

Variasi Temperatur Terhadap FCR Gasifikasi *Dual Reactor Fluidized Bed* Berbahan Bakar Sekam Padi

I Putu Adi Wiranata, I Nyoman Suprpta Winaya dan I Putu Lokantara

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Teknologi gasifikasi menggunakan dua reaktor merupakan teknik penyempurnaan pengkonversian bahan bakar menjadi energi. Dalam penelitian ini pemisahan reaksi endotermis pada reaktor gasifikasi menggunakan diameter yaitu 101,6 mm dan 50,8 mm reaktor pembakaran yang dibuat dengan bahan stainless steel jenis schedule 304. Variasi temperature kerja dilakukan untuk menganalisa performansi dari gasifikasi dengan menggunakan bahan bakar sekam padi. Kecepatan udara superficial disetting konstan sebesar 17 m/s dengan temperatur gasifikasi yang disetting pada I (500°C), II (550°C) dan III (600°C). Hasil penelitian menunjukkan performansi nyala api paling lama ditunjukkan pada variasi temperatur III yaitu sebesar 276 detik. FCR_a (fuel consumption rate actual) paling tinggi juga didapatkan pada rentang temperatur 600°C yaitu sebesar 5,023 kg/jam.

Kata kunci : *dual reactor fluidized bed*, temperatur, sekam padi

Abstract

Gasification technology using two reactors is a technique to refine the conversion of fuel into energy. In this research the separation of endothermic reaction on gasification reactor using diameter that is 101,6 mm and 50,8 mm reactor combustion made with stainless steel type schedule 304. Work temperature variation was performed to analyze the performance of gasification using rice husk fuel. The superficial air velocity is set at a constant of 17 m / s with gasification temperatures set at I (500 ° C), II (550 ° C) and III (600 ° C). The results showed that the longest flame performance was shown in the temperature variation of III that is 276 seconds. The highest fuel consumption rate (FCR) was also obtained in the 600 ° C temperature range of 5,023 kg / hour.

Key words: *dual reactor fluidized bed*, temperature, rice husk

1. Pendahuluan

Biomassa didapatkan dari sumber alami yang dapat diperbaharui meliputi, limbah pertanian/perkebunan dan komponen organik dari industri. Keuntungan menggunakan biomassa adalah zat volatil yang tinggi menyebabkan mudah terbakar. Sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar setelah dilakukan pembakaran sempurna [1].

Gasifikasi merupakan salah satu teknologi terbaik untuk mengkonversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas yang mampu membakar (CO, CH₄ dan H₂). Proses gasifikasi ini hampir sama dengan proses pembakaran, hanya saja udara yang dimasukkan ke sistem gasifikasi sangat terbatas. Berdasarkan arah aliran gasifikasi dibedakan menjadi tiga jenis moda operasional, yaitu aliran gas ke atas (*updraft*), aliran gas kebawah (*downdraft*) dan aliran gas silang (*cross flow*). Yang membedakan ketiga jenis ini adalah arah keluaran gas hasil dari gasifikasi [2].

Fluidisasi merupakan salah satu bentuk peristiwa dimana partikel berfase padatan diubah menjadi fase yang memiliki perilaku layaknya fluida cair dengan cara diberi kontak dengan gas atau cairan [3]. Salah satu teknologi fluidisasi yang sedang dikembangkan saat ini terdiri dari *dual reactor* yaitu

reactor fluidized bed untuk proses gasifikasi dan reaktor pembakaran. Jenis reaktor yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu masih menyisakan bahan bakar yang tidak dapat terbakar berupa arang atau *char*. Untuk mengatasi hal tersebut salah satu cara mulai ditemukan yaitu menggunakan *dual reactor fluidized bed* (DRFB).

Sebuah teknologi gasifikasi yang menggunakan dua buah reaktor, jika dalam proses pengkonversian bahan bakar menjadi gas terdapat sisa bahan bakar yang belum terkonversi, maka sisa bahan bakar tersebut akan dibakar di reaktor pembakaran. Selanjutnya di sirkulasi kembali oleh *cyclone* ke proses gasifikasi hingga bahan bakar habis terkonversi menjadi gas dan menghasilkan kualitas gas yang hampir maksimal serta dapat meningkatkan efisiensi sehingga tidak mencemari lingkungan. Selain itu penggunaan dual reaktor ini juga memiliki keunggulan mencegah kehilangan panas pada saat proses sirkulasi tersebut, karena pada jenis dual reaktor ini menggunakan bed material yang ikut tercampur dan bersirkulasi dengan bahan bakar. Dalam penelitian ini akan menganalisis pengaruh variasi temperatur terhadap performansi gasifikasi *dual reactor fluidized bed* berbahan bakar sekam padi dan pasir silika sebagai bed materialnya.

2. Dasar Teori

2.1 Teknologi Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan salah satu bentuk peningkatan pemanfaatan energi yang terkandung di dalam bahan biomassa melalui konversi dari bahan padat menjadi gas, material-material organik pada temperature tinggi di dalam pembakaran yang tidak sempurna. Proses ini berlangsung didalam suatu alat yang disebut reaktor/gasifier, bahan bakar biomassa dimasukkan kedalam reactor untuk dibakar secara tidak sempurna. Dengan kata lain proses gasifikasi merupakan proses pembakaran parsial bahan bakar padat, dengan melibatkan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar padat. Hasil pembakaran berupa uap air dan karbondioksida direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, gas hasil proses gasifikasi ini disebut dengan gas produser. Umumnya kandungan dari gas produser yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metan (CH₄) [4]. Pada umumnya proses gasifikasi melalui empat tahapan proses, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Untuk masing-masing proses tersebut sebagai berikut :



Gambar 1. Tahapan-Tahapan Proses Gasifikasi

2.2 Gasifikasi *Fluidized Bed*

Pada proses konversi energi dengan teknologi gasifikasi *Fluidized Bed*, awalnya ruang bakar dipanasi secara eksternal sampai mendekati temperatur kerja reaktor. Media gasifikasi (*bed material*) yang umum digunakan untuk mengabsorpsi panas adalah pasir silika. Pasir silika dan bara api bahan bakar akan mengalami turbulensi di dalam ruang bakar sehingga keseragaman temperatur sistem terjaga. Kondisi ini menyebabkan proses konversi energi dapat berlangsung dengan baik. Disamping itu dengan bidang kontak panas yang luas disertai turbulensi partikel fluidisasi yang cepat, menyebabkan FBG teknologi bisa diaplikasikan untuk mengkonversi segala jenis bahan bakar, bahkan dengan ukuran yang tidak seragam.

Kualitas fluidisasi adalah faktor paling utama yang mempengaruhi efisiensi sistem gasifikasi *Fluidized Bed*, keseragaman temperatur adalah hal yang sangat penting untuk menjaga kestabilan pembakaran, disamping itu juga berguna untuk mengurangi emisi dari polutan seperti hidrokarbon dan NO_x sebagai akibat hasil pembakaran yang tidak sempurna.

Proses ini berlangsung pada temperatur operasi dibawah temperatur leleh abu, sehingga untuk menghilangkan abu pada proses gasifikasi jenis ini menjadi mudah. Hal ini yang menyebabkan gasifikasi *Fluidized Bed* sangat cocok digunakan

untuk pengolahan bahan bakar padat yang mempunyai kandungan abu yang tinggi, disamping temperatur operasi yang relatif rendah.

2.3 Efisiensi Gasifikasi

Parameter-parameter yang mempengaruhi efisiensi *gasifier* antara lain, kandungan *moisture*, temperatur udara masuk, dan *heatloss*. Pengaruh temperatur dan besarnya nilai dari *equivalen ratio* gasifikasi juga mempengaruhi efisiensi gasifikasi. Untuk bahan bakar biomassa dengan nilai persentase karbon yang rendah, temperatur gasifikasi dikondisikan. Pada *equivalen ratio* yang lebih rendah, jumlah udara menjadi berlimpah menjadikan panas banyak terbuang, efisiensi gasifikasi turun. Untuk memastikan semua karbon bereaksi, temperatur harus tinggi. Pada kondisi tersebut persentase char yang dihasilkan sangat tinggi. Ada dua cara untuk mengatasi hal tersebut, yaitu memanaskan udara masuk *gasifier* dan memperlama waktu tinggal (*residence time*) produk gas.

2.4 Fluidisasi

Fluidisasi dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana hamparan zat padat diperlakukan seperti fluida [5]. Pada fluidisasi, kontak antara fluida dengan partikel padat dapat terjadi dengan baik karena permukaan kontak yang luas. Partikel-partikel padat akan bergerak-gerak dan mempunyai perilaku seperti fluida akibat adanya aliran fluida. Keadaan seperti ini dikenal dengan hamparan terfluidisasikan (*fluidized bed*).

Bila zat cair atau gas dilewatkan melalui lapisan hamparan partikel pada kecepatan rendah, partikel-partikel itu tidak bergerak (diam). Jika kecepatan fluida berangsur-angsur dinaikkan, partikel-partikel itu akhirnya akan mulai bergerak dan melayang di dalam fluida, serta berperilaku seakan-akan seperti fluida rapat. Jika hamparan itu dimiringkan, permukaan atasnya akan tetap horizontal, dan benda-benda besar akan mengapung atau tenggelam di dalam hamparan itu tergantung pada perbandingan densitas dari partikel tersebut.

2.5 Biomassa Sekam Padi

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan (sisa/limbah). Melalui fotosintesis, karbondioksida di udara ditransformasi menjadi molekul karbon lain (misalnya gula dan selulosa) dalam tumbuhan. Energi kimia yang tersimpan dalam tanaman dan hewan (akibat memakan tumbuhan atau hewan lain) atau dalam kotorannya dikenal dengan nama bio-energi

Pada prinsipnya biomassa sudah mengandung energi yang dapat diubah menjadi berbagai macam energy lain, misalnya menjadi energy panas. Umumnya biomassa yang digunakan untuk diambil energinya adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil

produk primernya. Sumber energy biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energy secara berkesinambungan (*sustainable*) [6].

Sekam padi dipilih sebagai bahan biomassa karena ketersediaannya yang cukup melimpah dan belum banyak dimanfaatkan. Gabah yang telah terlepas dari jerami kemudian dikumpulkan untuk dijemur. Gabah yang telah kering disimpan atau langsung ditumbuk atau digiling sehingga beras akan terpisah dari sekam (kulit padi) [7]. Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silica dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras. Ditinjau dari komposisi kimianya, sekam mengandung beberapa unsure penting sebagai yang tercantum dalam Tabel 1. Berikut [8].

Tabel 1. Komposisi Kimia Sekam

Komponen	Berat (%)
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstra nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Selulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

Sumber : Utami & Fika Prameidia (2013), [8]

2.6 Fuel Consumption Rate (FCR)

Perkiraan kecepatan bahan bakar yang dikonsumsi, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$FCR = \frac{V_{bb}}{F_g} \quad (1)$$

Dimana : V_{bb} = Laju masuk bahan bakar.

F_g = Faktor gasifikasi (asumsi waktu proses gasifikasi terhadap waktu pemasukan bahan bakar yang disesuaikan dengan jumlah bahan bakar yang digunakan).

Bahan bakar yang dikonsumsi pada proses gasifikasi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$FCR = \frac{\text{berat bahan bakar tergasifikasi}}{\text{waktu operasional}} = \frac{\text{berat bahan bakar} - \text{berat arang}}{\text{waktu operasional}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) \quad (2)$$

3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengujian ini menggunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

3.1 Bahan Penelitian

Adapun bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Biomassa sekam padi yang digunakan sebagai bahan bakar yang sudah berbentuk butiran kecil dengan ukuran yang sama yaitu antara 0,4 sampai 0,5 mm.



Gambar 2. Sekam Padi

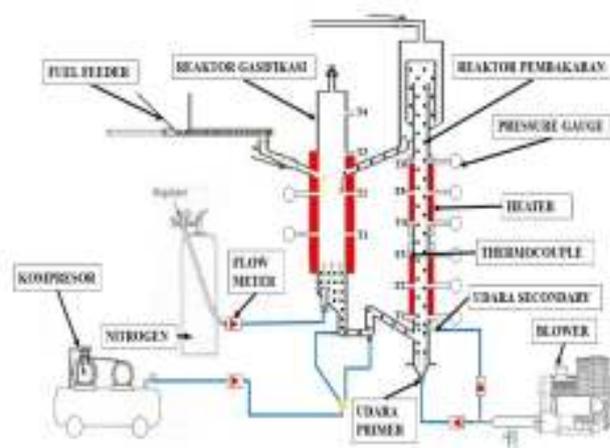
- Pasir silika adalah salah satu mineral yang umum ditemukan di kerak kontinen bumi. Pasir silika dipilih sebagai material hamparan karena berat jenis 2,65, titik lebur 17150° C, bentuk kristal hexagonal, panas spesifik 0,185, dan konduktivitas panas 12 – 1000 °C [11].



Gambar 3. Pasir Silika

3.2 Alat Penelitian

Adapun skematik unit *dual reactor fluidized bed* yang akan digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 4. dibawah ini.



Gambar 4. Skematik Dual Reactor Fluidized Bed (DRFB)

3.3 Deskripsi Alat Gasifikasi (DRFB)

Penelitian ini menggunakan dua buah reaktor yang dibuat dari bahan khusus yaitu stainless steel schedule 304 dengan ukuran 101,6 mm untuk reaktor gasifikasi dan reaktor pembakaran yang mempunyai ukuran 50,8 mm. Pada ujung atas reaktor pembakaran terdapat *cyclone* yang berfungsi untuk

mensirkulasikan campuran biomassa atau bahan bakar dengan material hamparan, *cyclone* ini mempunyai ukuran yang lebih besar yaitu berukuran 152,4 mm, sehingga sisa dari bahan bakar yang belum terbakar sempurna kembali disirkulasikan hingga bahan bakar terbakar secara optimal. Kedua reaktor tersebut dihubungkan dengan 2 buah pipa berukuran 25,4 mm yaitu dinamakan *upper* dan *downer*, pada *dual reactor fluidized bed* ini dibuatkan pengaman berupa tabung dan dihubungkan oleh pipa berukuran 25,4 mm yang dihubungkan dengan reaktor gasifikasi. Dalam tabung yang berdiameter 300 mm ini yang didalamnya itu berisikan air. Pada reaktor pembakaran dipasang 6 buah *pressure gauge* dan 6 buah *thermocouple* untuk melihat tekanan dan distribusi temperatur pada reaktor tersebut. Pada reaktor gasifikasi dipasang 2 buah *pressure gauge* dan 4 buah *thermocouple*. Masing-masing reaktor dipasangkan thermocontrol yang berguna untuk mengatur suhu di dalam reaktor agar tetap konstan.

3.4 Langkah penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat uji *dual reactor fluidized bed gasifier*.
2. Mengecek aliran kelistrikan agar tidak terjadi arus pendek (*short current*).
3. Menyiapkan biomassa berupa sekam padi dan pasir silika berbentuk butiran dengan ukuran antara 0,4 sampai 0,5 mm sebanyak 600 gram.
4. Masukkan material hamparan pasir silika kedalam reaktor melalui *fuel feeder*.
5. Nyalakan blower dan kompresor untuk mengatur kecepatan udara. Kecepatan udara pada blower yaitu 17 m/s diukur menggunakan anemometer, dan juga masukkan udara dengan kecepatan udara pada kompresor yaitu 20,7 liter/s = 17,57 m/s yang diukur dengan flow meter.
6. Kemudian alirkan N₂ selama 5 menit untuk proses pembilasan agar menetralkan udara/oksigen diukur menggunakan flow meter.
7. Nyalakan heater sampai rencana percobaan baik untuk reaktor gasifikasi dan pembakaran.
8. Setelah temperatur tercapai atau steady state, pada variasi temperatur pertama yaitu reaktor gasifikasi 500°C dan reaktor pembakaran 500°C. Kemudian hembuskan udara blower dan juga kompresor agar bed material bersirkulasi.
9. Masukkan butiran biomassa sekam padi sebanyak 600 gram.
10. Uji nyala gas hasil gasifikasi.
11. Jika sudah menyala ambil sample gas kemudian simpan menggunakan *probe gas analyser*.
12. Keluarkan sisa arang dari dalam reaktor melalui *downer* hingga bersih.
13. Setelah mencatat hasilnya, olah data dan tunjukkan dalam tabel dan grafik.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Awal Bahan Bakar

Komposisi dari bahan bakar sekam padi dapat diketahui setelah melakukan penelitian uji Proksimat dan Ultimat, pengujian analisis Proksimat dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur fisika dari bahan bakar sekam padi, seperti: kadar air (*moisture*), kandungan abu (*ash*), karbon tetap (*fixed karbon*) dan bahan mudah menguap (*volatile*). Dapat dilihat pada Tabel 2. dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Analisis Proksimat

No	Sampel Bahan Bakar	Kadar Air	Kandungan Abu	Karbon Tetap	Volatil
		%	%	%	%
1	Sekam Padi	22	19.15	24.18	34.67

Pengujian Analisis Ultimat untuk mengetahui unsur-unsur kimia pada bahan bakar sekam padi, yaitu: Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O) Nitrogen (N), dan Sulfur (S) dapat dilihat pada Tabel 3.berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Analisis Ultimat

No	Sampel Bahan Bakar	Karbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur
		%	%	%	%	%
1	Sekam Padi	34.179	3.652	32.629	0.02593	0.00448
2	Sekam Padi 2	33.886	3.5866	32.726	0.02449	0.00342
Rata-rata		34.0325	3.6193	32.6775	0.02521	0.00395

Uji nilai kalor dari bahan bakar sekam padi dengan menggunakan bom kalorimeter. Bom kalorimeter merupakan alat untuk mengetahui jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna suatu bahan bakar. Dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Bom Kalorimeter

Sampel Bahan Bakar	Berat Sampel (g)	Nilai Kalor Standar				Rata-rata (Cal/gr)	(MJ/kg)
		Benzoid Acid	Temperatur		Nilai Kalor (Cal/°C)		
			T1	T2			
Sekam Padi	1	6318	28.621	31.275	2380.558	5237.227	15.29
Sekam Padi 2	1	6318	28.621	31.275	2380.558		

4.2 Data Hasil Penelitian



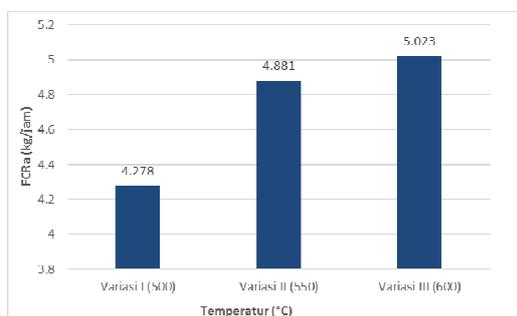
Gambar 5. Lama Nyala Api

Tabel 5. Data Hasil Penelitian Variasi Temperatur

Variasi Temperatur (°C)	Massa Input (gram)	Massa Output (gram)	Waktu Mulai Menyala (detik)	Waktu Lama Nyala (detik)	Waktu Operasi (detik)
Variasi I (500)	600	272	115	161	276
Variasi II (550)	600	181	78	231	309
Variasi III (600)	600	166	32	279	311

4.3 Laju Konsumsi Bahan Bakar Aktual (FCR_a)

FCR adalah laju konsumsi bahan bakar atau jumlah konsumsi bahan bakar per satuan waktu. Dari perhitungan FCR aktual pada setiap variasi temperatur, maka dapat dianalisis dan dibuat grafik perbandingan variasi temperatur terhadap laju konsumsi bahan bakar aktual (FCR aktual).



Gambar 6. Grafik Perbandingan Variasi Temperatur Terhadap FCR Aktual

Berdasarkan Gambar 6, bahwa dari setiap variasi temperatur yang berbeda-beda pada biomassa sekam padi laju bahan bakar semakin meningkat. Dapat disimpulkan bahwa variasi III dengan temperatur 600°C memiliki berat arang paling sedikit dan lama nyala api paling lama dibandingkan dengan variasi I yang temperatur 500°C dan variasi II temperatur 550°C dengan kecepatan udara superficial konstan pada ketiga variasi tersebut yaitu 17 m/s. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari peningkatan temperatur yang di variasi kan pada bahan bakar sekam padi FCR_a meningkat yaitu pada variasi III dengan temperatur 600°C dengan kecepatan superficial 17 m/s yaitu 5,023 kg/jam.

5. Kesimpulan

Performansi dengan menggunakan *dual reactor fluidized bed* terjadi peningkatan. Hal ini ditunjukkan dengan lama nyala dari api, semakin tinggi temperatur semakin lama pula lama nyala api yang dihasilkan yaitu, variasi I = 161 detik, variasi II = 231 detik dan variasi III = 276 detik. Semakin tinggi temperatur maka performansi gasifikasi berupa FCR_a (*fuel consumption rate actual*) semakin meningkat, variasi I = 4,278 kg/jam, variasi II = 4,881 kg/jam dan variasi III = 5,023 kg/jam. Semakin meningkatnya temperatur maka semakin sedikit jumlah output dari arang yaitu, variasi I = 272 gram, variasi II = 181 gram dan variasi III = 166 gram.

Daftar pustaka

- [1] Mittal, Davinder, 1997, *Silica from Ash: A Valuable Product from Waste Material*, Resonance. Vol. 2(7), hal. 64-66.
- [2] Basu, Prabir, 2010, *Biomassa Gasification and Pyrolysis Practical Design*, Elsevier Inc, USA.
- [3] Kunii, D and Levenspiel, 1969, *Fluidization Engineering*, Jhon Willey and Sons, inc, New York.
- [4] Basu, Prabir, 2006, *Gasification And Combustion*, Helifax, Nova Scotia By Taylor and Francis Group, LLC.
- [5] Basu Prabir and Fraser Scott A, 1991, *Circulating Fluidized Bed Boilers : Design and Operations*, Hainemann, USA.
- [6] Slamet Ardana, W, 2012, *Skripsi Performansi Reaktor Downdraft dengan Variasi Biomassa Sekam Padi Dan Serbuk Kayu*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- [7] Ngurah Wahyu Hadhitya, I Gusti, 2015, *Skripsi Variasi Campuran Bahan Bakar Batubara dengan Sekam Padi Terhadap Performansi CO-Gasifikasi Sirkulasi Fluidized Bed*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- [8] Utami, Fika Prameidia, 2013, *Skripsi dan Karakteristik Zeolit 4A dari Abu Sekam Sebagai Penyerap Logam Berat Timbal (II) Dan Tembaga (II)*, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Sumatra Utara.
- [9] Asmuni, 2000, *Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO₂) dengan Metode XRD*, Laporan Penelitian. FMIPA-USU.