

Gambar 2. 18 Plot Pembentukan Kalor Dan Kehilangan Kalor Pada Pemantikan Spontan Campuran Bahan Bakar Dan Oksidan Dalam Bejana Tetap

Untuk suatu sistem adiabatik (tidak ada kehilangan kalor, $q_- = 0$) maka persamaan 2.6. dapat disederhanakan menjadi :

$$c_p \rho \frac{dT}{dt} = \rho Q c_o A \exp(-Ea/RT) \dots \dots \dots (2.7)$$

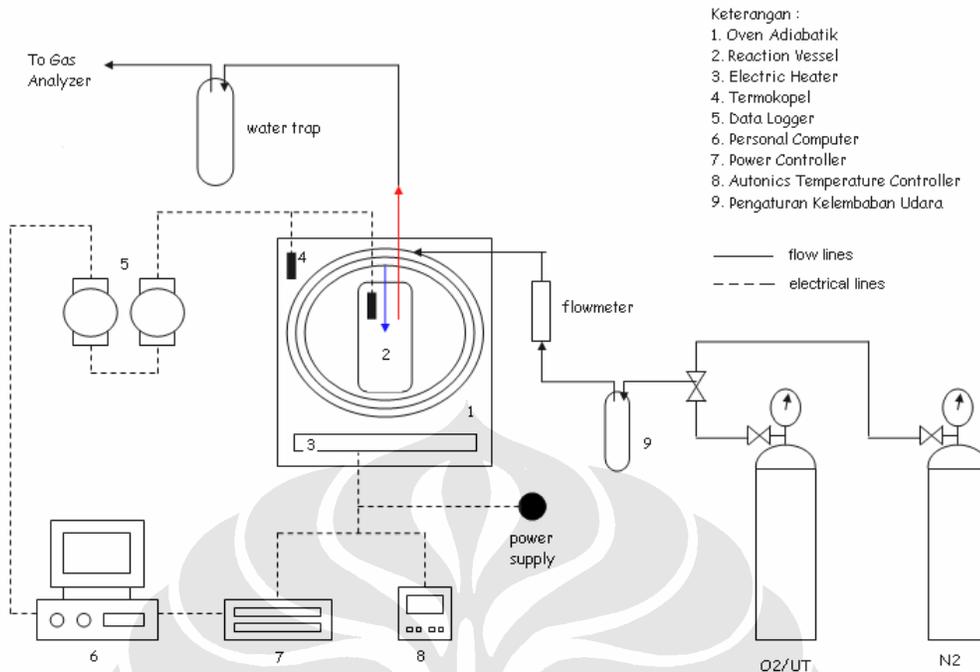
BAB III EKSPERIMENTAL

III.1. PENDAHULUAN

Pada eksperimen kali ini digunakan prinsip oksidasi adiabatik. Prinsip oksidasi adiabatik dapat diterapkan dalam dua metode, yaitu dengan memberikan insulasi yang sangat baik terhadap sistem sehingga hanya sejumlah kalor, yang dapat diabaikan, yang melewati lapisan batas sistem, dan metode kedua yaitu dengan mempertahankan sistem dan lingkungan sekelilingnya pada temperatur yang sama oleh karena itu tidak terdapat kecenderungan untuk terjadinya perpindahan panas. [Boles, Michael A. dan Cengel, Yunus A., 1994].

Metode oksidasi adiabatik yang akan digunakan dalam eksperimen ini yaitu metode kedua, yaitu dengan mempertahankan sistem dan lingkungan sekelilingnya pada temperatur yang sama selama eksperimen dijalankan. Sekilas mungkin dengan tidak adanya perubahan atau perbedaan temperatur pada sistem dan lingkungan menyebabkan perkiraan bahwa proses adiabatik dengan proses isotermik sama. Namun kenyataannya kedua proses ini berbeda. Pada proses adiabatik meskipun tidak terdapat transfer energi, tetapi jumlah energi dan temperatur dari sistem dapat berubah dengan kata lain terdapat kerja.

Prinsip kerja pengujian pembakaran spontan batubara dengan metode pemanasan adiabatik (*Adiabatic Heating*) adalah mereaksikan batubara dalam sebuah tabung reaktor yang didesain untuk meminimalisasi panas yang hilang. Tabung reaktor kemudian diletakkan dalam sebuah oven yang telah dimodifikasi. Sebelum sampel direaksikan, dilakukan pemanasan awal dengan mengalirkan nitrogen agar sampel tidak terjadi reaksi oksidasi, setelah mencapai suhu inisial maka dialirkan oksigen ke dalam reaktor. Setelah dialirkan oksigen maka akan terjadi proses oksidasi sehingga suhu di dalam tabung reaktor meningkat. Untuk meminimalisasi panas yang hilang, temperatur dari oven dikontrol agar selalu mengikuti temperatur oven. Metode ini digunakan untuk mengetahui secara langsung kecenderungan batubara dapat menyala [Beamish, B., et.al., 2000].

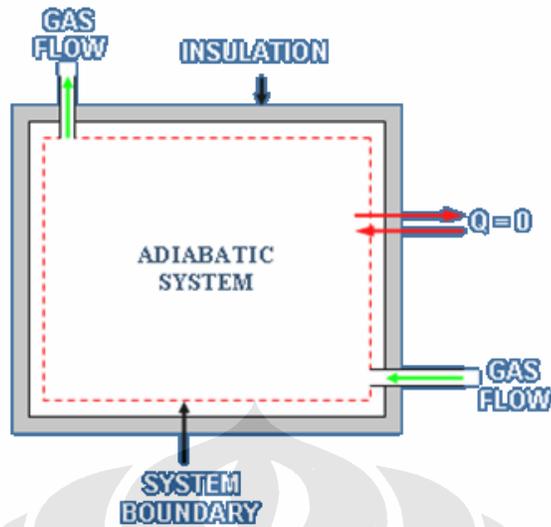


Gambar 3. 1 Skema alat uji Oksidasi Adiabatik

III.2. OKSIDASI ADIABATIK

Pada proses oksidasi terjadi pemutusan rantai pengikat atom karbon yang dilanjutkan dengan pengikatan atom karbon tersebut dengan molekul oksigen. Pada saat pemutusan rantai pengikat karbon akan terjadi pelepasan energi dalam bentuk kalor, karena itu proses oksidasi yang terjadi pada batubara merupakan reaksi eksotermis. Akan tetapi karena batubara memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah maka kalor yang dilepaskan ke lingkungan menjadi terbatas. Karena itu jika oksidasi terus terjadi maka kalor yang dihasilkan batubara akan lebih besar dari jumlah kalor yang dilepaskan, hal ini akan meningkatkan kemungkinan terjadinya pembakaran spontan batubara. Oleh sebab itu pembakaran spontan pada batubara dapat didefinisikan sebagai oksidasi adiabatik [Ren, T.X., et.al., 1999].

Proses adiabatik adalah proses oksidasi dimana tidak terdapat pertukaran kalor antara sistem dengan lingkungan ($Q=0$).



Gambar 3. 2 Sistem adiabatik

Pada hukum pertama termodinamika atau lebih dikenal dengan hukum konservasi energi untuk sebuah sistem tertutup, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah Transfer Energi} \\ \text{Berupa Panas atau Kerja} \\ \text{Menuju (atau dari) Sistem} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Jumlah Penambahan} \\ \text{(atau Pengurangan)} \\ \text{dari Jumlah Energi Total} \\ \text{Pada Sistem} \end{array} \right]$$

Pada eksperimen ini terdapat aliran gas yang digunakan sebagai reaktan. Aliran gas tersebut dialirkan pada sistem dengan temperatur tertentu dan keluar dari sistem dengan temperatur yang sama. Dengan demikian dinyatakan suatu sistem terbuka.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah Transfer} \\ \text{Energi berupa Panas} \\ \text{atau kerja menuju} \\ \text{atau dari sistem} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Aliran gas dengan} \\ \text{temperatur dan} \\ \text{debit tertentu} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Jumlah Penambahan} \\ \text{atau pengurang} \\ \text{dari Jumlah energi} \\ \text{total pada sistem} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Aliran gas dengan} \\ \text{temperatur dan} \\ \text{debit tertentu} \end{array} \right]$$

Dengan bentuk diferensial $\delta Q - \delta W = dE$ (kJ).....(3.1)

Atau dengan bentuk umum $Q - W = \Delta E$ (kJ).....(3.2)

Dimana:

$$Q = \text{Jumlah transfer kalor yang melewati sistem } (= \sum Q_{masuk} - \sum Q_{keluar})$$

$W = \text{Jumlah kerja yang dilakukan } (= \sum W_{\text{keluar}} - \sum W_{\text{masuk}})$

$\Delta E = \text{Jumlah perubahan pada energi total sistem } (E_2 - E_1)$

pada sistem adiabatik nilai $Q = 0$, maka

$$-W = \Delta E \dots\dots\dots(3.3)$$

Agar suatu proses berlangsung adiabatik dapat dilakukan dengan dua cara. Yang pertama yaitu suatu sistem diinsulasi dengan sangat baik sehingga hanya sejumlah kalor yang diinginkan yang dapat melewati lapisan batas sistem, yang kedua, menyamakan temperatur lingkungan dan sistem sehingga dengan tidak adanya perbedaan temperatur tidak adanya transfer kalor yang terjadi [Boles, Michael A. dan Cengel, Yunus A, 1994].

Sekilas mungkin dengan tidak adanya perubahan atau perbedaan temperatur pada sistem dan lingkungan menyebabkan perkiraan bahwa proses adiabatik dengan proses isotermik sama. Namun kenyataannya kedua proses ini berbeda. Pada proses adiabatik meskipun tidak terdapat transfer energi, tetapi sejumlah energi dan temperatur dari sistem dapat berubah dengan kata lain terdapat kerja.

III.3.PERPINDAHAN KALOR

Bentuk dari energi yang ditransfer antara dua sistem (atau sebuah sistem dengan lingkungannya) yang diperlihatkan dengan perbedaan temperatur didefinisikan sebagai kalor [Boles, Michael A. Dan Cengel, Yunus A., 1994]. Pada eksperimen ini terjadi perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi.

III.3.1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Apabila suatu benda memiliki gradien suhu, maka akan menghasilkan perpindahan energi dari bagian bertemperatur tinggi ke bagian bertemperatur rendah. Dan dapat dikatakan bahwa energi tersebut berpindah secara konduksi, atau hantaran dan laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien temperatur normal [Holman, J.P., 1997].

$$\frac{q}{A} \approx \frac{\delta T}{\delta x} \dots\dots\dots(3.4)$$

Jika disubstitusikan tetapan kesebandingan, maka

$$q = -kA \frac{\delta T}{\delta x} \dots\dots\dots(3.5)$$

- Dimana :
- q = Laju perpindahan kalor (W)
 - k = Konduktivitas termal (W/m °C)
 - A = Luas bidang hantaran (m²)
 - $\frac{\delta T}{\delta x}$ = Gradien suhu ke arah perpindahan kalor (°C/m)

Dengan menggunakan persamaan diatas yang merupakan persamaan dasar konduktivitas termal serta menggunakan persamaan tersebut sebagai titik awal, maka dapat ditentukan persamaan dasar yang mengatur perpindahan kalor dari zat padat. Apabila sistem dalam keadaan tunak (*steady state*) dan tidak terjadi perubahan suhu, maka persamaan tersebut dapat diintegrasikan.

III.3.2. Perpindahan Kalor Secara Konduksi Pada Sistem Radial-Silinder

Apabila pada suatu silinder yang memiliki jari-jari dalam r_i , jari-jari luar r_o , dan panjang L , dengan memiliki perbedaan suhu $T_i - T_o$, serta aliran kalor yang berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang diperlukan untuk menentukan sistem tersebut hanyalah r , maka pada persamaan sebelumnya dapat digunakan untuk luas yang sesuai. Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder adalah :

$$A_r = 2\pi rL \dots\dots\dots(3.6)$$

sehingga laju perpindahan kalor menjadi :

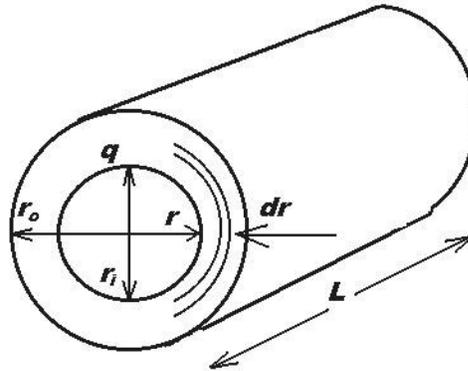
$$q_r = -k A_r \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots(3.7)$$

atau,

$$q_r = -k2\pi rL \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots(3.8)$$

Sehingga penyelesaian persamaan adalah :

$$q_r = -\frac{2\pi kL(T_o - T_i)}{\ln \left[\frac{r_o}{r_i} \right]} \dots\dots\dots(3.9)$$



Gambar 3. 3 Aliran kalor satu dimensi melalui silinder bolong [Holman, J.P., 1997].

III.3.3. Konveksi Pada Aliran Dalam Pipa

Proses pengeringan batubara dilakukan dengan mengalirkan gas nitrogen. Antara aliran gas nitrogen dan batubara akan terjadi perpindahan panas secara konveksi sampai temperatur keduanya sama. Gas nitrogen akan terlebih dahulu dipanaskan didalam pipa tembaga sepanjang 32 m yang diletakkan didalam oven yang temperaturnya sudah diatur. Kenaikan temperatur pada batubara dikarenakan terjadinya perpindahan kalor yang dipengaruhi oleh konduktivitas dari reaktor serta konveksi gas nitrogen yang mengalir sepanjang pipa. Sistem didalam oven kita anggap tunak, yaitu suhu tidak berubah menurut waktu dan tidak ada aliran udara yang masuk, namun dengan demikian sistem di dalam reaktor terdapat aliran gas nitrogen. Faktor konduksi dan konveksi dapat menyebabkan perbedaan temperatur antara batubara dengan oven. Persamaan dasar untuk perpindahan kalor secara konveksi adalah :

$$q = hA (T_w - T_{\infty}) \dots\dots\dots(3.10)$$

untuk h = koefisien perpindahan panas secara konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)



Gambar 3. 4 Pipa tembaga yang diletakan di dalam oven

Sebuah pipa dengan diameter d , panjang L dipanaskan di dalam oven dengan temperatur T_w , gas mengalir melalui pipa dengan kecepatan v dan temperatur sebelum memasuki oven adalah T_{b1} , karena adanya konveksi paksa, maka temperatur keluaran T_{b2} akan berbeda dengan temperatur sebelum memasuki oven. Energi total dapat ditambahkan dan dinyatakan dengan beda temperatur limbak :

$$q = \dot{m} c_p (T_{b2} - T_{b1}) \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan syarat c_p sepanjang aliran pipa tetap. Kalor dq yang ditambahkan dalam panjang diferensial dx dapat dinyatakan dengan beda temperatur limbak atau dengan koefisien perpindahan kalor dimana T_w dan T_b masing-masing adalah temperatur dinding dan temperatur limbak pada posisi x tertentu.

$$dq = \dot{m} c_p dT_b = h(2\pi r) dx (T_w - T_b) \dots\dots\dots(3.12)$$

Perpindahan kalor total dapat dinyatakan sebagai :

$$q = hA(T_w - T_b)_{av} \dots\dots\dots(3.13)$$

Karena T_w maupun T_b mungkin berubah sepanjang tabung, maka harus menggunakan proses perataan yang tepat untuk digunakan dalam perasamaan diatas. Metode penentuan h , yaitu nilai perpindahan kalor konveksi bergantung dari jenis aliran. Untuk aliran laminar yang berkembang penuh dalam pipa dan pada temperatur tetap adalah :

$$Nu_d = 3,66 + \frac{0,0668 \left(\frac{d}{L}\right) Re_d Pr}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{d}{L}\right) Re_d Pr\right]^{1/3}} \dots\dots\dots(3.14)$$

Koefisien perpindahan kalor yang dihitung dengan rumus ini merupakan nilai rata-rata untuk sepanjang tabung. Angka *Nusselt* akan mendekati nilai tetap 3,66 apabila pipa cukup panjang. Setelah mendapatkan angka *Nusselt* maka nilai *h*, perpindahan kalor secara konveksi adalah :

$$h = \frac{kNu_d}{d} \dots\dots\dots(3.15)$$

III.4. ALAT KONTROL

Eksperimen yang dilakukan untuk mengetahui proses pembakaran spontan batubara menggunakan suatu sistem kontrol alat uji yang dapat menciptakan suatu kondisi yang mendukung terjadinya pembakaran spontan. Sebagian sistem ini merupakan rangkaian sistem yang dapat bekerja secara otomatis, dengan adanya sistem otomatis ini diharapkan kondisi yang tercipta lebih akurat. Sistem ini juga akan membantu dalam proses pengambilan data, sehingga data dapat lebih cepat untuk dianalisa dan lebih konsisten.

Alat kontrol yang digunakan meliputi oven listrik adiabatik, termokopel, DAQ(Data Acquisition) Modul ADAM 4018M dan 4520, timbangan elektronik, PC beserta perangkat lunaknya, *solid-state relay* dan *relay* elektromekanik, dan *handy board*. Khusus untuk pengujian pengaruh kelembaban udara terhadap pembakaran spontan batubara akan digunakan suatu rangkaian pengatur kelembaban. Berikut akan dijelaskan alat-alat yang digunakan dalam eksperimen.

III.4.1. Oven Listrik Adiabatik

Oven listrik yang digunakan merupakan oven listrik biasa yang telah dimodifikasi agar dapat secara otomatis mengikuti laju peningkatan temperatur. Oven listrik terdiri atas: oven, tabung reaktor, serta pipa tembaga sepanjang 32 m. Oven listrik tersebut memiliki 3 elemen pemanas, namun yang digunakan untuk pemanasan utama adalah bagian pemanas yang berada di tengah-tengah dimana

pemanas tersebut dihubungkan dengan sebuah relay yang mengatur kondisi *on-off* dari pemanas.



Gambar 3. 5 Oven Listrik Dan Sistem Didalamnya

Tabung reaktor pengujian yang digunakan memiliki volume sebesar 250 mL yang terbuat dari sainless- steel dengan tutup yang terbuat dari alumunium. Tabung ini juga digunakan untuk proses pengeringan batubara sebelum proses oksidasi. Tabung tersebut diletakan pada pintu oven dengan tembaga. Pada tutup tabung terdapat tiga buah lubang. Lubang pertama dengan diameter 5 mm digunakan untuk masuknya gas nitrogen atau oksigen dari pipa tembaga. Lubang kedua digunakan sebagai lubang keluaran hasil oksidasi dan air dari proses pengeringan, sedangkan lubang yang ketiga digunakan untuk memasukan kawat termokopel.



Gambar 3. 6 Tabung Reaktor

III.4.2. Termokopel

Untuk mengukur temperatur oven dan reactor dalam eksperimen ini digunakan termokopel tipe K, dengan panjang kurang lebih 30 cm, termokopel tipe K memiliki jangkauan temperatur yang cukup besar. Yaitu 0°C sampai dengan 1000°C, selain itu termokopel ini sangat sensitive terhadap perubahan nilai temperatur.

III.4.3. Modul ADAM 4018M dan 4520

Keluaran termokopel yang berupa tegangan listrik diubah menjadi sinyal dengan bantuan *Analog to Digital Converter* dengan merk ADC Advantech ADAM 4018M dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Resolusi 16 bit
- Jenis input termokopel, mVolt, dan mAmpere
- Jangkauan temperatur dari 0oC sampai 1370oC untuk termokopel tipe K
- Sampling rate total 10 sampel per detik

ADC ADAM 4018M ini memiliki standard *interface* RS-422/485. Agar dapat berhubungan dengan PC yang memiliki standard *interface* RS-232, diperlukan pengubah sinyal, yaitu Advantech ADAM 4520.



Gambar 3. 7 Modul ADAM 4018M dan ADAM 4520

III.4.4. PC Dengan Perangkat Lunak Advantech VisiDAQ

Pengaturan temperatur oven dilakukan sepenuhnya secara otomatis oleh seperangkat komputer. Spesifikasi PC yang digunakan adalah:

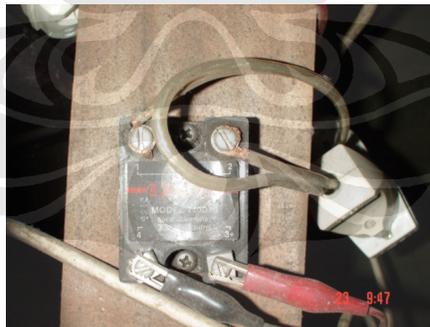
- Processor Intel Pentium Celeron 433 MHz
- Memori 64 SDRAM
- Dua buah port komunikasi COM1 dan COM2 dengan konektor DB-9
- Sistem Operasi Window Millenium Edition

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah Advantech VisiDAQ ver, 3.10 yang sekaligus berfungsi sebagai perangkat akuisisi.

III.4.5. Solid-State Relay dan Relay Elektromekanik

Relay yang digunakan untuk menyalakan elemen pemanas oven berjenis solid-state relay dan relay elektronik. Perbedaan antara kedua jenis relay ini adalah solid-state relay terdiri dari komponen yang murni elektronik, dan tidak memiliki komponen bersifat mekanik.

Solid-state relay digunakan pada saat proses adiabatik saja. Arus listrik untuk pengaturan on-off berasal dari adaptor dengan keluaran 3 Volt yang diatur oleh Handy Board. Relay elektromekanik digunakan pada saat proses pengeringan sampel dan penyetelan temperatur inisial beberapa jam sebelum eksperimen. Untuk pengaturan on-of relay ini menggunakan pengontrolan bermerk Autonics



Gambar 3. 8 Solid state relay Opto 22



Gambar 3. 9 Relay elektronmekanik Autonics

III.4.6. Handy Board

Handy Board digunakan untuk mengatur *on-off* nya solid-state relay. Handy Board adalah mikrokontroler berbasis mikro prosesor delapan bit Motorola M68HC11 dengan keluaran motor servo. Untuk melakukan pemrograman Handy Board digunakan bahasa pemrograman C. Agar dapat berhubungan dengan komputer dibutuhkan perangkat lunak bernama Interactive C. Perangkat lunak inilah yang digunakan untuk memprogram Handy Board.



Gambar 3. 10 Handy Board

III.4.7. Timbangan Elektronik

Untuk mengetahui perubahan massa sampel digunakan sebuah timbangan elektronik. Dalam eksperimen ini timbangan digunakan untuk menimbang sampel sebelum dan sesudah tahap pengeringan agar didapat nilai moisture dari sampel.



Gambar 3. 11 Timbangan Elektronik

III.4.8. Pengatur Kelembaban

Untuk mendapatkan kelembaban yang diinginkan, maka diperlukan beberapa tahapan antara lain:

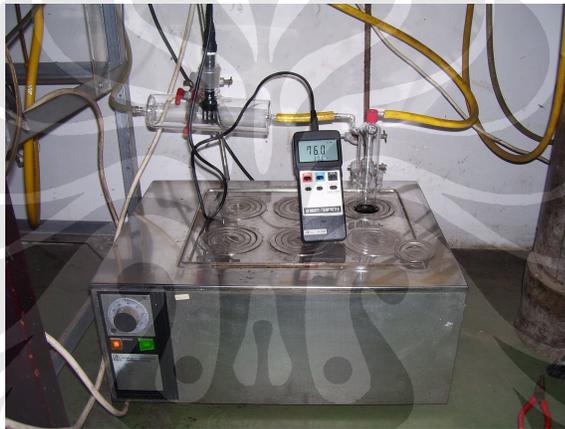
- Siapkan peralatan yang dibutuhkan yaitu kolom air, water batch, kolom ukur dan humidity meter
- Isi kolom air jangan sampai menyentuh pipa masuk aliran gas
- Isi water batch secukupnya
- Masukkan RH probe pada kolom ukur
- Atur aliran yang diinginkan
- Atur suhu yang diperlukan
- Lihat hasil ukur pada humidity meter



Gambar 3. 12 Kolom Air



Gambar 3. 13 Humidity meter dan kolom ukur



Gambar 3. 14 Rangkaian pengatur kelembaban

III.5. PROSEDUR EKSPERIMEN

Ekspirimen yang dilakukan meliputi 4 bagian utama yaitu:

1. Preparasi

- Batubara dihaluskan dengan cara ditumbuk dan dihaluskan kemudian disaring hingga didapat sampel dengan diameter partikel $\leq 250 \mu\text{m}$ (60 mesh)
- Sampel yang disiapkan sebanyak 200 gr
- Sampel dimasukkan kedalam reaktor dan dipastikan tidak terdapat kebocoran aliran pada sistem, dan pada pipa keluar dipasang *water trap* untuk membuktikan adanya *moisture* yang terkandung pada batubara.

2. Pengeringan

- Sampel dikeringkan pada suhu 110°C pada oven yang dikontrol oleh Autonics TZ4ST, Selama pengeringan dialirkan gas Nitrogen dengan laju aliran 200 mL/min yang bertujuan untuk mencegah proses oksidasi pada batubara.
- Setelah 20 jam pengeringan, oven dimatikan dan pintu oven dibuka, kemudian sampel didinginkan hingga mencapai temperatur ruangan.

3. Pengaturan kelembaban

- Siapkan peralatan yang dibutuhkan kolom air, water batch, kolom pengukur, dan humidity meter
- Isi kolom air dan water batch
- Set water batch pada suhu tertentu untuk mendapatkan kelembaban yang diinginkan
- Perlu waktu 30 menit untuk mencapai suhu konstan, tampilan kelembaban bisa dilihat menggunakan humidity meter.

4. Reaksi Oksidasi

- Setelah temperatur sampel sama dengan temperatur ruangan maka sampel ditimbang sehingga dapat dihitung besarnya *moisture* yang telah menguap.
- Persiapan komputer dan interface lainnya dilakukan, seperti persiapan perangkat lunak VisiDAQ dan setting Handy Board, kemudian perangkat lunak VisiDAQ dijalankan.
- Sebelum direaksikan maka sampel dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 40°C (*Initial Temperature*) dan dialirkan gas nitrogen dengan laju alir 0,05 LPM.
- Setelah suhu pada sampel stabil di 40°C maka aliran gas nitrogen diganti dengan aliran gas oksigen pada *flowrate* yang sama, kontrol *heater* diganti dengan sistem otomatis dan pengatur suhu (autonics) dimatikan.
- Reaksi dilakukan hingga mencapai kondisi *take-off*.

III.6. ANALISIS KETIDAKPASTIAN

Analisis ketidakpastian adalah sebuah analisis yang menunjukkan seberapa besar derajat kepercayaan dari suatu sistem. Sistem yang dimaksud dapat berupa eksperimen, alat ukur, ataupun suatu data statistik. Dalam analisis ini diperlukan suatu tingkat kesalahan (*error*) dari sistem. Dengan mengetahui tingkat kesalahan tersebut maka dapat ditentukan seberapa besar ketidakpastian hasil yang berasal dari sistem tersebut. Dengan demikian maka dapat diketahui seberapa besar tingkat kepercayaan dari sistem tersebut. Semakin kecil tingkat ketidakpastian maka semakin besar tingkat kepercayaannya.

Berdasarkan penjelasan di atas maka dapat dilakukan analisis ketidakpastian dari sistem pengambilan data mengenai pembakaran spontan batubara pada Laboratorium Pembakaran. Dari sistem tersebut akan didapatkan hasil berupa grafik antara waktu dan temperatur. Analisis tersebut mencakup alat-alat yang digunakan untuk pengambilan data. Alat-alat tersebut terdiri dari Flowmeter, Autonics, Handyboard, ADAM Module, dan Termokopel. Namun, dari seluruh alat tersebut hanya Termokopel dan ADAM Module yang mempengaruhi data yang dihasilkan. Kedua alat tersebut akan dilakukan analisis ketidakpastian untuk mendapatkan tingkat kepercayaan dari data yang dihasilkan

III.6.1. ADAM Module

Alat ini merupakan bagian dari sistem yang berfungsi untuk mengkonversi hasil pembacaan dari termokopel menjadi sesuatu yang bisa dibaca oleh PC Komputer, dalam hal ini adalah bahasa *binary number*. Hasil pembacaan dari termokopel adalah berupa arus listrik dengan satuan milivolt. Dengan menggunakan ADAM Module maka arus listrik milivolt tersebut dapat dibaca oleh komputer. ADAM Module yang digunakan adalah ADAM 4018M dan 4520. ADAM 4018M berfungsi membaca arus listrik dan ADAM 4520 berfungsi untuk mengkonversi arus tersebut menjadi *binary number*. Pada ADAM 4018M memiliki tingkat kesalahan sebesar $\pm 0,1\%$ untuk tegangan input. Sedangkan pada ADAM 4520 merupakan perangkat untuk mengkonversi saja sehingga tidak memiliki kesalahan.

III.6.2. Termokopel

Alat ini berfungsi untuk mengukur temperatur dalam reaktor. Dari pengukuran tersebut akan timbul arus yang akan diteruskan menuju ADAM ataupun Autonics. Termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K.

Untuk mendapatkan nilai tingkat kesalahan pada eksperimen berdasarkan alat-alat uji diatas maka diperlukan suatu persamaan yang dapat menunjukkan tingkat kesalahan tersebut. Langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah [Patrick A. Nenright dan Charles M. Fleischmann, 1999]:

1. Tentukan nilai acuan yang akan dianalisis.
2. Tentukan nilai batas atas dan batas bawah dari nilai acuan tersebut dengan persamaan :

$$BA = \text{Nilai Acuan} + (\text{Nilai Acuan} * \text{Persen Kesalahan Alat}) \dots\dots(3.16)$$

$$BB = \text{Nilai Acuan} - (\text{Nilai Acuan} * \text{Persen Kesalahan Alat}) \dots\dots(3.17)$$

3. Tentukan nilai kesalahan dengan menggunakan persamaan :

$$TK = \sqrt{\frac{\left(\frac{BA - \text{NilaiAcuan}}{BA}\right)^2 + \left(\frac{\text{NilaiAcuan} - BB}{\text{NilaiAcuan}}\right)^2}{2}} \dots\dots\dots(3.18)$$

Tentukan nilai kesalahan total dari seluruh alat yang digunakan :

$$TK_{total} = \sqrt{\frac{(TK_1)^2 + (TK_2)^2 + \dots + (TK_n)^2}{n}} \dots\dots\dots(3.19)$$