

Keterangan :

1. Plat tebal 2mm di buat dengan cara dirol dan dilas pada lubang pengisi batu bara pada flange no. 2
2. Plat penutup atas dengan badan plat besi tebal 6mm dan terdapat lubang as dari lubang pengisian batu bara
3. Flange tebal 5mm dipotong melingkar dengan lubang tengah dan disambung dengan las pada plat no. 4
4. Plat besi bahan mildsteel dirol membentuk lingkaran dengan ujung yang disambung dengan las
5. Plat no. 4 dan 7 disambung dengan las
6. Plat no. 1 dilas ke plat no. 2
7. Plat besi bahan mildsteel dirol membentuk kerucut
8. Plat dirol untuk mengurangi flange
9. Flange tebal 5mm dipotong bulat  $\varnothing$  sesuai lubang tengah, ukuran dan disambung las dengan plat no. 8
10. Flange tebal 5mm dipotong melingkar dengan lubang tengah disambung dengan las pada plat no. 11
11. Plat dirol sebagai pengurangan. Selanjutnya plat ini disambung pada plat flange no. 12
12. Plat tebal 5mm dipotong nelingkar degan lubang tengah
13. Plat flange tebal 5mm dipotong melingkar dan dilas pada plat no. 14
14. Plat tebal 2mm di buat dengan cara dirol dan dilas pada lubang pengisi batu bara pada flange no. 15
15. Plat penutup atas dengan badan plat besi tebal 6mm dan terdapat lubang as dari lubang pengisian batu bara
16. Flange tebal 5mm dipotong melingkar dengan lubang tengah dan disambung dengan las pada plat no. 17
17. Plat besi bahan mildsteel dirol membentuk lingkaran dengan ujung yang disambung dengan las
18. Plat no. 17 dan 19 disambung dengan las
19. Plat no. 14 dilas ke plat no. 15

20. Plat dudukan dengan tebal 12mm dipotong melingkar dengan lubang tengah. Sebagai informasi, semua pemotongan plat besi dengan menggunakan mesin las/blender potong las asitelin
21. As pipa dengan lubang tengah dibubut hingga permukaan luar dan dalam halus
22. Per pegas untuk memantulkan kedua as yang gerakan berlawanan
23. Liner (selongsong) dimana menjadi penyangga gerakan as pipa yang bergerak naik turun tetap centre/lurus. Liner ini dibuat dari as ST 41 dengan cara dibubut
24. As poros penggerak klep bawah. Bahan st 41 dengan dibubut. Masing-masing ujungnya dibuat ulir untuk mengikat klep dengan baut
25. Bushing untuk mengerahkan gerakan as supaya lurus. Diikat dengan tangkai bracket. Bagian yang bergesekan dengan as terbuat dari bahan kuningan yang dijepit dengan rumah bushing yang terbuat dari besi dan dilas pada tangkai pengikat
26. Seal dari karet dan bahan asbes dibeli dari pasaran toko
27. Klep atas yang terhubung dengan as pipa no. 21. Klep ini dari bahan besi st 41 yang dibubut tirus kemiringan  $40^\circ$  dan disambung pada as pipa dengan dilas
28. Klep bawah yang terhubung dengan as no. 24. Klep ini yang terhubung dengan as no. 24. Klep ini dari bahan besi st 41 dibubut tirus dengan sudut  $40^\circ$  dan dihubungkan dengan as no. 24 dengan dibaut.



**LABORATORIUM PENGUJIAN KIMIA MINERAL DAN BATUBARA  
MINERAL CHEMISTRY AND COAL TESTING LABORATORY**

No. 804/45.04/BGD/2008

Tanggal / Date 10 Maret 2008

**SERTIFIKAT ANALISIS**  
**(CERTIFICATE OF ANALYSIS)**

**Dibuat untuk** : BP. YUDHO DANU PRIHAMBODO  
*Analysed for* UNIV. INDONESIA

**Alamat** : ---  
*Address*

**Jenis Contoh** : Batubara  
*Type of Sample*

**Jumlah Contoh** : 1 ( satu )  
*Amount of Sample*

**Asal Contoh** : ---  
*Origin of Sample*

**Nomor Laboratorium** : 200807000122  
*Laboratory Number*

**Keterangan Contoh** : ---  
*Description of Sample*

**Tgl. Contoh Diterima** : 22 Februari 2008  
*Date of Sample Received*

**Tanggal Analisis** : ---  
*Date of Analysis*

**Hasil analisis dilampirkan pada halaman berikut**  
*Result of analysis is attached on the following pages*

- Catatan:** 1. Hasil analisis hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
*Notes* Analysis results are valid only for the tested sample  
2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak tanpa izin dari laboratorium yang berwenang  
*This certificate shall not be multiplied without written permission from the authorized laboratory*

**HASIL ANALISIS KIMIA**  
( Result of Chemical Analysis)

NOMOR ANALISIS KIMIA : 20080700122  
( Number of Analysis )  
CONTOH YANG DIANALISIS : 1 Contoh Batubara  
( Analysed Samples )  
L O K A S I/Location : ---  
ANALISIS UNTUK/Analysis for : **BP. YUDHO DANU PRIHAMBODO  
UNIV. INDONESIA**

*Standard Methods*

Free Moisture : ASTM D.2013-03  
Total Moisture : ASTM D.3302-02a  
Moisture : ASTM D.3171-04  
Volatile Matter : ASTM D.3175-04  
Fixed Carbon : ASTM D.3172-04  
Ash : ASTM D.3174-04  
Calorific Value : ASTM D 5865-04  
Total Sulphur : ISO 351

ANALYSIS	UNIT	BASIS	Sample Code YUDHO-2
FREE MOISTURE	%	ar	18.02
TOTAL MOISTURE	%	ar	22.75
<b>PROXIMATE</b>			
MOISTURE	%	adb	12.33
VOLATILE MATTER	%	adb	45.14
FIXED CARBON	%	adb	40.20
ASH	%	adb	2.33
TOTAL SULPHUR	%	adb	0.13
S <sub>in</sub>	%	adb	0.10
SO <sub>2</sub>	%	adb	0
S <sub>org</sub>	%	adb	0.03
Cl		adb	0.02
SG		adb	1.42
HGI		adb	52
SI		adb	0
CALORIFIC VALUE	Cal/gr	adb	5669
<b>ULTIMATE</b>			
CARBON	%	daf	72.65
HYDROGEN	%	daf	4.71
NITROGEN	%	daf	0.74
SULPHUR	%	daf	0.15
OXYGEN	%	daf	21.66

Air dried basis = As determined basis

HGI = ASTM D 409



Tahapan pengujian adalah :

7. *Persiapan awal (10 - 20 menit)*

- Menyiapkan arang kelapa dan kayu masing-masing 2,5-3 kg. Untuk arang kelapa ukuran 2x2 inci, ketebalan berkisar  $\frac{1}{4}$  inci. Sedangkan arang kayu, dengan ukuran 3x3 inci, ketebalan mencapai 2 inci. Masing-masing dipersiapkan di dalam karung yang siap untuk diambil.
- Memastikan posisi busur derajat (sebagai patokan perubahan aliran udara) pada *valve*  $\frac{3}{8}$  dari *blower* utama telah benar.
- Memasang termokopel tipe-K (*chromel alumel*) berdiameter 0,65 mm, yaitu 8 buah pada reaktor sesuai posisi yang telah ditentukan, satu termokopel pada *burner*. Menghubungkan keseluruhan termokopel pada *temperature digital data logger* dengan kabel konduktor.

Tc. 4, 5, 6, 7 : Pengukuran temperatur gasifier bagian atas (reduksi+ pirolisis)

Tc. 2,3 : Pengukuran temperatur gasifier bagian pembakaran (oksidasi)

Tc. 1 : Pengukuran temperatur gasifier bagian reduksi

Tc.8 : Pengukuran temperatur producer gas pada pipa outlet gas sebelum *burner*

Tc. 9 : Pengukuran suhu pada *burner*

- Memasang *orifice plate* pada *flens* yang telah terpasang *tapping* tekanan. Menghubungkan manometer miring pada *tapping* dengan selang.
- *Valve* suplai udara dari *blower* selalu dibuka penuh. Peran *valve* ditiadakan dengan adanya inverter.

- Memastikan konektor alat uji utama (reaktor dan *burner*) dan alat-alat pendukung telah terpasang dengan baik dan menyeluruh.

#### 8. *Pembakaran awal ( $\pm 25$ menit)*

- Memasukkan arang kelapa dan kayu pada dasar refraktori reaktor sampai ke tenggorokan masing-masing  $\pm 2$  kg kemudian ditambah 1 kg batok kelapa. Cara pemasukkanya adalah diawali dengan arang kelapa dahulu, lalu arang kayu, kemudian batok kelapa. Bagian teratas dimasukkan sabut kelapa.
- Penyalaan awal dengan bantuan minyak tanah, gunakan sabut kelapa sebagai penyulut untuk memulai proses pembakaran.
- Menunggu  $\pm 15$  menit/termokopel 3 menunjukkan  $400^{\circ}\text{C}$  hingga biomass menjadi bara. Bahan bakar pada pengujian kali ini adalah sub-bituminus yang memiliki temperatur penyalaan  $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$  [29]

#### 9. *Pengaturan Suplai Udara Primer*

- Setelah timbul asap pekat,  $\pm 20$  s/d 25 menit, suplai udara primer mulai diatur dengan mengatur bukaan valve 3/8 dari  $70\text{-}90$  derajat (waktu ini disebut waktu ke- nol).

#### 10. *Ignisi (Penyalaan) Producer Gas*

- Menambahkan bahan bakar batubara 3 kg ke dalam gasifier untuk menghasilkan *producer gas* yang pekat dan banyak dari hasil pirolisis (penguraian) batubara.
- Setelah  $\pm 3\text{-}5$  menit, asap terlihat pekat. Kepekatan menandakan terdapat banyak komponen mampu bakar pada *producer gas*. Segera tutup feeding door dengan *mounting*.
- Lakukan penyulutan (ignisi) dengan pemantik kepada ujung *burner*. Bila belum tersulut, lakukan berulang-ulang.

- Lidah api pada *burner* akan terbentuk dan akan bertahan hingga *blow off* dalam waktu  $\pm 3$  s/d 5 menit. Bila sudah bertahan dalam waktu itu, maka turunkan blower utama.
- Setelah lidah api *blow off* dan *producer gas* mulai menipis (tidak pekat), segera menambahkan kembali bahan bakar batubara 3 kg.
- Setelah penambahan, dilanjutkan dengan menyalakan *blower mixing* pada *burner*. Lakukan dari bukaan katup terbesar.
- Dan seterusnya hingga bahan bakar seluruhnya terpakai dan produser gas sudah tidak mampu bakar lagi walaupun bahan bakar telah diaduk.

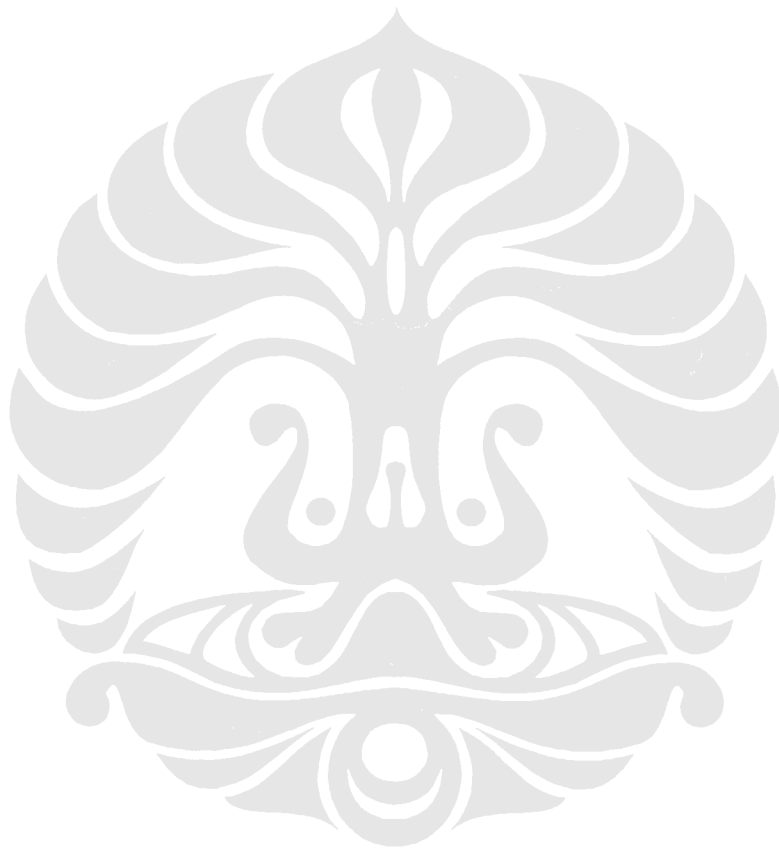
#### 11. Pengukuran

- Pembacaan dan pencatatan hasil pengukuran distribusi temperatur reaktor pada *data logger* setiap 5 menit sekali.
- Pembacaan dan pencatatan perubahan posisi fluida manometer miring pada pengukuran *flowrate* produser gas. Pengukuran dilakukan ketika kondisi asap paling pekat.

#### 12. Selesai pengujian

- Tetap menyalakan blower *primary air* untuk mengeluarkan seluruh asap dan residu yang masih tersisa di dalam reaktor. Lepaskan seluruh selang saluran *primary air* dari blower utama ke gasifier.
- Setelah  $\pm 2$  jam (kondisi reaktor mulai dingin dan bara sudah tidak menyala lagi) mengeluarkan abu sisa pembakaran melalui lubang pembuangan pada reaktor gasifier.
- Melepas semua alat ukur, yaitu termokopel, manometer miring dan *orifice plate*, selang dan memeriksa apakah kondisinya masih baik. Melepas alat pendukung seperti pemipaan suplai udara.
- Kondisi refraktori reaktor dibiarkan menjadi dingin hingga mencapai temperatur ruang, selama 1 hari penuh. Setelah itu

membuka tutup reaktor dan membersihkan seluruh bagian dalam reaktor dan *burner* dengan menyemprotkan udara dari kompresor atau *blower* untuk menghindari tar mengeras menjadi kerak





**PT. SURIA BERKAT ABADI**  
**Divisi Laboratorium Kalibrasi**

Gedung Yayasan Dana Pensiun TPI-KPM II, Bangor Besar Raya No. 49, Senen, Jakarta, 10610  
 Phone : 62-21-4294741, Fax: 62-21-4288922, e-mail: sba\_kalibrasi@indosat.net.id



**CALIBRATION CERTIFICATE**

No : 172-1302-0608

Laboratorium Kalibrasi PT. Surya Berkat Abadi, menyatakan bahwa perangkat dibawah ini telah dikalibrasi pada kondisi lingkungan terkontrol, menggunakan standar acuan yang memiliki ketertelusuran pengukuran ke Sistem Satuan Internasional (SI) melalui laboratorium kalibrasi yang terakreditasi. Sistem Manajemen Mutu Laboratorium Kalibrasi PT. Surya Berkat Abadi telah memenuhi persyaratan ISO/IEC 17025 (Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi).

The instrument at list below has been calibrated under controlled environment condition using reference standard that are traceable to international System of Units (SI) through accredited Calibration Laboratory. PT. Surya Berkat Abadi, quality management system meets the requirements of ISO/IEC 17025 (General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratory).

<b>Nama Alat Ukur</b> Description	: Thermocouple Sensor	<b>Pemilik</b> Customer	: Universitas Indonesia
<b>Merk</b> Manufacture	: -	<b>Alamat</b> Address	: Depok - Indonesia
<b>Tipe</b> Model	: K	<b>Tgl. Kalibrasi</b> Calibration Date	: 13-Jun-08
<b>No. Seri</b> Serial No	: -	<b>Lokasi Kalibrasi</b> Calibration Location	: Laboratory
<b>Rentang Ukur</b> Range	: 0 to 600 oC	<b>Daya Baca</b> Resolution	: -
<b>Suhu Ruangan</b> Ambient Temperature	: 21,5 ° C	<b>Kelembaban Relatif</b> Relative Humidity	: 48 %
<b>Metoda Acuan</b> Reference Method	: JIS 8710 : 1993	<b>Metoda Kalibrasi</b> Calibrator Method	: MK-TEMP-02

**Alat Ukur Standard yang digunakan**  
Reference Standard Used

<b>Nama Alat Standar</b> Description	<b>Merk</b> Manufacture	<b>Type</b> Model	<b>No. Seri</b> SN	<b>Keterelusuran</b> Traceability
Multifunction Process Calibrator	DRUCK, USA	DPI-720	3401009	PANASONIC, LK-001
Semi Standard PRT	ISOTECH, UK	935-14-72DB	231433	ISOLAB, SG
Dry Block Calibrator	ISOTECH, UK	Jupiter, 65DB	231433-1	NTPLUK

Hasil kalibrasi/Data Kalibrasi tertera dalam lampiran Sertifikat ini. Nilai ketidakpastian yang dilaporkan adalah nilai ketidakpastian bentangan pada tingkat kepercayaan tidak kurang dari 95% dengan faktor cakupan, k = 2.  
 The result of calibration/calibration data given on attachment enclosed with this certificate. Representing Expanded Uncertainty of measurement estimated at approximately the 95% confidence level with a coverage factor, k = 2.

**Diterbitkan Tanggal** 16-Jun-08  
Date Issued

**Kepala Laboratorium Kalibrasi**  
Head of Calibration Laboratory

( Afris Indra )



**PT. SURIA BERKAT ABADI**

*Divisi Laboratorium Kalibrasi*

Cedeng Yayasan Dana Pensiun TELKOM II, Gedung Besar Raya No. 49, Senen, Jakarta, 10610  
Phone : 62-21-4204741, Fax: 62-21-4288922, e-mail: sba\_kalibrasi@dsr.sba.id



Standar Nasional Metrologi  
Laboratorium Kalibrasi

LK-067-IDN

## CALIBRATION DATA

Description	Model	Certificate No.	Date Issued	Ambient Temp
Thermocouple Sensor	Type K	172-1302-0608	16-Jun-08	21.5 °C
Manufacture	S/N	Cal date	Calibration Location	Rel. Humidity
-	-	13-Jun-08	Laboratory	48 %

### I. Measurement Result

Display using Multifunction Process Calibrator DPI-720

Applied Value (°C)	Indicated Value (°C)	Correction (°C)	Uncertainty ± (°C)
50.6	50.2	+0.4	0.3
100.6	100.1	+0.5	0.3
200.7	201.0	-0.3	0.6
400.9	400.0	+0.9	0.6
600.9	599.6	+1.3	0.6

### 7.1 Data Korelasi Sudut Bukaannya Terhadap Flowrate Pada Blower

Keterangan:

Diameter Penampang Keran (d) = 0,375 inch = 0,009525 m

Luas penampang keran =  $\frac{1}{4} \pi d^2 = 7,12E-05 \text{ m}^2$

Bukaan (Deg)	Keran 1 (m/s)	Keran 2 (m/s)	Keran 3 (m/s)	Keran 4 (m/s)	Keran 5 (m/s)	Keran 6 (m/s)	Keran 7 (m/s)	Keran 8 (m/s)	$\Sigma V$ (m/s)	Flowrate		Tekanan Manometer				Tekanan Udara	
										m <sup>3</sup> /s	lpm	Inch	m	Pa	atm	atm	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	2.4	1.2	0	0	0.5	0.9	1.3	1.4	7.7	0.0005	32.9035	0.5	0.0127	17.89	0.000177	1.00017654	
<b>50</b>	3.6	3.2	3.3	2.8	2.9	3.4	3.8	3.4	26.4	0.0019	<b>112.812</b>	1.2	0.0305	42.93	0.000424	1.000423695	
<b>60</b>	4.9	4.2	4.6	4.6	4.8	4.2	4.6	4.2	36.1	0.0026	<b>154.262</b>	1.8	0.0457	64.4	0.000636	1.000635543	
<b>70</b>	7.6	7.5	6.4	6.1	5.8	6.4	6.8	7.2	53.8	0.0038	<b>229.897</b>	2.4	0.061	85.86	0.000847	1.000847391	
<b>80</b>	9.8	9.4	8.8	7.2	7.8	8.2	8.1	9.4	68.7	0.0049	<b>293.567</b>	2.8	0.0711	100.2	0.000989	1.000988623	
<b>90</b>	11.8	11.2	10.6	9.8	9.6	10.2	10.8	11.6	85.6	0.0061	<b>365.784</b>	3.2	0.0813	114.5	0.00113	1.001129854	

## 7.2 Data Percobaan

- Batu Bara : 18 kg
- Arang : 3 kg
- Sabut kelapa dan minyak tanah: secukupnya

### 7.2.1 Percobaan Flowrate Udara ke Reaktor 112 lpm (valve 50<sup>0</sup>)

Waktu (menit)	Distribusi Temperatur Pada Reaktor (Celcius)			
	TC2	TC3	TC4	TC6
0	23	24	23	24
5	46	24	23	182
10	56	195	218	196
15	62	448	325	208
20	64	625	441	102
25	160	612	442	118
30	183	572	459	138
35	205	625	430	156
40	226	668	406	178
45	246	682	411	182
50	268	702	418	212
55	280	756	432	232
60	285	780	436	238
65	283	785	442	235
70	284	762	453	232
75	272	768	475	241
80	278	782	492	236
85	284	788	502	225
90	286	781	498	228
95	290	776	488	232
100	291	775	478	236
105	302	772	482	231
110	312	790	489	228
115	318	783	471	230
120	328	781	468	232
125	332	768	498	238
130	340	772	488	242
135	342	782	478	254
140	345	795	482	268
145	352	802	499	288
150	355	825	518	291
155	380	842	542	302

Keterangan:

Starting Up: 20 menit

Rentang Waktu Gasifikasi: 125 menit



7.2.2 Percobaan Flowrate Udara ke Reaktor 154 lpm (valve 60<sup>0</sup>)

Waktu (menit)	Distribusi Temperatur Pada Reaktor (Celcius)			
	TC2	TC3	TC4	TC6
0	23	24	23	24
5	46	194	23	182
10	56	225	218	196
15	62	480	325	208
20	64	652	441	102
25	160	632	462	118
30	183	580	484	138
35	205	638	492	156
40	226	692	482	178
45	246	708	475	182
50	268	742	476	212
55	280	789	477	232
60	285	772	480	238
65	283	760	489	235
70	284	768	477	232
75	272	770	462	241
80	278	774	458	236
85	284	782	462	225
90	286	798	492	228
95	290	788	502	232
100	291	774	505	236
105	302	789	508	231
110	312	802	483	228
115	318	789	492	230
120	328	815	499	235
125	341	842	498	248
130	352	864	525	263
135	372	872	562	285

Keterangan:

Starting Up: 20 menit

Rentang Waktu Gasifikasi: 105 menit

7.2.3 Percobaan Flowrate Udara ke Reaktor 229 lpm (valve 70<sup>0</sup>)

Waktu (menit)	Distribusi Temperatur Pada Reaktor (Celcius)			
	TC2	TC3	TC4	TC6
0	23	24	23	24
5	46	194	23	182
10	56	225	218	196
15	62	480	325	208
20	64	652	441	102
25	160	632	462	118
30	183	725	484	138
35	205	784	498	156
40	226	845	502	178
45	246	882	508	182
50	268	874	512	212
55	280	878	508	232
60	285	882	516	238
65	283	892	525	235
70	284	887	520	232
75	272	878	518	241
80	278	872	512	236
85	284	878	525	225
90	286	862	528	228
95	290	843	520	232
100	291	828	505	236
105	302	842	508	231
110	312	862	518	245
115	318	882	538	262
120	328	889	558	272
125	341	902	582	289

Keterangan:

Starting Up: 20 menit

Rentang Waktu Gasifikasi: 95 menit

7.2.4 Percobaan Flowrate Udara ke Reaktor 293 lpm (valve 80<sup>0</sup>)

Waktu (menit)	Distribusi Temperatur Pada Reaktor (Celcius)			
	TC2	TC3	TC4	TC6
0	23	24	23	24
5	46	194	82	182
10	56	225	218	196
15	82	480	325	208
20	112	652	441	102
25	160	632	462	118
30	183	745	502	138
35	425	850	544	156
40	442	882	572	178
45	462	902	588	182
50	458	942	702	212
55	445	968	712	232
60	442	982	737	238
65	451	978	758	235
70	453	982	748	232
75	460	978	743	241
80	424	972	746	236
85	443	968	762	225
90	458	952	778	228
95	461	972	780	232
100	472	988	784	236
105	492	1012	798	231
110	521	1024	820	245
115	540	1042	845	262

Keterangan:

Starting Up: 20 menit

Rentang Waktu Gasifikasi: 85 menit

### 7.2.5 Percobaan Flowrate Udara ke Reaktor 112 lpm (valve 50<sup>0</sup>)

Waktu (menit)	Distribusi Temperatur Pada Reaktor (Celcius)			
	TC2	TC3	TC4	TC6
0	23	<b>24</b>	23	24
5	46	<b>194</b>	88	182
10	56	<b>225</b>	225	196
15	82	<b>480</b>	345	208
20	112	<b>652</b>	441	102
25	160	<b>582</b>	462	118
30	183	<b>772</b>	484	138
35	425	<b>890</b>	518	156
40	442	<b>985</b>	682	178
45	462	<b>1012</b>	785	182
50	458	<b>1024</b>	820	312
55	445	<b>1065</b>	889	332
60	442	<b>1078</b>	894	348
65	451	<b>1085</b>	874	360
70	453	<b>1072</b>	868	365
75	478	<b>1085</b>	885	380
80	498	<b>1104</b>	892	402
85	523	<b>1113</b>	902	412

Keterangan:

Starting Up: 20 menit

Rentang Waktu Gasifikasi: 65 menit



LABORATORIUM REKAYASA PRODUK KIMIA DAN  
BAHAN ALAM (RPKA)  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA - DEPOK 16424  
Telp. : 021 - 7863514, Fax. : 021 - 7863515, e-mail : mnasikin@che.uiLeda

### HASIL ANALISIS

SAMPEL : GAS  
PENGIRIM : FIKI  
INSTANSI : DEPT. TEKNIK MESIN FTUI  
TANGGAL ANALISIS : 20 JULI 2008

NO	Komponen	%[V/V]
1	Hidrogen	15,40
2	Oksigen	1,90
3	Nitrogen	48,70
4	CO	18,50
5	CH <sub>4</sub>	2,50
6	CO <sub>2</sub>	13,00
	JUMLAH	100,00

Metode Analisis menggunakan GC/TCD kolom Active Carbon

DEPOK, 20 JUNI 2008  
Ka. LAB RPKA

  
PROF. Dr. M. NASIKIN, M.Eng

## 9.1 Perhitungan Kebutuhan Udara Gasifikasi

### 9.1.1 Kebutuhan Udara Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 112 lpm

Dari data percobaan pada bukan katup 50<sup>0</sup> didapatkan hasil sebagai berikut.

Laju Udara (Flowrate) Gasifikasi: 112 liter/menit

Waktu Gasifikasi: 125 menit

Untuk menghitung jumlah kebutuhan udara gasifikasi, didapatkan dengan persamaan gas ideal.

Diketahui kondisi percobaan berada pada tekanan udara 1 atm dan temperatur udara 25<sup>0</sup>C.

Maka:

$$P.V = n.R.T$$

$$n = \frac{P.V}{R.T} = \frac{1\text{atm} \cdot (112\text{liter} / \text{min}) \cdot (125 \text{ min}) \cdot (300\text{K})}{0,08205 \text{ liter.atm} / \text{mol.K}}$$

$$n = 572,88\text{mol}$$

### 9.1.2 Kebutuhan Udara Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 154 lpm

Dari data percobaan pada bukan katup 60<sup>0</sup> didapatkan hasil sebagai berikut.

Laju Udara (Flowrate) Gasifikasi: 154 liter/menit

Waktu Gasifikasi: 105 menit

$$P.V = n.R.T$$

$$n = \frac{P.V}{R.T} = \frac{1\text{atm} \cdot (154\text{liter} / \text{min}) \cdot (105 \text{ min}) \cdot (300\text{K})}{0,08205 \text{ liter.atm} / \text{mol.K}}$$

$$n = 658,03\text{mol}$$

### 9.1.3 Kebutuhan Udara Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 229 lpm

Dari data percobaan pada bukan katup 70<sup>0</sup> didapatkan hasil sebagai berikut.

Laju Udara (Flowrate) Gasifikasi: 229 liter/menit

Waktu Gasifikasi: 95 menit

$$P.V = n.R.T$$

$$n = \frac{P.V}{R.T} = \frac{1\text{atm} \cdot (229\text{liter} / \text{min}) \cdot (95 \text{ min}) \cdot (300\text{K})}{0,08205 \text{ liter} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$n = 887,27\text{mol}$$

#### 9.1.4 Kebutuhan Udara Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 293 lpm

Dari data percobaan pada bukan katup 80<sup>0</sup> didapatkan hasil sebagai berikut.

Laju Udara (Flowrate) Gasifikasi: 293 liter/menit

Waktu Gasifikasi: 85 menit

$$P.V = n.R.T$$

$$n = \frac{P.V}{R.T} = \frac{1\text{atm} \cdot (293\text{liter} / \text{min}) \cdot (85 \text{ min}) \cdot (300\text{K})}{0,08205 \text{ liter} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$n = 1013,74\text{mol}$$

#### 9.1.5 Kebutuhan Udara Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 365 lpm

Dari data percobaan pada bukan katup 90<sup>0</sup> didapatkan hasil sebagai berikut.

Laju Udara (Flowrate) Gasifikasi: 365 liter/menit

Waktu Gasifikasi: 65 menit

$$P.V = n.R.T$$

$$n = \frac{P.V}{R.T} = \frac{1\text{atm} \cdot (365\text{liter} / \text{min}) \cdot (65 \text{ min}) \cdot (300\text{K})}{0,08205 \text{ liter} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$n = 965,91\text{mol}$$

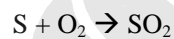
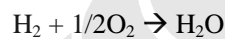
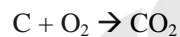
#### 9.2 Perhitungan Kebutuhan Udara Pembakaran Stoikiometrik

- Bahan bakar secara umum mengandung unsur Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S)
- Tabel Analisa Ultimate dan Proximate Batu Bara

Komponen	Prosentase
C	72.65%
H	4.71%
O	21.66%
N	0.74%
S	0.15%
Ash	2.33%

- Perhitungan Kebutuhan udara stoikiometri pembakaran:  
Percobaan menggunakan batu bara sejumlah 18 Kg (Basis).

Reaksi Pembakaran Zona Oksidasi:



a) Komponen C:

Prosentase = 72,65%

Massa (C) = 72,65% x 18000 gr = 13077 gr

Mol (C) = gr/Ar = 13077 gr/12 = 1089,75 mol

Kebutuhan Oksigen (O<sub>2</sub>) = 1089,75 mol. 1 = 1089,75 mol

b) Komponen H:

Prosentase = 4,71%

Massa (C) = 4,71% x 18000 gr = 847,8 gr

Mol (C) = gr/Ar = 847,8 gr/2 = 423,9 mol

Kebutuhan Oksigen (O<sub>2</sub>) = 423,9 mol. 1/2 = 211,95 mol

c) Komponen O:

Prosentase = 21,66%

Massa (C) = 21,66% x 18000 gr = 3898,8 gr

Mol (C) = gr/Ar = 3898,8 gr/32 = 121,84 mol

d) Komponen S:

Prosentase = 0,15%

Massa (C) = 0,15% x 18000 gr = 27 gr

Mol (C) = gr/Ar = 27 gr/32 = 0,84 mol

Kebutuhan Oksigen (O<sub>2</sub>) = 0,84 mol. 1 = 0,84 mol

Maka:

Kebutuhan Oksigen total = kebutuhan oksigen C + kebutuhan oksigen H<sub>2</sub> +  
kebutuhan oksigen S

= 1089,75 mol + 211,95 mol + 0,84 mol

= 1302,54 mol



Oksigen dari Bahan Bakar = 121,84 mol

Kebutuhan Oksigen dari udara = 1302,54 mol – 121,84 mol = 1180,71 mol

Kebutuhan udara pembakaran stoikiometrik = 1180,71 mol/ 21% = 5622,41 mol

### 9.3 Perhitungan Equivalence Ratio (ER)

Rasio ekivalen adalah perbandingan antara jumlah udara gasifikasi dengan jumlah

udara stoikiometri. Dihitung dengan menggunakan rumus:

$$ER = \frac{\text{Jumlah Udara Gasifikasi}}{\text{Jumlah Udara Stoikiometri}}$$

Telah diketahui jumlah kebutuhan udara pembakaran stoikiometri sebesar 5622,41 mol

Berikut adalah tabel perhitungan Equivalence Ratio (ER) untuk setiap 5 variabel percobaan:

Laju Aliran Udara ke Reaktor		Jumlah Udara Gasifikasi	ER
liter/min	m <sup>3</sup> /s	n (mol)	
112.81	0.0019	572.88	0.102
154.26	0.0026	658.03	0.117
229.90	0.0038	887.27	0.158
293.57	0.0049	1013.74	0.180
365.78	0.0061	965.91	0.172

#### 9.4 Perhitungan Nilai Kalori Gas Produser

Untuk menghitung nilai kalori gas produser menggunakan persamaan:

$$CV_G = \sum x_i H_i$$

Dimana:

$x_i$  = fraksi volume dari unsur produser gas pada temperatur ruang

$H_i$  = lower heating value dari unsur produser gas pada temperatur ruang

Berikut adalah tabel komposisi gas produser hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Universitas Indonesia:

Komposisi	%-mol	Hi (MJ/m <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub>	13%	—
CO	18.50%	11.5668
H <sub>2</sub>	15.40%	9.8846
CH <sub>4</sub>	2.50%	32.7938
O <sub>2</sub>	1.90%	—
N <sub>2</sub>	48.70%	—

Maka nilai kalori gas produser adalah:

$$\begin{aligned} CV_G &= \sum x_i H_i = x_{CO} H_{CO} + x_{H_2} H_{H_2} + x_{CH_4} H_{CH_4} \\ &= (18,5\% \times 11,5668 \text{ MJ} / \text{m}^3) + (15,4\% \times 9,8846 \text{ MJ} / \text{m}^3) + (2,5\% \times 32,7938 \text{ MJ} / \text{m}^3) \\ &= 4,482 \text{ MJ} / \text{m}^3 \\ &= 1070,491 \text{ kkal} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

#### 9.5 Perhitungan Jumlah Gas Produser Setiap Bukaannya Katup

Dalam menghitung jumlah gas produser digunakan persamaan kesetimbangan massa

N<sub>2</sub>, yaitu:

$$\Sigma N_2 \text{ Masuk Reaktor} = \Sigma N_2 \text{ Keluar Reaktor} = \Sigma N_2 \text{ Gas Produser}$$

$$\Sigma N_2 \text{ udara} + \Sigma N_2 \text{ batu bara} = \Sigma N_2 \text{ Gas Produser}$$

### 9.5.1 Perhitungan Jumlah Gas Produser Pada Laju Udara Gasifikasi 112 lpm

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari udara

Jumlah Udara masuk reaktor = Jumlah kebutuhan udara gasifikasi = 572,88 mol

Komposisi N<sub>2</sub> di udara = 79%, maka:

Jumlah N<sub>2</sub> dari udara adalah:

$$n = 79\% \times 572,88 \text{ mol} = 452,58 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari Batu Bara

Jumlah batu bara yang disuplai = 18 kg

Komposisi N dalam batu bara = 0,74%

Jumlah N<sub>2</sub> dari batu bara adalah:

% Massa N<sub>2</sub> Batu Bara = Ar N<sub>2</sub> x n N<sub>2</sub> Batu Bara

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 0,74\%}{(2 \times 14 \text{ gr/mol})} = 4,757 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Gas Produser

$$\begin{aligned} \Sigma N_2 \text{ Gas Produser} &= \Sigma N_2 \text{ udara} + \Sigma N_2 \text{ batu bara} = 452,58 \text{ mol} + 4,757 \text{ mol} \\ &= 457,33 \text{ mol} \end{aligned}$$

Mol N<sub>2</sub> Gas Produser = 457,33 mol

Diketahui %N<sub>2</sub> Gas Produser = 48,7%

Maka:

$$n_{GP} = \frac{457,33 \text{ mol}}{48,7\%} = 939,084 \text{ mol}$$

$$P.V = n.R.T \quad \text{Dimana, } P = 1 \text{ atm}$$

$$V = \frac{n.R.T}{P} \quad T = 300 \text{ K}$$

$$R = 0,08205$$

$$V_{GP} = \frac{939,084 \text{ mol} \times 0,08205 \frac{\text{l.atm}}{\text{mol.K}} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 22961,439 \text{ liter}$$

Pada bukaan katup 50<sup>0</sup>, rentang waktu gasifikasi berlangsung selama 125 menit.

Maka laju aliran gas produser yang dihasilkan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{22961,439 \text{ liter}}{125 \text{ menit}} = 183,692 \text{ liter/menit}$$

Jumlah Gas Produser Yang dihasilkan pada bukaan katup 50<sup>0</sup> adalah 183,692 lpm

- Menghitung Jumlah Komposisi Gas Produser

Berdasarkan tabel komposisi gas produser yang telah diuraikan pada butir 4.4, maka jumlah kandungan gas produser adalah sebagai berikut:

Jumlah CO<sub>2</sub> Gas Produser:

$$Q \text{ CO}_2 = \% \text{CO}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 13\% \times 183,692 \text{ lpm} = 23,88 \text{ lpm}$$

Jumlah CO Gas Produser:

$$Q \text{ CO} = \% \text{CO} \times Q \text{ Gas Produser} = 18,5\% \times 183,692 \text{ lpm} = 33,983 \text{ lpm}$$

Jumlah H<sub>2</sub> Gas Produser:

$$Q \text{ H}_2 = \% \text{H}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 15,4\% \times 183,692 \text{ lpm} = 32,449 \text{ lpm}$$

Jumlah CH<sub>4</sub> Gas Produser:

$$Q \text{ CH}_4 = \% \text{CH}_4 \times Q \text{ Gas Produser} = 2,5\% \times 183,692 \text{ lpm} = 4,592 \text{ lpm}$$

Jumlah O<sub>2</sub> Gas Produser:

$$Q \text{ O}_2 = \% \text{O}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 183,692 \text{ lpm} = 3,49 \text{ lpm}$$

Jumlah N<sub>2</sub> Gas Produser:

$$Q \text{ N}_2 = \% \text{N}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 183,692 \text{ lpm} = 3,49 \text{ lpm}$$

### 9.5.2 Jumlah Gas Produser Pada Laju Udara Gasifikasi 154 lpm

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari udara

Jumlah Udara masuk reaktor = Jumlah kebutuhan udara gasifikasi = 658,03mol

Komposisi N<sub>2</sub> di udara = 79%, maka:

Jumlah N<sub>2</sub> dari udara adalah:

$$n = 79\% \times 658,03 \text{ mol} = 519,85 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari Batu Bara

Jumlah batu bara yang disuplai = 18 kg

Komposisi N dalam batu bara = 0,74%

Jumlah N<sub>2</sub> dari batu bara adalah:

% Massa N<sub>2</sub> Batu Bara = Ar N<sub>2</sub> x n N<sub>2</sub> Batu Bara

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 0,74\%}{(2 \times 14 \text{ gr/mol})} = 4,757 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Gas Produser

$$\begin{aligned} \Sigma N_2 \text{ Gas Produser} &= \Sigma N_2 \text{ udara} + \Sigma N_2 \text{ batu bara} = 519,85 \text{ mol} + 4,757 \text{ mol} \\ &= 524,60 \text{ mol} \end{aligned}$$

Mol N<sub>2</sub> Gas Produser = 524,60 mol

Diketahui %N<sub>2</sub> Gas Produser = 48,7%

Maka:

$$n_{GP} = \frac{524,60 \text{ mol}}{48,7\%} = 1077,214 \text{ mol}$$

$$P.V = n.R.T$$

$$V = \frac{n.R.T}{P}$$

$$V_{GP} = \frac{1077,214 \text{ mol} \times 0,08205 \text{ l.atm/mol.K} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 26339 \text{ liter}$$

Dimana,  $P = 1 \text{ atm}$   
 $T = 300 \text{ K}$   
 $R = 0,08205$

Pada bukaan katup  $60^\circ$ , rentang waktu gasifikasi berlangsung selama 105 menit.

Maka laju aliran gas produser yang dihasilkan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{26339 \text{ liter}}{105 \text{ menit}} = 250,84 \text{ liter/menit}$$

Jumlah Gas Produser Yang dihasilkan pada bukaan katup  $60^\circ$  adalah 250,84 lpm

- Menghitung Jumlah Komposisi Gas Produser

Berdasarkan tabel komposisi gas produser yang telah diuraikan pada butir 4.4, maka jumlah kandungan gas produser adalah sebagai berikut:

Jumlah  $\text{CO}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ CO}_2 = \% \text{CO}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 13\% \times 250,84 \text{ lpm} = 32,61 \text{ lpm}$$

Jumlah CO Gas Produser:

$$Q \text{ CO} = \% \text{CO} \times Q \text{ Gas Produser} = 18,5\% \times 250,84 \text{ lpm} = 46,40 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{H}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ H}_2 = \% \text{H}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 15,4\% \times 250,84 \text{ lpm} = 38,63 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{CH}_4$  Gas Produser:

$$Q \text{ CH}_4 = \% \text{CH}_4 \times Q \text{ Gas Produser} = 2,5\% \times 250,84 \text{ lpm} = 6,27 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{O}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ O}_2 = \% \text{O}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 250,84 \text{ lpm} = 4,76 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{N}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ N}_2 = \% \text{N}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 250,84 \text{ lpm} = 4,76 \text{ lpm}$$

### 9.5.3 Jumlah Gas Produser Pada Laju Udara Gasifikasi 229lpm

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari udara

Jumlah Udara masuk reaktor = Jumlah kebutuhan udara gasifikasi = 887,27 mol

Komposisi N<sub>2</sub> di udara = 79%, maka:

Jumlah N<sub>2</sub> dari udara adalah:

$$n = 79\% \times 887,27 \text{ mol} = 700,95 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari Batu Bara

Jumlah batu bara yang disuplai = 18 kg

Komposisi N dalam batu bara = 0,74%

Jumlah N<sub>2</sub> dari batu bara adalah:

% Massa N<sub>2</sub> Batu Bara = Ar N<sub>2</sub> x n N<sub>2</sub> Batu Bara

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 0,74\%}{(2 \times 14 \text{ gr/mol})} = 4,757 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Gas Produser

$$\begin{aligned} \Sigma N_2 \text{ Gas Produser} &= \Sigma N_2 \text{ udara} + \Sigma N_2 \text{ batu bara} = 700,95 \text{ mol} + 4,757 \text{ mol} \\ &= 705,70 \text{ mol} \end{aligned}$$

Mol N<sub>2</sub> Gas Produser = 705,60 mol

Diketahui %N<sub>2</sub> Gas Produser = 48,7%

Maka:

$$n_{GP} = \frac{705,60 \text{ mol}}{48,7\%} = 1449 \text{ mol}$$

$$P.V = n.R.T \quad \text{Dimana, } P = 1 \text{ atm}$$

$$V = \frac{n.R.T}{P} \quad T = 300 \text{ K}$$

$$R = 0,08205$$

$$V_{GP} = \frac{1449 \text{ mol} \times 0,08205 \frac{\text{l} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 3543 \text{ liter}$$

Pada bukaan katup  $70^\circ$ , rentang waktu gasifikasi berlangsung selama 95 menit.

Maka laju aliran gas produser yang dihasilkan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{3543 \text{ liter}}{95 \text{ menit}} = 372,961 \text{ liter/menit}$$

Jumlah Gas Produser Yang dihasilkan pada bukaan katup  $70^\circ$  adalah 372,961 lpm

- Menghitung Jumlah Komposisi Gas Produser

Berdasarkan tabel komposisi gas produser yang telah diuraikan pada butir 4.4, maka jumlah kandungan gas produser adalah sebagai berikut:

Jumlah  $\text{CO}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ CO}_2 = \% \text{CO}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 13\% \times 372,961 \text{ lpm} = 48,485 \text{ lpm}$$

Jumlah CO Gas Produser:

$$Q \text{ CO} = \% \text{CO} \times Q \text{ Gas Produser} = 18,5\% \times 372,961 \text{ lpm} = 68,998 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{H}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ H}_2 = \% \text{H}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 15,4\% \times 372,961 \text{ lpm} = 57,436 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{CH}_4$  Gas Produser:

$$Q \text{ CH}_4 = \% \text{CH}_4 \times Q \text{ Gas Produser} = 2,5\% \times 372,961 \text{ lpm} = 9,324 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{O}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ O}_2 = \% \text{O}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 372,961 \text{ lpm} = 7,086 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{N}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ N}_2 = \% \text{N}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 372,961 \text{ lpm} = 181,632 \text{ lpm}$$

#### 9.5.4 Jumlah Gas Produser Pada Laju Udara Gasifikasi 293 lpm

- Menghitung Jumlah  $\text{N}_2$  dari udara



Jumlah Udara masuk reaktor = Jumlah kebutuhan udara gasifikasi = 1013,74 mol

Komposisi N<sub>2</sub> di udara = 79%, maka:

Jumlah N<sub>2</sub> dari udara adalah:

$$n = 79\% \times 1013,74 \text{ mol} = 800,85 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari Batu Bara

Jumlah batu bara yang disuplai = 18 kg

Komposisi N dalam batu bara = 0,74%

Jumlah N<sub>2</sub> dari batu bara adalah:

% Massa N<sub>2</sub> Batu Bara = Ar N<sub>2</sub> x n N<sub>2</sub> Batu Bara

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 0,74\%}{(2 \times 14 \text{ gr/mol})} = 4,757 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Gas Produser

$$\begin{aligned} \Sigma N_2 \text{ Gas Produser} &= \Sigma N_2 \text{ udara} + \Sigma N_2 \text{ batu bara} = 800,85 \text{ mol} + 4,757 \text{ mol} \\ &= 805,61 \text{ mol} \end{aligned}$$

Mol N<sub>2</sub> Gas Produser = 805,61 mol

Diketahui %N<sub>2</sub> Gas Produser = 48,7%

Maka:

$$n_{GP} = \frac{805,61 \text{ mol}}{48,7\%} = 1654,234 \text{ mol}$$

$$P.V = n.R.T \quad \text{Dimana, } P = 1 \text{ atm}$$

$$V = \frac{n.R.T}{P} \quad T = 300 \text{ K}$$

$$R = 0,08205$$

$$V_{GP} = \frac{1654,234 \text{ mol} \times 0,08205 \frac{\text{l.atm}}{\text{mol.K}} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 40448 \text{ liter}$$

Pada bukaan katup  $80^\circ$ , rentang waktu gasifikasi berlangsung selama 85 menit.

Maka laju aliran gas produser yang dihasilkan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{40448 \text{ liter}}{85 \text{ menit}} = 475,853 \text{ liter/menit}$$

Jumlah Gas Produser Yang dihasilkan pada bukaan katup  $80^\circ$  adalah 475,853 lpm

- Menghitung Jumlah Komposisi Gas Produser

Berdasarkan tabel komposisi gas produser yang telah diuraikan pada butir 4.4, maka jumlah kandungan gas produser adalah sebagai berikut:

Jumlah  $\text{CO}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ CO}_2 = \% \text{CO}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 13\% \times 475,853 \text{ lpm} = 61,861 \text{ lpm}$$

Jumlah CO Gas Produser:

$$Q \text{ CO} = \% \text{CO} \times Q \text{ Gas Produser} = 18,5\% \times 475,853 \text{ lpm} = 88,033 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{H}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ H}_2 = \% \text{H}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 15,4\% \times 475,853 \text{ lpm} = 73,281 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{CH}_4$  Gas Produser:

$$Q \text{ CH}_4 = \% \text{CH}_4 \times Q \text{ Gas Produser} = 2,5\% \times 475,853 \text{ lpm} = 11,896 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{O}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ O}_2 = \% \text{O}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 475,853 \text{ lpm} = 9,04 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{N}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ N}_2 = \% \text{N}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 475,853 \text{ lpm} = 231,740 \text{ lpm}$$

### 9.5.5 Jumlah Gas Produser Pada Laju Udara Gasifikasi 365 lpm

- Menghitung Jumlah  $\text{N}_2$  dari udara

Jumlah Udara masuk reaktor = Jumlah kebutuhan udara gasifikasi = 965,91 mol

Komposisi N<sub>2</sub> di udara = 79%, maka:

Jumlah N<sub>2</sub> dari udara adalah:

$$n = 79\% \times 965,91 \text{ mol} = 763,07 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah N<sub>2</sub> dari Batu Bara

Jumlah batu bara yang disuplai = 18 kg

Komposisi N dalam batu bara = 0,74%

Jumlah N<sub>2</sub> dari batu bara adalah:

% Massa N<sub>2</sub> Batu Bara = Ar N<sub>2</sub> x n N<sub>2</sub> Batu Bara

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 0,74\%}{(2 \times 14 \text{ gr/mol})} = 4,757 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Gas Produser

$$\begin{aligned} \Sigma N_2 \text{ Gas Produser} &= \Sigma N_2 \text{ udara} + \Sigma N_2 \text{ batu bara} = 763,07 \text{ mol} + 4,757 \text{ mol} \\ &= 767,83 \text{ mol} \end{aligned}$$

Mol N<sub>2</sub> Gas Produser = 767,83 mol

Diketahui %N<sub>2</sub> Gas Produser = 48,7%

Maka:

$$n_{GP} = \frac{767,83 \text{ mol}}{48,7\%} = 1576,650 \text{ mol}$$

$$P.V = n.R.T \quad \text{Dimana, } P = 1 \text{ atm}$$

$$V = \frac{n.R.T}{P} \quad T = 300 \text{ K}$$

$$R = 0,08205$$

$$V_{GP} = \frac{1576,650 \text{ mol} \times 0,08205 \frac{\text{l.atm}}{\text{mol.K}} \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 3855 \text{ liter}$$

Pada bukaan katup  $90^\circ$ , rentang waktu gasifikasi berlangsung selama 65 menit.

Maka laju aliran gas produser yang dihasilkan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{3855 \text{ liter}}{65 \text{ menit}} = 59,3085 \text{ liter/menit}$$

Jumlah Gas Produser Yang dihasilkan pada bukaan katup  $90^\circ$  adalah 593,085 lpm

- Menghitung Jumlah Komposisi Gas Produser

Berdasarkan tabel komposisi gas produser yang telah diuraikan pada butir 4.4, maka jumlah kandungan gas produser adalah sebagai berikut:

Jumlah  $\text{CO}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ CO}_2 = \% \text{CO}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 13\% \times 593,085 \text{ lpm} = 77,10 \text{ lpm}$$

Jumlah CO Gas Produser:

$$Q \text{ CO} = \% \text{CO} \times Q \text{ Gas Produser} = 18,5\% \times 593,085 \text{ lpm} = 109,721 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{H}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ H}_2 = \% \text{H}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 15,4\% \times 593,085 \text{ lpm} = 91,335 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{CH}_4$  Gas Produser:

$$Q \text{ CH}_4 = \% \text{CH}_4 \times Q \text{ Gas Produser} = 2,5\% \times 593,085 \text{ lpm} = 14,827 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{O}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ O}_2 = \% \text{O}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 593,085 \text{ lpm} = 11,269 \text{ lpm}$$

Jumlah  $\text{N}_2$  Gas Produser:

$$Q \text{ N}_2 = \% \text{N}_2 \times Q \text{ Gas Produser} = 1,9\% \times 593,085 \text{ lpm} = 11,269 \text{ lpm}$$

## 9.6 Perhitungan Konversi Karbon

Dalam menghitung jumlah gas produser digunakan persamaan kesetimbangan massa karbon, yaitu:

$$\Sigma C \text{ Masuk Reaktor} = \Sigma C \text{ Keluar Reaktor}$$

$$\Sigma C \text{ batu bara} + \Sigma C \text{ arang} = \Sigma C \text{ Gas Produser} + \Sigma C \text{ Abu} + \Sigma C \text{ Hilang}$$

Dan untuk menghitung konversi karbon (X) digunakan rumus:

$$X = \frac{\sum \text{Karbon Terkonversi}}{\sum \text{Karbon Bahan Bakar}}$$

### 9.6.1 Konversi Karbon Pada Laju Udara Gasifikasi 112 lpm

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Batu Bara

Diketahui:

Massa batu bara = 18 kg

Ar C = 12

xC = 72,65%

Maka, mol C pada batu bara:

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 72,65\%}{12 \text{ gr / mol}} = 1089,75 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Arang

Diketahui:

Massa batu bara = 3 kg

Ar C = 12

xC = 92%

Maka, mol C pada arang:

$$n = \frac{(3 \times 1000 \text{ gr}) \times 92\%}{12 \text{ gr / mol}} = 230,10 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Gas Produser

$\Sigma \text{mol C pada gas produser} = \Sigma \text{mol C pada CO} + \Sigma \text{mol C pada CH}_4 + \Sigma \text{mol C pada CO}_2$

$$= 173,73 \text{ mol} + 23,477 \text{ mol} + 122,08 \text{ mol}$$

$$= 319,288 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Abu

Diketahui:

Ar C = 12

% abu = 2,33%

Massa abu = 2,33% x 18 kg = 0,42 kg

Maka, mol C pada abu:

$$n = \frac{(0,42 \times 1000 \text{ gr})}{12 \text{ gr / mol}} = 0,814 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Yang Hilang

$$\begin{aligned} \Sigma C \text{ Hilang} &= (\Sigma C \text{ batu bara} + \Sigma C \text{ arang}) - (\Sigma C \text{ Gas Produser} + \Sigma C \text{ Abu}) \\ &= (1089,75 + 230,10) \text{ mol} - (319,288 + 0,814) \text{ mol} \\ &= 999,75 \text{ mol} \end{aligned}$$

- Menghitung Konversi Karbon

$\Sigma$ Karbon Terkonversi =  $\Sigma$ Karbon Gas Produser = 319,288 mol

$\Sigma$ Karbon Bahan Bakar =  $\Sigma$ Karbon Batu Bara +  $\Sigma$ Karbon Arang = 1319,85 mol

Maka:

$$X = \frac{\Sigma \text{Karbon Terkonversi}}{\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar}} = \frac{319,288 \text{ mol}}{1319,85 \text{ mol}} = 0,242$$

### 9.6.2 Konversi Karbon Pada Laju Udara Gasifikasi 154 lpm

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Batu Bara

Diketahui:

Massa batu bara = 18 kg

Ar C = 12

x<sub>C</sub> = 72,65%

Maka, mol C pada batu bara:

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 72,65\%}{12 \text{ gr / mol}} = 1089,75 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Arang

Diketahui:

Massa batu bara = 3 kg

Ar C = 12

x<sub>C</sub> = 92%

Maka, mol C pada arang:

$$n = \frac{(3 \times 1000 \text{ gr}) \times 92\%}{12 \text{ gr / mol}} = 230,10 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Gas Produser

$\Sigma \text{mol C pada gas produser} = \Sigma \text{mol C pada CO} + \Sigma \text{mol C pada CH}_4 + \Sigma \text{mol C pada CO}_2$

$$= 199,285 \text{ mol} + 26,93 \text{ mol} + 140,04 \text{ mol}$$

$$= 366,253 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Abu

Diketahui:

Ar C = 12

% abu = 2,33%

Massa abu = 2,33% x 18 kg = 0,42 kg

Maka, mol C pada abu:

$$n = \frac{(0,42 \times 1000 \text{ gr})}{12 \text{ gr / mol}} = 0,814 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Yang Hilang

$\Sigma \text{C Hilang} = (\Sigma \text{C batu bara} + \Sigma \text{C arang}) - (\Sigma \text{C Gas Produser} + \Sigma \text{C Abu})$

$$\begin{aligned}
 &= (1089,75 + 230,10)\text{mol} - (366,253 + 0,814)\text{mol} \\
 &= 952,78 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Konversi Karbon

$$\Sigma \text{Karbon Terkonversi} = \Sigma \text{Karbon Gas Produser} = 366,253 \text{ mol}$$

$$\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar} = \Sigma \text{Karbon Batu Bara} + \Sigma \text{Karbon Arang} = 1319,85 \text{ mol}$$

Maka:

$$X = \frac{\Sigma \text{Karbon Terkonversi}}{\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar}} = \frac{366,253\text{mol}}{1319,85\text{mol}} = 0,277$$

### 9.6.3 Konversi Karbon Pada Laju Udara Gasifikasi 229 lpm

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Batu Bara

Diketahui:

$$\text{Massa batu bara} = 18 \text{ kg}$$

$$\text{Ar C} = 12$$

$$x\text{C} = 72,65\%$$

Maka, mol C pada batu bara:

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 72,65\%}{12 \text{ gr/mol}} = 1089,75 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Arang

Diketahui:

$$\text{Massa batu bara} = 3 \text{ kg}$$

$$\text{Ar C} = 12$$

$$x\text{C} = 92\%$$

Maka, mol C pada arang:

$$n = \frac{(3 \times 1000 \text{ gr}) \times 92\%}{12 \text{ gr/mol}} = 230,10 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Gas Produser

$$\Sigma \text{mol C pada gas produser} = \Sigma \text{mol C pada CO} + \Sigma \text{mol C pada CH}_4 + \Sigma \text{mol C pada CO}_2$$

$$= 268,08 + 36,227 \text{ mol} + 188,38 \text{ mol}$$

$$= 492,687 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Abu



Diketahui:

Ar C = 12

% abu = 2,33%

Massa abu = 2,33% x 18 kg = 0,42 kg

Maka, mol C pada abu:

$$n = \frac{(0,42 \times 1000 \text{ gr})}{12 \text{ gr / mol}} = 0,814 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Yang Hilang

$$\begin{aligned} \Sigma C \text{ Hilang} &= (\Sigma C \text{ batu bara} + \Sigma C \text{ arang}) - (\Sigma C \text{ Gas Produser} + \Sigma C \text{ Abu}) \\ &= (1089,75 + 230,10) \text{ mol} - (492,687 + 0,814) \text{ mol} \\ &= 826,35 \text{ mol} \end{aligned}$$

- Menghitung Konversi Karbon

$$\Sigma \text{Karbon Terkonversi} = \Sigma \text{Karbon Gas Produser} = 492,687 \text{ mol}$$

$$\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar} = \Sigma \text{Karbon Batu Bara} + \Sigma \text{Karbon Arang} = 1319,85 \text{ mol}$$

Maka:

$$X = \frac{\sum \text{Karbon Terkonversi}}{\sum \text{Karbon Bahan Bakar}} = \frac{492,687 \text{ mol}}{1319,85 \text{ mol}} = 0,373$$

#### 9.6.4 Konversi Karbon Pada Laju Udara Gasifikasi 293 lpm

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Batu Bara

Diketahui:

Massa batu bara = 18 kg

Ar C = 12

x<sub>C</sub> = 72,65%

Maka, mol C pada batu bara:

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 72,65\%}{12 \text{ gr / mol}} = 1089,75 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Arang

Diketahui:

Massa batu bara = 3 kg

Ar C = 12

x<sub>C</sub> = 92%

Maka, mol C pada arang:

$$n = \frac{(3 \times 1000 \text{ gr}) \times 92\%}{12 \text{ gr/mol}} = 230,10 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Gas Produser

$\Sigma \text{mol C pada gas produser} = \Sigma \text{mol C pada CO} + \Sigma \text{mol C pada CH}_4 + \Sigma \text{mol C pada CO}_2$

$$= 306,033 + 41,356 \text{ mol} + 215,05 \text{ mol}$$

$$= 562,440 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Abu

Diketahui:

Ar C = 12

% abu = 2,33%

Massa abu = 2,33% x 18 kg = 0,42 kg

Maka, mol C pada abu:

$$n = \frac{(0,42 \times 1000 \text{ gr})}{12 \text{ gr/mol}} = 0,814 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Yang Hilang

$\Sigma \text{C Hilang} = (\Sigma \text{C batu bara} + \Sigma \text{C arang}) - (\Sigma \text{C Gas Produser} + \Sigma \text{C Abu})$

$$= (1089,75 + 230,10) \text{ mol} - (562,440 + 0,814) \text{ mol}$$

$$= 756,60 \text{ mol}$$

- Menghitung Konversi Karbon

$\Sigma \text{Karbon Terkonversi} = \Sigma \text{Karbon Gas Produser} = 562,440 \text{ mol}$

$\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar} = \Sigma \text{Karbon Batu Bara} + \Sigma \text{Karbon Arang} = 1319,85 \text{ mol}$

Maka:

$$X = \frac{\Sigma \text{Karbon Terkonversi}}{\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar}} = \frac{562,440 \text{ mol}}{1319,85 \text{ mol}} = 0,426$$

### 9.6.5 Konversi Karbon Pada Laju Udara Gasifikasi 365 lpm

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Batu Bara

Diketahui:

Massa batu bara = 18 kg

Ar C = 12

x<sub>C</sub> = 72,65%

Maka, mol C pada batu bara:

$$n = \frac{(18 \times 1000 \text{ gr}) \times 72,65\%}{12 \text{ gr/mol}} = 1089,75 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Arang

Diketahui:

Massa batu bara = 3 kg

Ar C = 12

x<sub>C</sub> = 92%

Maka, mol C pada arang:

$$n = \frac{(3 \times 1000 \text{ gr}) \times 92\%}{12 \text{ gr/mol}} = 230,10 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Gas Produser

$\Sigma \text{mol C pada gas produser} = \Sigma \text{mol C pada CO} + \Sigma \text{mol C pada CH}_4 + \Sigma \text{mol C pada CO}_2$

$$= 291,680 + 39,416 \text{ mol} + 204,96 \text{ mol}$$

$$= 536,061 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Pada Abu

Diketahui:

Ar C = 12

% abu = 2,33%

Massa abu = 2,33% x 18 kg = 0,42 kg

Maka, mol C pada abu:

$$n = \frac{(0,42 \times 1000 \text{ gr})}{12 \text{ gr/mol}} = 0,814 \text{ mol}$$

- Menghitung Jumlah Karbon Yang Hilang

$\Sigma \text{C Hilang} = (\Sigma \text{C batu bara} + \Sigma \text{C arang}) - (\Sigma \text{C Gas Produser} + \Sigma \text{C Abu})$

$$\begin{aligned}
 &= (1089,75 + 230,10)\text{mol} - (536,061 + 0,814)\text{mol} \\
 &= 782,97 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Konversi Karbon

$$\Sigma \text{Karbon Terkonversi} = \Sigma \text{Karbon Gas Produser} = 536,061 \text{ mol}$$

$$\Sigma \text{Karbon Bahan Bakar} = \Sigma \text{Karbon Batu Bara} + \Sigma \text{Karbon Arang} = 1319,85 \text{ mol}$$

Maka:

$$X = \frac{\sum \text{Karbon Terkonversi}}{\sum \text{Karbon Bahan Bakar}} = \frac{536,061 \text{ mol}}{1319,85 \text{ mol}} = 0,406$$

### 9.7 Perhitungan Specific Gasification Rate (SGR)

Perhitungan Specific Gasification Rate digunakan persamaan:

$$SGR = \left[ \frac{\text{Laju.Pemakaian.BahanBakar}}{\text{Luas.Penampang.Reaktor}} \right]$$

Diketahui:

$$\text{Diameter Penampang Reaktor (d)} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Luas Penampang Reaktor} = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (0,15\text{m})^2 = 0,018 \text{ m}^2$$

- **Menghitung Specific Gasification Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 112 lpm**

$$\dot{m}_{\text{bahan.bakar}} = \frac{18\text{kg}}{125\text{menit}} = 0,144 \text{ kg}/\text{menit}$$

$$SGR = \frac{0,144 \text{ kg}/\text{menit}}{0,018\text{m}^2} = 489,17 \text{ kg}/\text{h.m}^2$$

- **Menghitung Specific Gasification Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 154 lpm**

$$\dot{m}_{\text{bahan.bakar}} = \frac{18\text{kg}}{105\text{menit}} = 0,171 \text{ kg}/\text{menit}$$

$$SGR = \frac{0,171 \text{ kg}/\text{menit}}{0,018\text{m}^2} = 582,35 \text{ kg}/\text{h.m}^2$$

- Menghitung Specific Gasification Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 229 lpm

$$m_{\text{bahan.bakar}} = \frac{18\text{kg}}{95\text{menit}} = 0,189 \text{ kg/menit}$$

$$SGR = \frac{0,0189 \text{ kg/menit}}{0,018 \text{ m}^2} = 643,65 \text{ kg/h.m}^2$$

- Menghitung Specific Gasification Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 293 lpm

$$m_{\text{bahan.bakar}} = \frac{18\text{kg}}{85\text{menit}} = 0,212 \text{ kg/menit}$$

$$SGR = \frac{0,212 \text{ kg/menit}}{0,018 \text{ m}^2} = 719,37 \text{ kg/h.m}^2$$

- Menghitung Specific Gasification Pada Laju Udara Gasifikasi 365 lpm

$$m_{\text{bahan.bakar}} = \frac{18\text{kg}}{65\text{menit}} = 0,277 \text{ kg/menit}$$

$$SGR = \frac{0,277 \text{ kg/menit}}{0,018 \text{ m}^2} = 940,72 \text{ kg/h.m}^2$$

### 9.8 Perhitungan Specific Gas Production Rate (SGPR)

Perhitungan Specific Gasification Rate digunakan persamaan:

$$SGPR = \left[ \frac{\text{FlowRate.Producer.Gas} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right)}{\text{Luas.Melintang.Reaktor} (\text{m}^2)} \right]$$

- Menghitung Specific Gas Production Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 112 lpm

Laju aliran gas produser = 183,692 lpm

$$SGPR = \frac{183,692 \text{ lpm}}{0,018 \text{ m}^2} = 624,01 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$$

- Menghitung Specific Gas Production Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 154 lpm

Laju aliran gas produser = 250,846 lpm

$$SGPR = \frac{250,846 \text{ lpm}}{0,018 \text{ m}^2} = 852,13 \text{ m}^3 / \text{h.m}^2$$

- **Menghitung Specific Gas Production Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 229lpm**

Laju aliran gas produser = 372,961 lpm

$$SGPR = \frac{372,961 \text{ lpm}}{0,018 \text{ m}^2} = 1266,96 \text{ m}^3 / \text{h.m}^2$$

- **Menghitung Specific Gas Production Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 293 lpm**

Laju aliran gas produser = 475,853 lpm

$$SGPR = \frac{475,853 \text{ lpm}}{0,018 \text{ m}^2} = 1616,49 \text{ m}^3 / \text{h.m}^2$$

- **Menghitung Specific Gas Production Rate Pada Laju Udara Gasifikasi 365 lpm**

Laju aliran gas produser = 593,085 lpm

$$SGPR = \frac{593,085 \text{ lpm}}{0,018 \text{ m}^2} = 2014,73 \text{ m}^3 / \text{h.m}^2$$

## 9.9 Perhitungan Efisiensi Gasifikasi

Perhitungan efisiensi gasifikasi digunakan persamaan:

$$\eta = \left[ \frac{(\text{Flowrate.Gas Pr oduser}) \times (\text{LHVGas Pr oduser})}{(\text{Konsumsi.Bahan.Bakar}) \times (\text{LHV.Bahan.Bakar})} \right]$$

Diketahui:

LHV Gas Produser = 1070,491 kkal/m<sup>3</sup>

LHV Bahan Bakar = 5669 kkal/kg

- **Menghitung Efisiensi Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 112 lpm**

Laju aliran gas produser = 183,692 lpm

Laju Konsumsi Batu Bara = 2,4 gr/detik

$$\eta = \frac{(183,692 \text{ lpm}) \times (1070,491 \text{ kkal/m}^3)}{2,4 \text{ gr/s}} = 24,09\%$$

- **Menghitung Efisiensi Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 154 lpm**

Laju aliran gas produser = 250,846 lpm

Laju Konsumsi Batu Bara = 2,86 gr/detik

$$\eta = \frac{(250,846 \text{ lpm}) \times (1070,491 \text{ kkal/m}^3)}{2,86 \text{ gr/s}} = 27,63\%$$

- **Menghitung Efisiensi Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 229 lpm**

Laju aliran gas produser = 372,961 lpm

Laju Konsumsi Batu Bara = 3,16 gr/detik

$$\eta = \frac{(372,961 \text{ lpm}) \times (1070,491 \text{ kkal/m}^3)}{3,16 \text{ gr/s}} = 37,17\%$$

- **Menghitung Efisiensi Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 293 lpm**

Laju aliran gas produser = 475,853 lpm

Laju Konsumsi Batu Bara = 3,53 gr/detik

$$\eta = \frac{(475,853 \text{ lpm}) \times (1070,491 \text{ kkal/m}^3)}{3,53 \text{ gr/s}} = 42,43\%$$

- **Menghitung Efisiensi Gasifikasi Pada Laju Udara Gasifikasi 365 lpm**

Laju aliran gas produser = 593,085 lpm

Laju Konsumsi Batu Bara = 4,62 gr/detik

$$\eta = \frac{(593,085 \text{ lpm}) \times (1070,491 \text{ kkal/m}^3)}{4,62 \text{ gr/s}} = 40,44\%$$

