konduktivitas termal mekanisme perpindahannya dengan cara konduksi seperti yang terlihat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Laju aliran kalor

$$q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dt}$$

dan

$$q = \frac{E}{A \cdot t}$$

Keterangan:

q : Laju aliran panas tiap satuan luas A tiap satuan waktu t

E : Energi

A: Luas penampang lintang

T : Suhu

λ : Konduktivitas termal

t : Waktu

Konduktivitas dapat terjadi pada berbagai bahan dan dapat digambarkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Konduktivitas termal pada berbagai bahan

Bahan	λ (W/m ^o K)	Bahan	λ (W/m ^o K)
Alumunium	237	Air	0,6
Baja Stainless	14	Akrilik	0,16
Besi	79.5	Gelas	0,8
Emas	314	Karet	0,2
Intan	2000	Kayu	0,21
Tembaga	390	Timah	34,7
Kuningan	151	Udara	0,0234

Perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu dapat dibedakan melalui 3 cara, yaitu: radiasi, konveksi, dan konduksi. Radiasi merupakan proses perpindahan panas secara langsung di dalam medium terpisah atau medium tembus cahaya, energy kalor akan berpindah dalam bentuk gelombang

elektromagnetik. Proses konveksi terjadi jika terdapat perpindahan energi dengan kerja gabungan konduksi panas, penyimpanan energi, dan gerakan mencampur dengan disertai partikel-partikel dari medium.

Proses mengalirnya panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium tanpa disertai partikel medium atau antara medium berlainan dinamakan proses konduksi, misalnya proses yang terjadi saat sebatang besi dipanaskan. Dalam proses konduksi, apabila medium cepat menghantarkan panas, maka kenaikan suhu akan berjalan lambat, sebaliknya apabila medium lambat menghantarkan panas maka kenaikan suhu akan berjalan cepat. Selanjutnya dengan mengplot kenaikan suhu sebagai fungsi waktu, maka akan diperoleh suatu garis lurus yang sesuai dengan persamaan:

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \ln(t) + A$$

Dengan T adalah temperatur ($^{\circ}\text{C}$), Q adalah panas yang diproduksi persatuan panjang *probe* (W/m), K adalah konduktivitas panas bahan ($\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$), t adalah waktu (sekon), dan A adalah konstanta yang menyatakan suhu pada saat $t = 0$ ($^{\circ}\text{C}$).

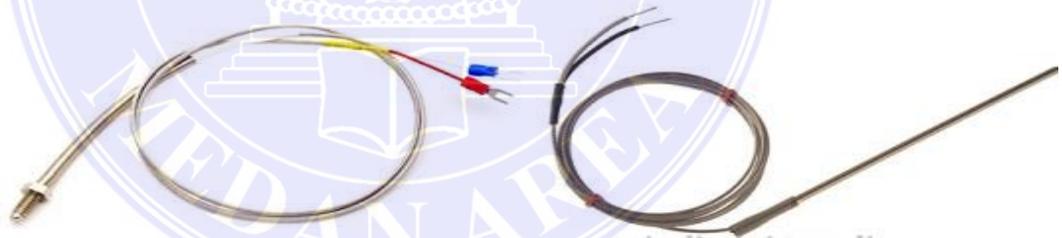
2.6 Pengertian Sensor Suhu

Sensor Suhu atau *Temperature Sensors* adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi gejala perubahan suhu pada obyek tertentu. Sensor suhu melakukan pengukuran terhadap jumlah energi panas/dingin yang dihasilkan oleh suatu obyek sehingga memungkinkan kita untuk mengetahui atau mendeteksi gejala perubahan-

perubahan suhu tersebut dalam bentuk output Analog maupun Digital. Sensor Suhu juga merupakan dari keluarga Transduser. Contoh peralatan-peralatan listrik maupun elektronik yang menggunakan Sensor Suhu diantaranya seperti Thermometer Suhu Ruangan, Thermometer Suhu Badan, Rice Cooker, Kulkas, Air Conditioner (Pendingin Ruangan) dan masih banyak lagi.

2.6.1 Thermocouple

Thermocouple adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Thermocouple yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C seperti yang terlihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 sensor suhu thermocouple

Thermocouple merupakan sensor yang mengubah besaran suhu menjadi tegangan, dimana sensor ini dibuat dari sambungan dua bahan metallic yang berlainan jenis. Sambungan ini dikomposisikan dengan campuran kimia tertentu, sehingga dihasilkan beda potensial antar sambungan yang akan berubah terhadap suhu yang dideteksi

Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya antara lain:

- a. Tipe K (Chromel(Ni-Cr alloy)/Alumel(Ni-Al alloy)) Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu -200°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$.
- b. Tipe E (Chromel/Constantan(Cu-Ni alloy))
Tipe E memiliki output yang besar ($68 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.
- c. Tipe J (Iron / Constantan) Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750^{\circ}\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
- d. Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))
Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas 1200°C . Sensitivitasnya sekitar $39 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K Termokopel.
- e. tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitivitasnya rendah (sekitar $10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ($>300^{\circ}\text{C}$).

- f. Type(Platinum-Rhodium/Pt-Rh)Cocok mengukur suhu di atas 1800 °C. Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0°C hingga 42°C sehingga tidak dapat dipakai dibawah suhu 50°C.
- g. Type R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium)Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.
- h. Type S (Platinum /Platinum with 10% Rhodium)Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43 °C).
- i. Type T (Copper / Constantan)Cocok untuk pengukuran antara –200 to 350 °C. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Bagian-Bagian Thermocouple

- a. Jack : Menghubungkan antara General Purpose Robe dengan th ermocouple.
- b. Stick : Yang terdiri dari 2 buah logam, sebagai variabel pendeteksi suhu.
- c. Pemegang : Tempat dimana tangan saat melakukan pengukuran.
- d. Thermocouple Display: Sebagai penunjuk hasil pengukuran.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama sekitar 8 minggu. Tempat pelaksanaan penelitian adalah di laboratorium produksi Universitas Medan Area dan penentuan waktu penelitian seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Minggu)							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Penelusuran literatur, penulisan proposal	■							
2	Pengajuan proposal		■						
3	Pengadaan alat dan bahan			■					
4	Persiapan dan pemasangan alat				■				
5	Uji alat dan pengukuran					■			
6	Pengolahan dan analisis data						■		
7	Kesimpulan dan penyusunan Laporan							■	
8	Sidang sarjana								■

3.2 Alat dan Bahan

Terdapat beberapa alat dan bahan yang saya gunakan dalam pembuatan alat reaktor ini. Berikut merupakan penjelasan, manfaat dan kegunaan dari alat dan bahan yang saya gunakan ini.

3.2.1 Alat

3.2.1.1 Mesin Las

Mesin las merupakan alat yang penting dalam proses pembuatan reaktor ini.

Karena mesin las digunakan untuk menyambung bagian yang satu dengan bagian

yang lain nya. Sebagai contohnya kami menggunakan bagian dari plat yang satu ke bagian plat yang lainnya sehingga membentuk sebuah tabung. Hingga saat ini mesin las terdiri dari 2 jenis yaitu mesin las karbit atau mesin las yang menggunakan asetilen dan mesin las listrik seperti yang terlihat pada gambar 3.1 dan gambar 3.2.



Gambar 3.1 mesin las karbit



Gambar 3.2 mesin las listrik ac

3.2.1.2 Mesin Gerinda Potong

Kami menggunakan mesin ini untuk memotong bagian tabung yang kami punya sehingga mendapatkan bentuk yang sesuai untuk menjadi tabung kondensor seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



gambar 3.3 mesin gerinda potong

3.2.1.3 Mesin Gerinda Tangan

Mesin gerinda jenis ini merupakan mesin yang paling kecil sehingga pengoperasiannya dapat menggunakan tangan. Mesin ini memang di pergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang tidak begitu susah seperti memotong logam, kayu, keramik, melakukan pemotongan dan proses finishing yang dapat dilakukan dengan tangan. Saya menggunakan mesin ini untuk memperhalus hasil dari pemotongan mesin gerinda duduk dan sisa dari kerak kerak pengelasan seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 mesin gerinda tangan

3.2.1.4 Mesin Bor Tangan

Mesin bor tangan adalah mesin dengan pengoperasian pada tangan yang gerakannya memutar alat potong sehingga hasil pemakanan dari benda kerja ini

menghasilkan lubang. Saya menggunakan alat ini untuk melubangi kuping dari tutup tabung agar dapat dikunci dan dieratkan menggunakan baut seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 mesin bor tangan

3.2.1.5 Mesin Tekan

Mesin tekan atau yang sering juga disebut sebagai mesin press adalah mesin yang dirancang untuk menghasilkan lembaran plat dan membengkokkan plat sehingga memperoleh ukuran yang diinginkan. Digunakan mesin ini untuk membentuk tutup tabung agar terdapat ruang untuk gas cair dari pirolisis dapat terbentuk dan diarahkan ke tabung kondensor seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 mesin tekan

3.2.1.6 Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur dengan ketelitian 0,01 mm seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



gambar 3.7 jangka sorong

3.2.1.7 Meteran Gulung

Meteran gulung merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur panjang dan jarak tingkat ketelitian dari alat ini mencapai angka 0,5 mm seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 meter gulung

3.2.1.8 Thermometer digital dan *Thermo Couple* Tipe K

Thermo couple merupakan sensor suhu yang digunakan pada dua jenis logam konduktor yang digabungkan kedua ujungnya sehingga menimbulkan efek *Thermo-electric*. Thermo couple tipe k ini memiliki ketahanan mengukur suhu dari -200°C – 1250°C seperti yang terlihat pada gambar 3.9 dan gambar 3.10.



Gambar 3.9 Display dan sensor suhu



Gambar 3.10 *thermocouple* tipe k dan thermometer digital

3.2.1.9 Pipa

Pipa berfungsi sebagai penyalur gas hasil dari proses pirolisis. Pipa yang digunakan berdiameter 1 inci. Penggunaan pipa dengan diameter 1 inci ini diperkirakan dapat memaksimalkan proses pirolisis seperti yang terlihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 pipa 1 cm

3.2.1.10 Besi Plat

Besi ini digunakan untuk membuat tabung reactor. Besi plat yang digunakan memiliki tebal 5 mm. pemilihan besi plat berdiameter ini diharapkan dapat mempercepat proses dan memiliki standar keamanan yang sudah layak untuk melakukan proses pirolisis seperti yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Besi Plat 5 mm

3.2.1.11 Keran

Keran pada reactor difungsikan untuk mengatur tekanan gas yang dihasilkan pada saat proses pirolisis terjadi. Untuk pemilihan keran sendiri harus yang tahan terhadap panas seperti yang terlihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Keran air ukuran ½ Inch

3.2.2 Bahan

3.2.2.1 Kawat Las

Kawat las listrik digunakan untuk menyambung bagian bagian dari tabung sehingga memperoleh bentuk yang kita inginkan. Jenis kawat las yang kami gunakan adalah kawat las yang berjenis polos karena penggunaannya yang mudan dan tidak begitu rumit karena tidak perlu memperhitungkan suhu pengoperasian yang optimal seperti yang terlihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Kawat Las

3.2.2.2 Lem *Dextone*

Lem ini kami gunakan untuk merekatkan thermo couple ke tabung seperti yang terlihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 lem dextone

3.2.2.3 Isolatip

Isolatip kami gunakan untuk merekatkan ulir pada bagian bagian yang menjadi sambungan pada tabung. Perekatan ini bertujuan yaitu untuk memperkecil kemungkinan adanya asap cair atau gas yang terbuang keluar dari tabung seperti yang terlihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 isolatip

3.2.2.4 Jengkol

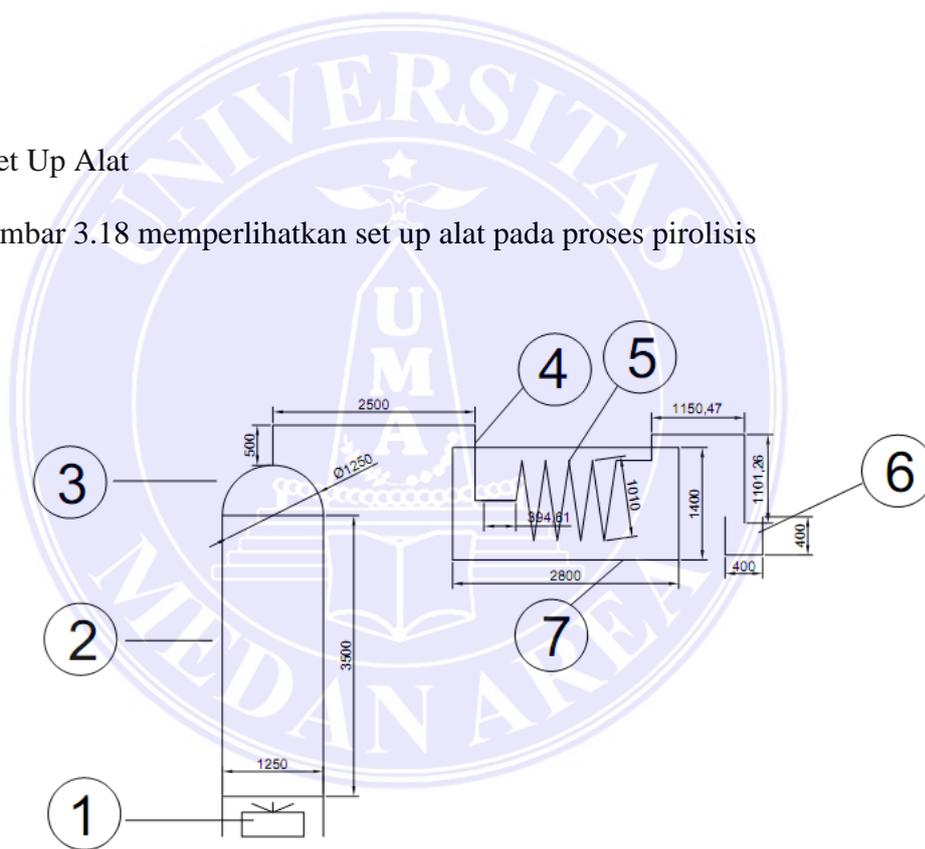
Jengkol digunakan sebagai bahan dalam penelitian adalah bagian kulitnya. Kulit jengkol yang digunakan dalam penelitian sebanyak 5 kg seperti yang terlihat pada gambar 3.17.



gambar 3.17 kulit jengkol

3.2.3 Set Up Alat

Gambar 3.18 memperlihatkan set up alat pada proses pirolisis



Gambar 3.18 Set up Peralatan

Keterangan:

1. Sumber panas
2. Tabung Pirolisis

3. Penutup
4. Pipa tembaga ukuran diameter 6 mm
5. Pipa tembaga ukuran diameter 6 mm berbentuk spiral dengan diameter 7 cm
6. Penampung hasil kondensasi
7. Tabung pendingin(bak air)

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian yang dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Kulit jengkol disediakan sebanyak 5 kg.
- b. Jengkol dimasukkan dalam tabung.
- c. Tabung disatukan dengan tutup tabung di letakkan kertas packing pada bagian kuping tabung ini berfungsi sebagai perekat agar asap cair tidak keluar dan hasil asap cair yang dihasilkan lebih maksimal.
- d. Tabung kemudian dipanaskan dengan menggunakan kompor gas seperti yang terlihat pada gambar 3.19.



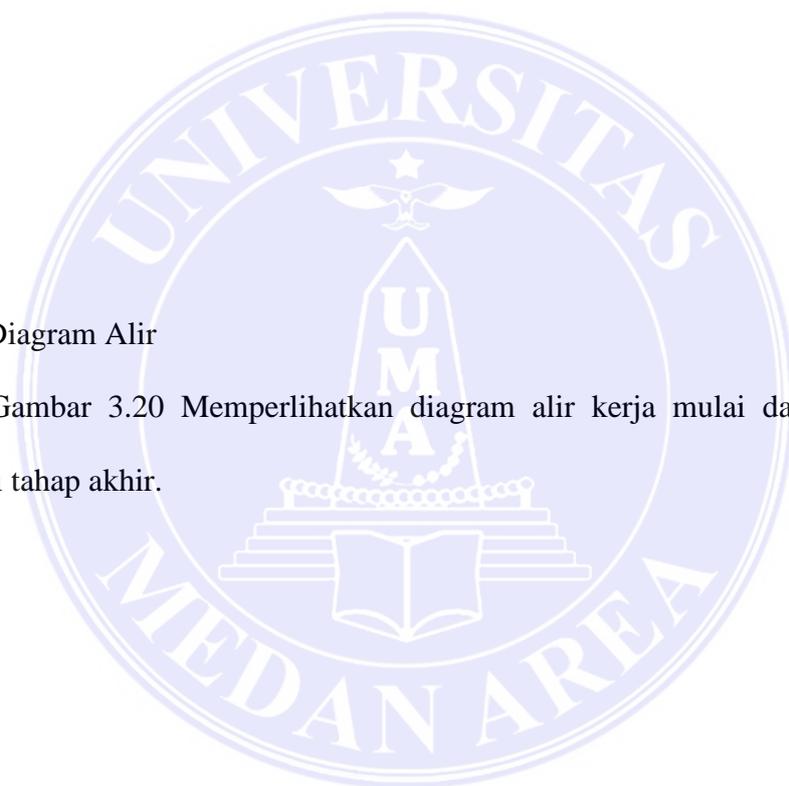
Gambar 3.19 Pemanasan Tabung menggunakan kompor gas

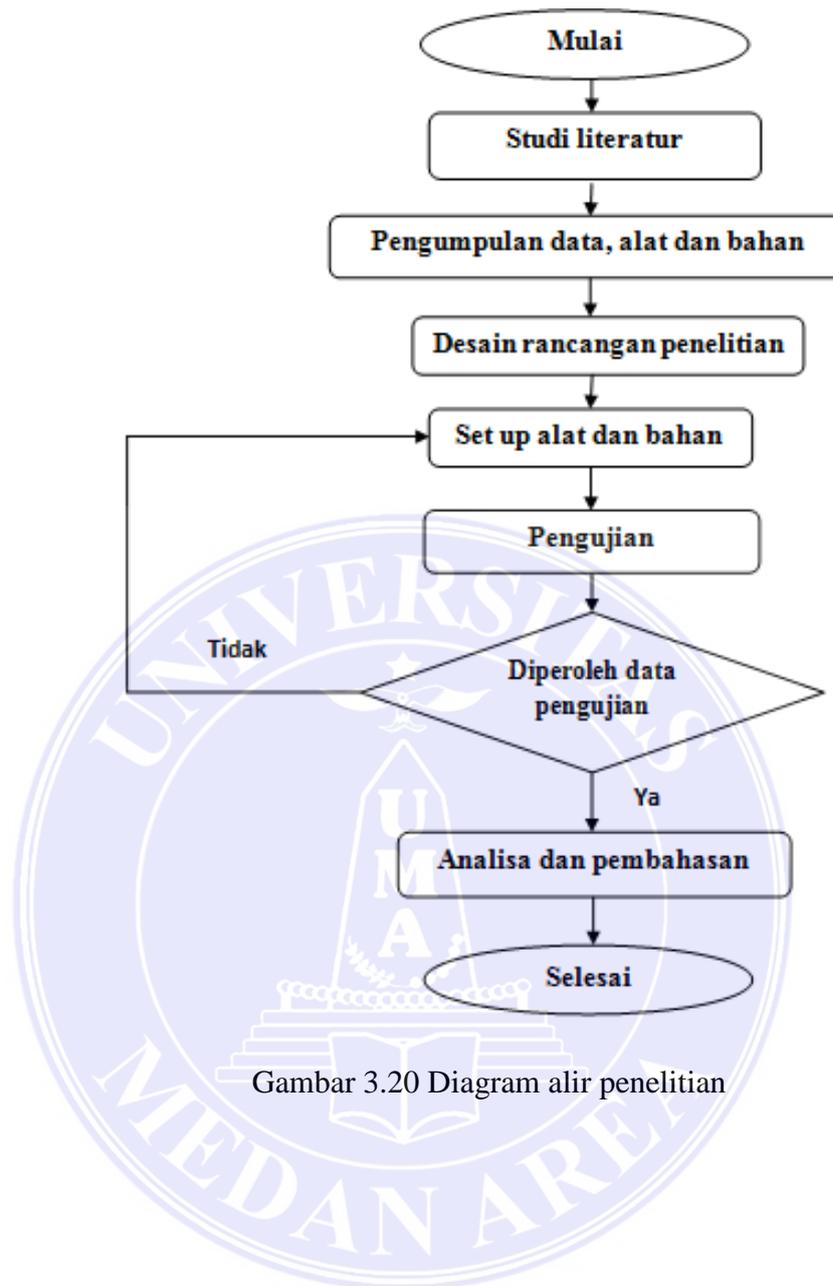
- e. Proses pirolisis di tunggu selama 4-5 jam setelah karena proses pirolisis ini menggunakan metode yang konvensional.

- f. Pada saat pembakaran perhatikan suhu pada *thermocouple* yang telah kita lekatkan pada tabung.
- g. Tabung dibuka dan di kluarkan char yang tersisa.
- h. Penulisan dan pengambilan data

3.3.1 Diagram Alir

Gambar 3.20 Memperlihatkan diagram alir kerja mulai dari tahap awal sampai tahap akhir.





Gambar 3.20 Diagram alir penelitian

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Analisa termal dari proses pirolisis secara sederhana dari kulit jengkol melalui tabung pirolisis yang dibuat dengan cara sederhana menggunakan besi ST 37 sebagai bahan tabung pemanas dengan sumber panas menggunakan ompor gas menghasilkan laju aliran konduksi (Q_{kd}) sebesar 367663,0599 Watt (36,7663 Kw) dan laju konveksi (Q_{kv}) sebesar 1172369,723 W (117,2369 Kw). Efisiensi hantaran suhu yang diperoleh 81 % dari bagian luar bawah tabung sampai ke bagian dasar dalam tabung.

5.2 Saran

Dalam proses pirolisis ini hendaknya suhu sumber pemanas dijaga agar stabil agar peningkatan suhu didalam tabung pirolisis naik secara perlahan sehingga mencapai kebutuhan agar terjadi proses pirolisis pada kulit jengkol. Sebaiknya peletakkan kulit jengkol tidak langsung menyentuh dasar tabung pemanas agar tidak terbakar sehingga dibutuhkan sejenis jaring besi.

Daftar Pustaka

- [1] R. N. Y. A. C. M. G. J. W. M. dan G. S. , “Pirolisis Arang Dengan Bahan Kulit Jengkol,” 2018.
- [2] A. F. G. M. T. C. F. T. F. dan E. R. , “Detailed Kinetic Modeling Of Thermal Degradation Of Biomasses,” 2006.
- [3] Hornell.C, Thermochemical And Catalitic Upgrading In A Fuel Contex: Peat, Biomass, And Alkenes, Stockholm City: Departemen Of Chemical Engineering And Thechnology, 2001.
- [4] Wijayanti, Widya, Nur, Mega Sasongko dan Dkk, “Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Perkotaan Sebagai Penghasil Bahan Bakar Alternatif,” vol. 4, 2013.
- [5] R. F. A. B. I. D. N. Y. dan J. , “The Effect Of Lignin And Inorganic Species In Biomass On Pyrolysis Oil Yields, Quality And Stability,” *RightLink*, pp. 1230-1240, 2008.
- [6] A. K. R. dan D. M. , “Thermolysis Of Waste Plastic To Liquid Fuel: A Suitable Method For Plastic Waste Management And Manufacture Of Value Added Product --A World Prospective,” pp. 233-248, 2010.
- [7] H. K. S. e. G. C. dan R. T. , “Sustainable Technologies For Small Scale Biochar Production A Review,” Bogor, 2015.
- [8] R. Y. dan S. , “Uji Aktivitas Antidiare Ekstrak Etanol 70% Kulit Buah Jengkol (*Archidendron pauciflorum* (Benth.)I.C. Nielsen) Terhadap Mencit Jantan yang Diinduksi Oleum Ricini,” *Jurnal Ilmiah Manuntung*, pp. 131-136, 2016.