

VOT 75121

**KAJIAN CIRI-CIRI PEMBAKARAN BIOJISIM DI DALAM
PEMBAKAR LAPISAN TERBENDALIR**

**(COMBUSTION CHARACTERISTICS STUDY OF BIOMASS IN A
FLUIDIZED BED COMBUSTOR)**

**HAYATI BINTI ABDULLAH
MOHAMMAD NAZRI BIN MOHD. JAAFAR
FARID NASIR BIN ANI**

RESEARCH VOTE NO:

75121

**Jabatan Termo-Bendalir
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia**

2007

ABSTRAK

Laporan ini meringkaskan kerja-kerja yang dilaksanakan bagi memperolehi hasil penyelidikan yang dijalankan bagi mengkaji ciri-ciri pembakaran biojisim di dalam sistem pembakaran lapisan terbendalir. Kajian yang dijalankan adalah dengan menggunakan kaedah udara berperingkat bagi mengawal dan mengurangkan pancaran dari pembakaran biojisim. Pancaran yang dimaksudkan termasuklah nitrogen oksida, NO_x dan karbon monoksida, CO. Teknologi pembakar lapisan terbendalir telah dikenalpasti dapat menjanakan tenaga daripada bahan buangan pepejal (biojisim) dan merupakan sistem pembakaran yang sesuai untuk biojisim. Objektif penyelidikan ini ialah untuk mengkaji kesan kaedah udara berperingkat ke atas ciri-ciri pembakaran termasuklah pancaran dari sebuah pembakar lapisan terbendalir yang menggunakan bahan buangan biojisim sebagai bahan bakar. Bahan buangan biojisim yang digunakan adalah tempurung kelapa sawit. Laporan ini menerangkan hasil penyelidikan dan kaedah yang digunakan. Kaedah udara berperingkat dicapai dengan membahagi jumlah bekalan udara pembakaran kepada udara utama yang memasuki kebuk pembakar dan bakinya digunakan sebagai udara sekunder yang disuntik kedalam lambung bebas. Kajian dijalankan berdasarkan nisbah udara sekunder kepada jumlah bekalan udara dimana peningkatannya di antara julat 0 ke 0.4 dengan mengambilkira peratus udara lebihan. Hasil penyelidikan yang dijalankan menunjukkan bahawa penggunaan kaedah udara berperingkat ini telah mempengaruhi taburan suhu dan kecekapan pembakaran. Kaedah ini juga dapat mengurangkan pancaran NO_x berbanding dengan kaedah tanpa udara berperingkat. Pancaran CO pula didapati lebih dipengaruhi oleh udara lebihan. Ini merupakan sesuatu pencapaian yang sangat diharapkan demi kepentingan alam sekitar dan masa depan industri kelapa sawit tempatan.

ABSTRACT

This report summarizes the research work carried out in studying the combustion characteristics of biomass in a fluidized bed combustor. The study was carried out using the air staging technique to control and reduce the emissions from the combustion of biomass. The gaseous emissions studied include nitrogen oxide, NO_x and carbon monoxide, CO. Fluidized bed combustion has been recognized as a technology that can generate power from solid wastes and more importantly it has been known as a suitable combustion system for biomass. The objective of this research is to study the effect of using the air-staging technique on the combustion characteristics including the effect on the gaseous emissions from a fluidized bed combustor firing biomass waste as a source of fuel. In this research work, palm shell is used as the source of fuel. This report describes the results obtained and the methodology adopted. Air staging is achieved by dividing the total combustion air supply into the in-bed primary air and the secondary air. The secondary air is injected into the freeboard. The study was carried out based on the ratio of the secondary air to the total combustion air which was varied from 0 to 0.4 and by taking into consideration the percentage of excess air. The outcome of this research work has shown that air staging affects the temperature distributions as well as the combustion efficiency. It also indicates that significant reductions in NO_x emissions were obtained for the staged operation when compared to the un-staged operation. The CO emission was mostly affected by the percentage of excess air. This significant reduction is a clear indication of the prospect of using this technology for sustainable management of the environment and a better future for our palm oil industry.

ISI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKASURAT
	ABSTRAK	i
	ABSTRACT	ii
	ISI KANDUNGAN	iii
	SENARAI RAJAH	vi
	SENARAI JADUAL	viii
	SENARAI TATANAMA/SIMBOL	ix
	SENARAI LAMPIRAN	xii
BAB 1	Pengenalan	
	1.1 Latarbelakang	1
	1.2 Objektif	3
	1.3 Skop	3
BAB 2	Kajian Literatur	
	2.1 Pembakaran	4
	2.1.1 Nisbah Bahanapi/udara, F/A	4
	2.1.2 Nisbah Setara, ϕ	5
	2.2 Entalpi Pembakaran	6
	2.3 Analisis Sistem Pertama bagi Tindakbalas	
	2.3.1 Sistem Aliran Mantap	9
	2.4 Emisi	11
	2.4.1 Oksida Nitrogen	12
	2.4.2 Oksida Sulfur	13
	2.4.3 Tindakbalas Karbon	13
	2.5 Akta Kawalan	14

2.6 Kaedah Pengurangan Emisi	16
2.6.1 Kaedah Pembakaran Berperingkat	17
2.6.2 Kesan Udara Berperingkat ke atas Emisi NO _x	17
2.6.3 Pengaruh Udara Berperingkat ke atas Emisi CO	19
2.7 Pembakaran Lapisan Terbendalir	
2.7.1 Pengenalan	20
2.7.2 Penggunaan kaedah pembakaran lapisan terbendalir di sektor industri	21
2.7.3 Penggunaan pada dandang	21
2.8 Konsep Pembakaran Lapisan Terbendalir	23
2.9 Pengoperasian Pembakaran Lapisan Terbendalir	24
2.10 Ciri-Ciri Pembakaran	26
2.10.1 Taburan Suhu	26
2.10.2 Parameter operasi yang mempengaruhi CO	27
2.10.3 Parameter operasi yang mempengaruhi NO _x	29
2.10.3.1 Udara Lebihan	30
2.10.3.2 Komposisi Bahanapi	31
2.10.3.3 Suhu Udara Pra-Pemanasan	31
2.10.3.4 Suhu Relau	32
2.11 Kecekapan Pembakaran	33
2.11.1 Tahap Udara Lebihan	33
2.11.2 Suhu Lapisan	34
2.11.3 Halaju Perbendaliran	34
2.11.4 Masa Mastautin	34
2.12 Kelebihan Dan Kekurangan Lapisan Terbendalir	35

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Pengenalan	37
3.2 Reaktor Pembakaran	37
3.3 Sistem Pengagihan Udara (tuyere)	39
3.4 Bahan Lapisan	40
3.5 Sistem Suapan Bahan Bakar	43

3.6 Unit Lambung Bebas	44
3.7 Siklon Dan Pengumpul Bahan Bakar	45
3.8 Sistem Pemberian Udara Utama Dan Berperingkat	46
3.9 Bahan Bakar	47
3.10 Metodologi kajian	
3.10.1 Pengenalan	49
3.10.2 Proses pengeringan tempurung kelapa sawit	50
3.10.3 Proses penggredan tempurung kelapa sawit	50
3.11 Persediaan melakukan kajian	51
3.12 Pengiraan Data Bahanapi Untuk Digunakan Oleh	51
3.12.1 Pengiraan Kecekapan Pembakaran	53
3.12.2 Analisa Bahanapi Tempurung Kelapa Sawit	55
3.12.3 Kadar Aliran Udara	56
3.12.4 Rig Ujikaji	58
3.12.5 Prosedur Ujikaji	58
BAB 4	DATA DAN PERBINCANGAN
4.1 Kesan Udara Berperingkat Keatas Taburan Suhu	61
4.2 Kesan Udara Berperingkat Keatas Pancaran/Emisi CO	63
4.3 Kesan Udara Berperingkat Keatas Pancaran/Emisi NO _x	64
4.4 Kesan Udara Berperingkat Keatas Kecekapan Pembakaran	66
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Cadangan	68
5.2.1 Memastikan Suhu Lapisan Tetap	68
5.2.2 Meningkatkan kecekapan Pembakaran	68
RUJUKAN	69
LAMPIRAN	71

SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	MUKASURAT
Jadual 2.1	Perbandingan Nisbah Setara	6
Jadual 2.2	Had Kepekatan Emisi Dibenarkan bagi Industri di Malaysia	15
Jadual 3.1	Analisa 'proximate' (anggaran) bagi tempurung kelapa sawit	49
Jadual 3.2	Analisa 'Ultimate' dan nilai kalori tentu tempurung kelapa sawit	49
Jadual 3.3	Proses pembakaran dan persamaan	55
Jadual 3.4	Aliran udara untuk 0%, 40% dan 60% udara lebihan di tahap udara berperingkat yang berlainan.	57

SENARAI LAMPIRAN**LAMPIRAN****TAJUK**

Lampiran 1	Kaedah pendinginan penempatan berkelompok (shell housing)
Lampiran 2	Kaedah pendinginan gegelung (cooling coils)
Lampiran 3	Kertas kerja dan sijil penyertaan persidangan/seminar/pameran
	i. 14 th International symposium on transport phenomena, Bali, Indonesia, 6-9th July, 2003
	ii. IPTA Research & development exposition 2003, PWTC, Kuala Lumpur, 9-12 October 2003
	iii. 5 th Asia Pacific Conference on sustainable energy and environmental technologies, Wellington, New Zealand, 9-11 May 2005

SENARAI RAJAH

RAJAH	TAJUK	MUKASURAT
Rajah 2.1	Hubungan Emisi dengan Nisbah Kesetaraan	5
Rajah 2.2	Rajah Skematik Udara Berperingkat pada Kebuk Pembakaran	17
Rajah 2.3	Kesan Terhadap Suhu Ruang Pembakaran dan Udara Berperingkat Terhadap Emisi NO _x	18
Rajah 2.4	Kesan Udara Berperingkat ke atas Emisi NO _x	19
Rajah 2.5	Kesan Nisbah Udara Pembakaran terhadap Emisi CO	20
Rajah 2.6	Dandang Jenis A- Peredaran Air	22
Rajah 2.7	Rajah Skematik Pengering Berputar dengan Relau Pembakaran Lapisan Terbendalir	22
Rajah 2.8	Rajah Skematik Reaktor Pembakaran Lapisan Terbendalir	25
Rajah 2.9	Profil suhu bagi pembakaran arang batu dan sisa pepejal kelapa sawit	26
Rajah 2.10	Kesan suhu lapisan ke atas emisi CO	28
Rajah 2.11	Kesan suhu lambung bebas ke atas emisi CO	28
Rajah 2.12	Emisi CO bagi peratus lebihan udara 10, 25 dan 50 untuk beberapa suhu lapisan	29
Rajah 2.13	NO _x melawan lebihan O ₂	30
Rajah 2.14	NO _x melawan suhu udara pembakaran	32
Rajah 2.15	NO _x melawan suhu relau	33
Rajah 2.16	Rajah Skematik Pembakaran Lapisan Terbendalir	36
Rajah 3.1	Skematik Reaktor Pembakaran	39
Rajah 3.2	Alat Pengagihan udara	40
Rajah 3.3	Klasifikasi Partikel Geldart pada Keadaan Ambient	41
Rajah 3.4	Skematik Alat Suapan Bahan bakar	43

Rajah 3.5	Skematik Siklon dan Pengumpul Habuk	35
Rajah 3.6	Skematik Alat Penghantaran Udara Tambahan	47
Rajah 3.7a	Tempurung kelapa sawit sebelum dikisar	48
Rajah 3.7b	Tempurung kelapa sawit selepas dikisar	48
Rajah 3.8a	Skematik Rig Ujikaji	59
Rajah 3.8b	Gambar Rig Ujikaji	60
Rajah 4.1	Kesan nisbah SA ke atas taburan suhu paksi pada 0% udara lebihan	61
Rajah 4.2	Kesan nisbah SA ke atas taburan suhu paksi pada 40% udara lebihan	62
Rajah 4.3	Kesan nisbah SA ke atas taburan suhu paksi pada 60% udara lebihan	62
Rajah 4.4	Kesan nisbah SA ke atas emisi CO pada 40% dan 60% udara lebihan	63
Rajah 4.5	Kesan nisbah SA ke atas emisi NO _x pada 0% udara lebihan	64
Rajah 4.6	Kesan nisbah SA ke atas emisi NO _x pada 40% dan 60% udara lebihan	65
Rajah 4.7	Kesan nisbah SA ke atas kecekapan pembakaran	66

SENARAI TATANAMA/SIMBOL

A/F	nisbah udara-bahanapi
C	karbon
CO	karbon monoksida
CO ₂	karbon dioksida
CO _{2max}	nilai maksimum teoretikal CO ₂
C _{fuel}	kandungan karbon dalam bahanapi, %
CFM	cubic feet per minute, ft ³ /min
\dot{E}	kadar pemindahan tenaga, W
EA	udara lebihan (excess air)
F/A	nisbah bahanapi-udara
H ₂ O	air
HHV	nilai pemanasan tinggi, MJ/kg
H _{fuel}	kandungan haidrogen dalam bahanapi, %
K1g	Pemalar kalorifik kasar bahanapi
K1n	Pemalar kalorifik bersih bahanapi
K2	Peratus maksimum teoritikal CO ₂ (kering)
K3	Peratus kehilangan lembapan
K4	Peratus kehilangan karbon tidak terbakar
O _{2r}	Rujukan tahap oksigen
LHV	nilai pemanasan rendah, MJ/kg
N	nitrogen monoatom
N ₂	nitrogen dwiatom
NO _x	nitrogen oksida
O ₂	oksigen
P	tekanan, Pa
Q _{air total}	kadar alir isipadu udara, m ³ /min

Q_{gr}	nilai kalorifik kasar, KJ/kg
Q_{net}	nilai kalorifik bersih, KJ/Kg
SO_x	oksida-oksida sulfur
SA	nisbah udara sekunder (secondary air) kepada jumlah udara yang dibekalkan untuk pembakaran
T	suhu, Celsius atau Kelvin
T_f	suhu gas serombong, °C
T_i	suhu bahagian masuk, °C
T_{net}	suhu bersih, °C
O_{2m}	% oksigen dalam gas serombong
k	pengaliran terma, $\frac{W}{m^2 k}$
\dot{m}_{water}	kadar alir air, kg/s
\dot{m}_{air}	kadar alir udara, kg/s
\dot{m}_{fuel}	kadar alir bahan api, kg/s
ppm	parts per million
\dot{Q}	kadar pemindahan haba, W
\dot{W}	kadar melakukan kerja, W
h_c	entalpi pembakaran, kJ/kg atau kJ/kmol
\bar{h}_f	entalpi pembentukan, kJ/kmol
h_{fg}	entalpi pemeruapan air pada suhu tertentu, kJ/kg
H_{prod}	entalpi hasil tindakbalas, kJ/kmol
H_{react}	entalpi bahan tindakbalas, kJ/kmol
m	jisim, kg
N_r	bilangan mol bagi bahan tindakbalas r
N_p	bilangan mol bagi hasil tindakbalas p

\dot{n}_p	kadar alir mol bagi hasil tindakbalas p
\dot{n}_r	kadar alir mol bagi bahan tindakbalas r
ρ_{air}	ketumpatan udara, kg/m^3
Φ	nisbah setara, nisbah bahanapi udara sebenar kepada nisbah bahanapi udara stoikiometri
Σ	penjumlahan

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha Mengasihani. Segala puji bagi Allah, tuhan semesta alam. Syukur alhamdulillah, dengan izinNya kajian berkenaan kesan menggunakan kaedah udara berperingkat di dalam sistem pembakaran lapisan terbendalir bagi mengawal dan mengurangkan pancaran dari pembakaran bahan buangan biojisim dapat disiapkan. Semoga hasil kajian ini menyumbangkan kebaikan dan memberi pengetahuan kepada semua.

Para penyelidik ingin merakamkan penghargaan yang tidak terhingga kepada semua pihak yang terlibat dalam usaha menyiapkan projek ini terutama Pusat Pengurusan Penyelidikan (RMC), Universiti Teknologi Malaysia di atas geran penyelidikan melalui vot 75121 untuk menjalankan kajian ini. Ucapan terima kasih juga kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia kerana menyediakan ruang untuk menempatkan rig ujikaji dan secara tidak lansung melicinkan lagi penyelidikan ini.

PENGENALAN

1.1 Latarbelakang

Tenaga merupakan sumber yang penting untuk perkembangan ekonomi dan perindustrian. Kebanyakan tenaga yang digunakan dalam sektor perindustrian adalah berasaskan sumber tenaga fosil seperti petroleum, gas asli, arang batu dan sebagainya. Bagaimanapun, dengan kadar penggunaan tenaga masa kini, simpanan bekalan tenaga fosil yang diketahui akan pupus dan adalah wajar untuk membangunkan sumber tenaga alternatif untuk meneruskan kemajuan dan pembangunan negara.

Salah satu cara yang efisien buat masa ini ialah untuk menggantikan sumber tenaga yang tidak boleh diperbaharui ini dengan sumber tenaga boleh diperbaharui. Sumber tenaga dari biojisim seperti sisa kelapa sawit dan kayu, sekam padi dan sisa buangan bandaran dan tenaga solar merangkumi 90% dari potensi sumber tenaga boleh diperbaharui ini. Sumber tenaga boleh diperbaharui boleh menyumbang kepada ekonomi negara. Hampir RM 10 billion setiap tahun dalam kandungan tenaga setara boleh diperolehi dalam bentuk sumber tenaga boleh diperbaharui biojisim yang terdiri dari sisa kelapa sawit dan kayu. Dengan menggunakan sumber tempatan, import tenaga luaran boleh dikurangkan untuk menjimatkan kos bahanapi dan kadar tukaran asing.

Dari perspektif alam sekitar, pergantungan kepada bahan api petrol dan diesel dalam pembakaran telah menyebabkan berlakunya pencemaran akibat pembebasan gas oksida nitrogen dan oksida karbon di dalam atmosfera. Penggunaan semua sumber tenaga boleh diperbaharui dalam negara mampu mengurangkan sejumlah 70 million ton CO₂ menjelang 2020.

Pembakaran sisa bahan buangan biojisim boleh digunakan untuk menghasilkan tenaga terma. Oleh yang demikian, masalah-masalah pembuangan sisa khususnya dari sektor perindustrian dapat dikurangkan sebagai satu cara untuk mengatasi masalah pencemaran. Beberapa kaedah telah digunakan untuk menghasilkan tenaga bagi kegunaan sektor perindustrian.

Pembakaran telah dikenalpasti sebagai salah satu cara terbaik untuk melupuskan sisa-sisa buangan. Matlamat utama pembakaran adalah membakar sisa buangan secara efisien dan mengurangkan penghasilan abu serta gas yang tidak berguna. Salah satu sistem yang sesuai untuk pembakaran bahan api pepejal seperti dari sumber biojisim adalah sistem pembakaran lapisan terbendalir. Sistem pembakaran ini mempunyai beberapa kelebihan seperti peningkatan sentuhan antara zarah pasir dan bahanapi yang akan menghasilkan pemindahan haba dan jisim yang lebih baik, suhu seragam didalam kebuk pembakaran dan sistem pembakaran secara keseluruhan. Bagaimanapun, ciri-ciri pembakaran biojisim perlu di kaji dengan lebih terperinci dan pancaran dari sistem pembakaran ini perlu dikurangkan agar sistem pembakaran ini dapat diterima pakai.

Untuk mencapai objektif kajian ini, penyelidikan yang dijalankan telah menumpukan perhatian terhadap kaedah penggunaan udara berperingkat bagi sistem pembakaran lapisan terbendalir. Melalui kaedah ini, pembakaran bahanapi biojisim dapat dilakukan dengan lebih efektif yang mana tidak boleh dilakukan oleh relau pembakaran jenis biasa. Di samping menjimatkan tenaga, sistem ini juga dapat mengeksploitasi bahan yang tidak berguna kepada sesuatu yang bermanfaat iaitu tenaga haba.

Oleh kerana Malaysia merupakan pengeksport utama minyak kelapa sawit, tentunya terdapat banyak sisa boleh bakar yang dihasilkan oleh industri ini. Antara sisa ini, ada yang memiliki relatif nilai kalori yang tinggi dan sesuai dibakar untuk mendapatkan haba bagi kegunaan yang praktikal. Salah satu sisa boleh bakar yang dimaksudkan

adalah tempurung kelapa sawit. Maka, penggunaan tempurung kelapa sawit sebagai punca bahan api adalah suatu yang pragmatik.

1.2 Objektif

Kajian yang dijalankan di dalam projek ini adalah bertujuan untuk mencapai objektif berikut:

1. Mengenalpasti beberapa kaedah pembakaran biojisim
2. Melakukan kajian mendalam mengenai kaedah pembakaran udara berperingkat
3. Memperolehi hasil analisis asas dan berdasarkan teori terhadap kesan kaedah yang digunakan keatas ciri-ciri pembakaran dan pancaran dari hasil pembakaran
4. Memperolehi keputusan taburan suhu, pancaran dan kecekapan pembakaran hasil dari ujikaji yang dijalankan
5. Menentukan pertalian diantara analisis teori dan ujikaji berkaitan kesan kaedah yang digunakan keatas ciri-ciri pembakaran dan pancaran dari hasil pembakaran

1.3 Skop

Bagi projek ini, skop kajian meliputi :

1. Kajian literatur berkenaan sistem pembakaran lapisan terbendalir dan kaedah udara berperingkat
2. Menyediakan perkakasan (rig) untuk pengujian kaedah udara berperingkat
3. Menggunakan tempurung kelapa sawit sebagai bahan api
4. Mengambil kira tahap udara lebihan
5. Mengambil kira taburan suhu sepanjang ketinggian lapisan

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pembakaran

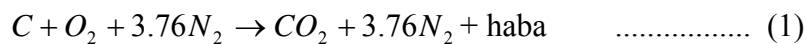
Campuran bahanapi dan udara di dalam kebuk pembakaran mempengaruhi pembakaran yang diperolehi. Pencampuran bahanapi dan udara dikelaskan kepada tiga jenis berdasarkan kepada kandungan bahanapi yang digunakan berbanding udara atau oksigen yang dibekalkan. Jenis campuran yang dimaksudkan ialah campuran kaya bahanapi, stoikiometri dan cair bahanapi (lemah bahanapi).

Tahap kandungan bahanapi dan udara ditunjukkan dalam bentuk nisbah bahanapi per udara, F/A dan nisbah bahanapi udara sebenar kepada nisbah bahanapi udara stoikiometri sebagai nisbah setara, ϕ .

2.1.1 Nisbah Bahanapi per Udara, F/A

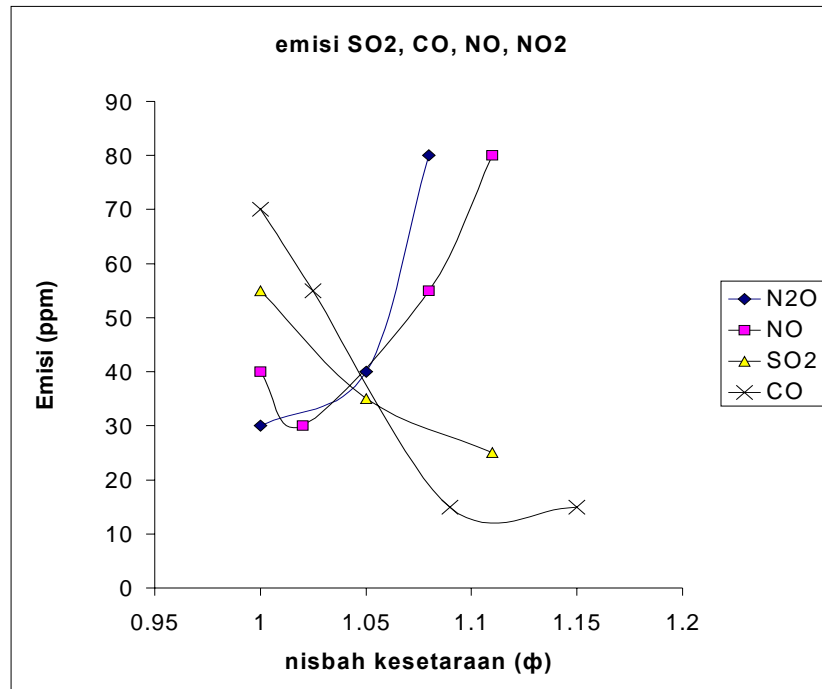
Nisbah bahanapi per udara yang didapati daripada pengiraan teori adalah berdasarkan kepada komposisi kimia dan jisim molekul tindakbalasnya. Nilai yang didapati daripada pengiraan ini mewakili nisbah bahanapi per udara untuk campuran stoikiometri.

Tindakbalas kimia untuk pembakaran bahanapi tempurung kelapa sawit diberikan seperti berikut:



Oleh itu, nisbah bahanapi per udara, $F/A = 0.1734$

2.1.2 Nisbah Setara, ϕ



Rajah 2.1: Hubungan Emisi dengan Nisbah Kesetaraan

Nisbah setara merupakan perbandingan antara nisbah bahanapi per udara sebenar dengan nisbah bahanapi per udara stoikiometri yang didapati melalui pengiraan. Ia dapat memberi gambaran mengenai campuran yang terjadi di dalam kebuk pembakaran. Apabila nisbah setara bersamaan dengan 1.0 pada puncak aliran jisim udara, campuran bahanapi dengan udara adalah sempurna dan nilai nisbah bahanapi per udara ujikaji adalah bersamaan dengan nilai nisbah bahanapi per udara stoikiometri. Nisbah setara yang melebihi nilai 1.0 pada sebelah luar kawasan stabil pula menunjukkan campuran kaya bahanapi. Manakala, nisbah setara yang kurang daripada 1.0 pada luar kawasan stabil pula menunjukkan campuran cair bahanapi.

Secara jelas, nisbah udara-bahanapi (A/F) merupakan balikan kepada nisbah bahanapi-udara (F/A). Oleh itu, perlu disedari walaupun nisbah setara bagi keduanya pada nilai stoikiometrik adalah sama, tetapi pada campuran yang kaya dan lemah bahanapi nilainya

berlainan disebabkan keterbalikannya antara satu sama lain. Ini dapat diterangkan dengan lebih jelas melalui Jadual 2.1.

Jadual 2.1: Perbandingan Nisbah Setara

Definisi Φ	Campuran	Nilai
(F/A)	Kaya	$\Phi > 1$
	Stoikiometrik	$\Phi = 1$
	Lemah	$\Phi < 1$
(A/F)	Kaya	$\Phi < 1$
	Stoikiometrik	$\Phi = 1$
	Lemah	$\Phi > 1$

2.2 Entalpi Pembakaran

Dalam proses pembakaran, entalpi tindakbalas kebiasaannya dirujuk sebagai entalpi pembakaran, h_c , yang mana mewakili sejumlah haba yang terbebas semasa proses pembakaran bagi aliran mantap iaitu apabila 1 kmol (atau 1 kg) bahanapi dibakar selengkapnya pada suhu dan tekanan tertentu (Cengel, 2002). Entalpi pembakaran bagi jenis bahanapi tertentu berbeza bagi sesuatu suhu dan tekanan. Ini diwakili oleh persamaan

$$h_c = H_{prod} - H_{react} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Entalpi pembakaran merupakan sifat yang paling berguna dalam menganalisis proses pembakaran bagi bahanapi. Bagaimanapun, terdapat begitu banyak bahanapi dan campurannya yang berbeza dan adalah tidak praktikal untuk menyenaraikan nilai-nilai h_c

bagi semua kemungkinan kes. Tambahan pula entalpi pembakaran adalah tidak berguna sekiranya pembakaran tidak lengkap. Oleh itu suatu pendekatan yang lebih praktikal diperlukan agar dapat mewakili tenaga kimia bagi satu elemen atau kompaun pada suatu titik rujukan. Sifat ini lebih dikenali sebagai entalpi pembentukan \bar{h}_f , yang dapat dilihat sebagai entalpi bagi suatu bahan pada keadaan tertentu akibat daripada komposisi kimianya.

Semua entalpi pembentukan bagi elemen stabil (seperti O₂, N₂, H₂ dan C) diletakkan nilai sifar pada rujukan piawai 25°C dan 1 atm. Dengan itu, $\bar{h}_f = 0$ bagi semua elemen stabil. Apa yang dimaksudkan sebagai stabil ialah dari segi bentuk kimianya pada 25°C dan 1 atm. Nitrogen sebagai contoh, wujud dalam bentuk dwiatom (N₂) pada 25°C dan 1 atm. Oleh itu, bentuk nitrogen yang stabil pada rujukan piawai adalah nitrogen dwiatom N₂ dan bukannya nitrogen monoatom N. Sekiranya suatu elemen wujud lebih dari satu keadaan stabil pada 25°C dan 1 atm, salah satu daripadanya perlu dikhususkan sebagai bentuk stabil. Bagi karbon sebagai contoh, bentuk yang stabil dianggap grafit dan bukannya berlian.

Pertimbangkan pembentukan CO₂ daripada elemennya iaitu C dan O₂ pada 25°C dan 1 atm semasa proses pembakaran aliran mantap. Perubahan entalpi semasa proses ini ditentukan sebanyak -393, 520 kJ/kmol (Cengel, 2002). Bagaimanapun, $H_{react} = 0$ memandangkan kedua-dua bahan tindakbalas adalah elemen pada titik rujukan piawai, dan hasil tindakbalas mengandungi 1 kmol CO₂ pada titik yang sama. Oleh itu, entalpi pembentukan CO₂ pada titik rujukan piawai adalah -393, 520 kJ/kmol. Iaitu,

$$\bar{h}_{f,CO_2} = -393,520 \text{ kJ / kmol}$$

Penandaan negatif adalah kerana entalpi bagi 1 kmol CO₂ pada 25°C dan 1 atm adalah 393, 520 kJ kurang daripada entalpi bagi 1 kmol C dan 1 kmol O₂ pada titik yang sama. Dalam erti kata yang lain, 393, 520 kJ tenaga kimia terbebas (meninggalkan sistem sebagai haba) apabila C dan O₂ bergabung untuk membentuk 1 kmol CO₂. Oleh itu, suatu

entalpi pembentukan yang negatif bagi satu kompaun menunjukkan bahawa haba terbebas semasa pembentukan kompaun tersebut dari elemen stabilnya. Nilai positif pula menunjukkan bahawa haba diserap.

Satu lagi bentuk yang sering digunakan dalam pembakaran bahanapi adalah nilai pemanasan bagi bahanapi, yang ditakrifkan sebagai jumlah haba yang terbebas apabila bahanapi dibakar dengan selengkapnya dalam suatu proses aliran mantap dan hasil tindakbalas berbalik semula ke titik bahan tindakbalas. Dalam erti kata lain, nilai pemanasan bagi suatu bahanapi adalah sama dengan nilai mutlak entalpi pembakaran bahanapi tersebut. Iaitu,

$$\text{Nilai pemanasan} = |h_c| \quad (\text{kJ/kg bahanapi})$$

Nilai pemanasan bergantung kepada fasa H₂O di dalam hasil tindakbalas. Nilai pemanasan disebut sebagai nilai pemanasan tinggi (HHV) apabila H₂O di dalam hasil tindakbalas adalah dalam bentuk cecair, dan nilai pemanasan rendah (LHV) sekiranya H₂O adalah dalam bentuk ruapan. Kedua-dua nilai pemanasan dihubungkan melalui

$$\text{HHV} = \text{LHV} + (mh_{fg})_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\text{kJ/kg bahanapi}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan m adalah jisim H₂O di dalam hasil tindakbalas per unit jisim bahanapi dan h_{fg} adalah entalpi pemeruapan air pada suhu tertentu.

2.3 Analisis Hukum Pertama Bagi Sistem Tindakbalas

2.3.1 Sistem Aliran Mantap

Sebelum dapat mengungkapkan hubungan keseimbangan tenaga, adalah perlu menyatakan entalpi bagi suatu komponen dalam bentuk yang bersesuaian bagi kegunaan sistem bertindakbalas, iaitu bentuk entalpi perlu berkurang kepada entalpi pembentukan pada titik rujukan piawai. Ini dapat diterangkan menerusi persamaan berdasarkan unit mol, iaitu

$$\text{Entalpi} = \bar{h}_f^o + (\bar{h} - \bar{h}^o) \quad (\text{kJ/kmol}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan bentuk di atas mewakili entalpi rasa (sensible) relatif kepada titik rujukan piawai, di mana perbezaan di antara \bar{h} (entalpi rasa pada titik tertentu) dan \bar{h}^o (entalpi rasa pada 25°C dan 1 atm). Definisi ini membolehkan nilai entalpi digunakan dari jadual tanpa mengira titik rujukan yang digunakan dalam membinanya.

Bila perubahan tenaga kinetik dan keupayaan diabaikan, hubungan keseimbangan tenaga aliran mantap $\dot{E}_{masuk} = \dot{E}_{keluar}$ dapat dinyatakan bagi tindakbalas kimia dalam sistem aliran mantap dengan lebih jelas iaitu

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{masuk} + \dot{W}_{masuk} + \sum \dot{n}_r (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_r = & \dots\dots\dots (5) \\ \dot{Q}_{keluar} + \dot{W}_{keluar} + \sum \dot{n}_p (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p & \end{aligned}$$

dengan persamaan di sebelah kiri merupakan kadar pemindahan tenaga masuk bersih disebabkan oleh haba, kerja dan jisim manakala persamaan di sebelah kanan pula merupakan merupakan kadar pemindahan tenaga keluar bersih disebabkan oleh haba, kerja dan jisim. Dalam persamaan (5) di atas juga \dot{n}_p dan \dot{n}_r mewakili kadar alir mol bagi hasil tindakbalas p dan bahan tindakbalas r .

Dalam analisis pembakaran, adalah lebih sesuai untuk berurusan dengan kuantiti dalam bentuk per mol bahanapi. Hubungan tersebut dapat diperolehi dengan cara membahagikan setiap bentuk dalam persamaan (5) di atas dengan kadar alir mol bagi bahanapi, menjadikannya

$$Q_{masuk} + W_{masuk} + \sum N_r (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_r = \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_{keluar} + W_{keluar} + \sum N_p (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p$$

dengan N_r dan N_p mewakili bilangan mol bagi bahan tindakbalas r dan hasil tindakbalas p , masing-masing per unit mol bahanapi. $N_r = 1$ bagi bahanapi, manakala nilai N_r dan N_p boleh diperolehi secara langsung dari persamaan seimbang pembakaran. Dengan mengambil pemindahan haba ke dalam sistem dan kerja yang dilakukan oleh sistem sebagai kuantiti positif, hubungan keseimbangan haba boleh dinyatakan dengan lebih padat sebagai

$$Q - W = \sum N_p (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p - \sum N_r (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_r \dots\dots\dots (7)$$

ataupun sebagai

$$Q - W = H_{prod} - H_{react} \quad (\text{kJ/kmol bahanapi}) \dots\dots\dots (8)$$

dengan

$$H_{prod} = \sum N_p (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p \quad (\text{kJ/kmol bahanapi}) \dots\dots\dots (9)$$

$$H_{react} = \sum N_r (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_r \quad (\text{kJ/kmol bahanapi}) \dots\dots\dots (10)$$

Sekiranya entalpi pembakaran \bar{h}_c^o bagi tindakbalas tertentu wujud, persamaan tenaga aliran mantap per mol bahanapi boleh dinyatakan sebagai

$$Q - W = \bar{h}_c^o + \sum N_p (\bar{h} - \bar{h}^o)_p - \sum N_r (\bar{h} - \bar{h}^o)_r \quad (\text{kJ/kmol}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

Hubungan keseimbangan tenaga di atas kadangkala dinyatakan tanpa bentuk kerja kerana kebanyakan proses pembakaran aliran mantap tidak melibatkan interaksi kerja.

Kebuk pembakaran kebiasaannya melibatkan haba keluaran tetapi tanpa haba masukan. Oleh sebab itu, keseimbangan tenaga bagi proses pembakaran aliran mantap yang umum akhirnya menjadi

$$Q_{keluar} = \sum N_r (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_r - \sum N_p (\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p \quad \dots\dots\dots (12)$$

Persamaan di atas menunjukkan haba keluaran semasa proses pembakaran adalah merupakan perbezaan di antara tenaga bahan tindakbalas yang masuk dengan tenaga hasil tindakbalas yang meninggalkan kebuk pembakaran.

2.4 Emisi

Emisi adalah gas-gas yang terhasil melalui proses pembakaran baik secara tertutup ataupun terbuka iaitu di atmosfera biasa yang mendatangkan kesan buruk bukan sahaja kepada manusia malahan kepada hidupan lain dan alam sekitar. Terdapat beberapa jenis gas emisi yang utama iaitu oksida-oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), hidrokarbon tidak terbakar (UHC), asap dan oksida-oksida sulfur (SO_x) sekiranya terdapat unsur sulfur dalam bahan bakar.

2.4.1 Oksida Nitrogen

Oksida nitrogen terbebas hasil dari sebarang bentuk pembakaran yang melibatkan penggunaan udara dari atmosfera. Ini adalah disebabkan oleh kandungan nitrogen (N_2) dalam atmosfera merupakan yang tertinggi iaitu melebihi 70% daripada kandungan gas di atmosfera.

Jumlah emisi NO_x yang terpancar adalah sukar untuk diramalkan kerana ia bergantung kepada pelbagai faktor seperti jenis bahanapi yang digunakan, keadaan ambien (suhu, ketumpatan udara dan sifat-sifat udara yang lain), keadaan pembakaran (saiz, kadar alir udara, pemeringkatan udara dan lain-lain) dan keadaan proses pembakaran. Oksida nitrogen boleh terbentuk melalui 3 cara:

- i) NO_x -terma akibat daripada proses pengoksidaan nitrogen dari atmosfera selepas nyalaan.
- ii) NO_x -bahanapi akibat daripada proses pengoksidaan nitrogen yang terkandung dalam bahanapi.
- iii) NO_x -penggesa akibat daripada tindakbalas pantas di permulaan nyalaan.

Pembentukan NO_2 kebiasaannya bermula dari pembakar itu sendiri dan boleh mencapai sehingga 50% daripada keseluruhan jumlah oksida nitrogen.

Oksida-oksida nitrogen dan sulfur menyumbang kepada penghasilan hujan asid yang memberi kesan buruk kepada hidupan dan juga bangunan. Menerusi set tindakbalas yang kompleks dengan sebatian organik yang mudah meruap (VOC), oksida nitrogen membentuk jerebu paras rendah (ground-level smog) yang mana ia boleh menipiskan lapisan ozon.

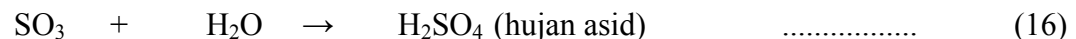
Tindakbalas yang berlaku di antara oksida nitrogen dan ozon adalah seperti berikut:



Persamaan (13) menerangkan bagaimana ozon dihapuskan melalui tindakbalas oksida nitrogen. Persamaan (14) menunjukkan nitrik oksida bergabung semula untuk kembali bertindakbalas.

2.4.2 Oksida Sulfur

Oksida sulfur merupakan salah satu pencemaran yang terpancar daripada proses pembakaran. Gas ini akan bertindakbalas dengan hujan untuk membentuk hujan asid di mana ia memberi kesan bahaya kepada manusia dan hidupan lain.



Bagaimanapun, gas ini tidak akan dibincangkan di dalam laporan ini.

2.4.3 Tindakbalas Karbon

Proses pembakaran merupakan suatu proses yang kompleks di mana tindakbalas yang sebenar berlaku masih belum benar-benar difahami. Bagaimanapun, satu set persamaan boleh digunakan untuk menjelaskan tindakbalas utama yang melibatkan karbon dan oksigen yang berlaku semasa proses pembakaran, iaitu:



Secara teorinya, oksigen perlu meresap ke dalam zarah dan karbon dioksida perlu membebaskan diri dari zarah, dan kedua-dua karbon dan oksigen bertindakbalas dengan karbon di dalam bahanapi.

Sekiranya campuran udara-bahanapi adalah kaya bahanapi, kuantiti CO yang banyak akan terpancar daripada proses pembakaran akibat kekurangan oksigen yang mencukupi untuk melengkapkan tindakbalas dari CO kepada CO₂. Secara teorinya, pancaran emisi CO dapat dikurangkan dengan cara menyuntik udara tambahan semasa proses pembakaran, tetapi terdapat beberapa percanggahan di antara teori dan amalan praktikal.

2.5 Akta Kawalan

Pelbagai akta telah dikuatkuasakan bagi mengatasi masalah pembebasan gas emisi dari sektor perindustrian baik oleh negara kita mahupun oleh negara-negara membangun dan maju lain. Amerika Syarikat contohnya telah menetapkan satu undang-undang pada tahun 1978 yang dikenali sebagai 'Environmental Quality (Clean Air) Regulation, 1978'. Akta ini menetapkan:

1. Menghadkan bilangan industri baru yang didapati mempunyai potensi menghasilkan pencemaran berdekatan taman-taman perumahan.
2. Mengawal pembakaran terbuka terutama pembakaran untuk melupuskan sisa-sisa tanaman.
3. Pengawalan emisi di dalam atmosfera.

Bagi negara kita pula, satu akta telah dibentuk pada 1970. Akta yang dipanggil ‘Pindaan Udara Bersih 1970’ ini telah menetapkan beberapa perkara iaitu :

1. Setiap negeri mempunyai tanggungjawab utama untuk menentukan mutu udara di keseluruhan kawasan geografi yang dilingkungi negeri tersebut.
2. Satu keperluan bahawa piawaian mutu udara ambien kebangsaan akan ditubuhkan oleh Agensi Pelindung Alam Sekitar (EPA).
3. Pihak industri mesti mengawasi dan menyelenggara rekod-rekod pancaran dan memberikannya kepada pegawai EPA.

Hasil dari akta pindaan ini, EPA telah menetapkan had kepekatan maksimum karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO₂), zarah atau partikel (Jadual 2.2). EPA juga telah menerbitkan piawai pancaran pesawat udara pada 17 Julai 1973. Piawaian pancaran ini mula dikuatkuasakan pada 1976 dengan melakukan beberapa pengubahsuaian, antaranya membenarkan pengoperasian industri dengan mengambil kira kemajuan pengetahuan dan teknologi yang dijalankan hasil dari usaha yang kuat oleh kerajaan.

Jadual 2.2: Had Kepekatan Emisi Dibenarkan bagi Industri di Malaysia
(Jabatan Alam Sekitar, 1998).

Pencemar	Purata masa	Had ppm	g/m ³
Ozon	1 jam	0.10	200
	8 jam	0.06	120
CO (mg/m ³)	1 jam	30.0	35
	8 jam	9.0	10
NO ₂	1 jam	0.17	320
	24 jam	0.06	113
SO ₂	10 jam	0.19	500
	1 jam	0.13	350
	24 jam	0.04	105

Partikel	24 jam		260
	1 jam		90

2.6 Kaedah Pengurangan Emisi

Pelbagai kaedah telah digunakan untuk mengatasi masalah pancaran gas-gas emisi iaitu:

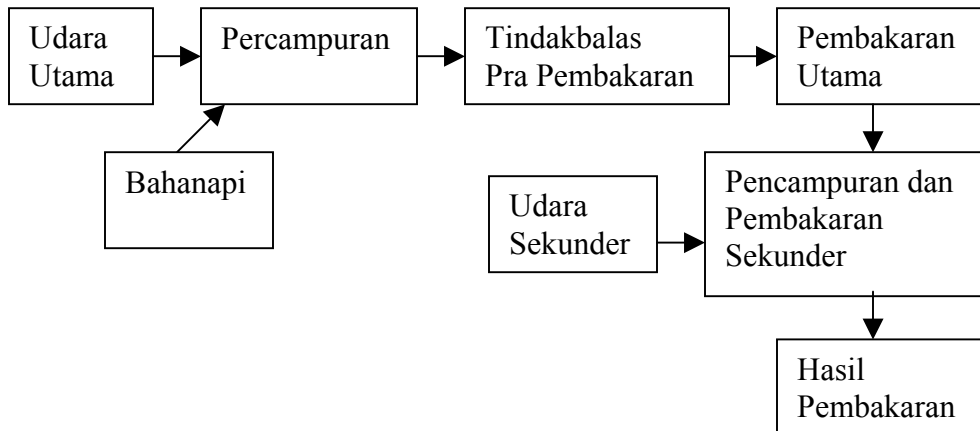
1. Geometri boleh ubah
2. Pembakaran pracampur-prawap cecair
3. Pembakaran udara berperingkat
4. Pembakaran bermangkin

Pembakaran geometri boleh ubah biasanya digunakan bersama-sama dengan pembakaran pracampur-prawap cecair kerana setiap kaedah ini memberikan kesan yang berbeza ke atas jenis gas yang berbeza iaitu pembakaran geometri boleh ubah adalah satu kaedah di mana udara dimasukkan dengan banyak pada kuasa yang maksimum. Ini membantu mengurangkan pancaran NO_x dan juga pembentukan jelaga akibat udara yang dibekalkan mencukupi untuk menghasilkan tindakbalas stoikiometri (tindakbalas di mana nisbah percampuran udara bahan api adalah mencukupi antara satu sama lain untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna) tanpa mencapai suhu puncak pembentukan NO_x iaitu 1800K. Manakala bagi pembakaran pracampur-prawap cecair, konsep yang digunakan adalah penyejatan dan pencampuran lengkap bahanapi dengan udara sebelum pembakaran. Kaedah ini menghasilkan suhu tindakbalas yang rendah dan menghapuskan bintik-bintik panas di dalam zon pembakaran. Dengan penggabungan dan penghapusan titik-titik panas ini pembentukan NO_x dapat dikurangkan dan bintik-bintik sejuk yang meningkatkan CO.

2.6.1 Pembakaran Udara Berperingkat

Kaedah pembakaran udara berperingkat adalah salah satu teknik yang berkesan untuk mengawal pancaran iaitu NO_x , CO, asap dan UHc. Udara berperingkat adalah berkaitan dengan pembekalan udara kedua atau mungkin sehingga mencapai ketiga dengan tujuan untuk menambahkan kandungan O_2 di dalam kebuk (Rajah 2.2).

Apabila sebahagian daripada bahan bakar habis bertindakbalas dengan udara bekalan utama, udara tambahan dimasukkan bertujuan untuk membolehkan kesemua bahan bakar bertindakbalas dengan lengkap untuk menghasilkan tindakbalas stoikiometri.



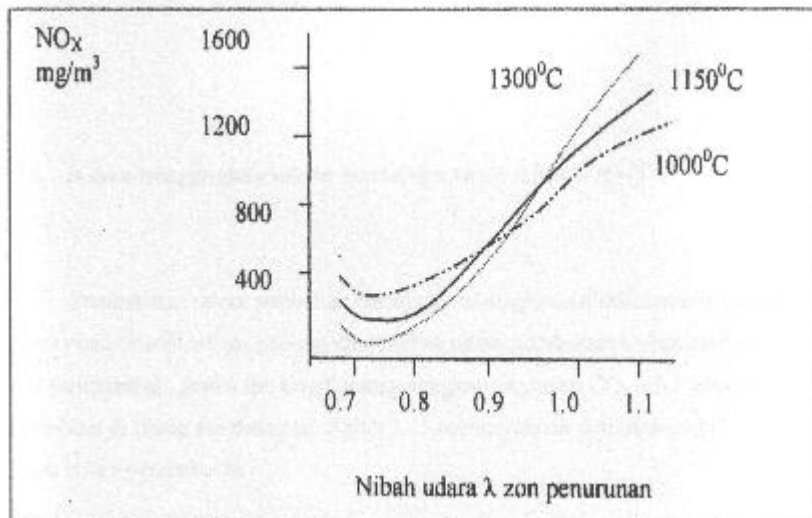
Rajah 2.2: Rajah Skematik Udara Berperingkat pada Kebuk Pembakaran

2.6.2 Kesan Udara Berperingkat ke atas Emisi NO_x

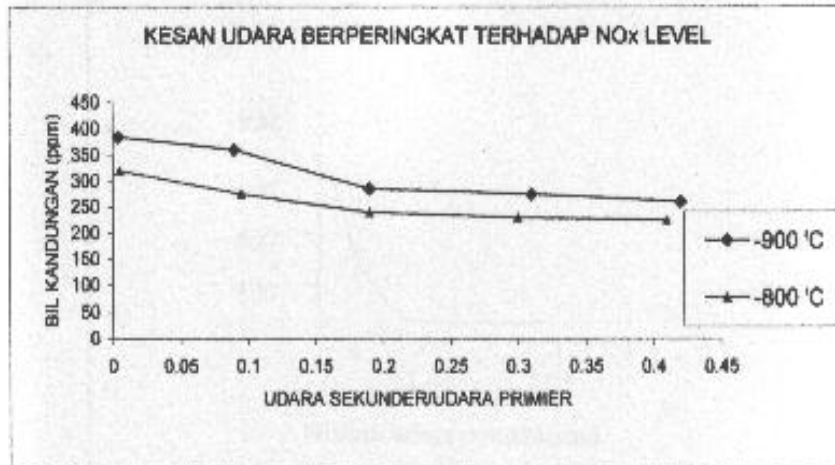
Gas NO_x terhasil daripada tindakbalas yang berlaku antara O_2 dan N_2 di dalam kebuk pada suhu yang tinggi iaitu 1800K dan ke atas. Oleh itu perlu dikurangkan atau dilambatkan masa untuk mencapai suhu puncak ini yang akan dapat mengurangkan kadar penghasilan NO_x . Kaedah yang berkesan ialah dengan menggunakan udara berperingkat.

Dengan cara ini, pembakaran udara yang mencukupi dapat dilakukan tanpa menambahkan suhu kebuk secara mendadak. Pada tahap pembakaran utama iaitu semasa

udara utama dibekalkan, sebahagian bahan api terbakar di samping meningkatkan suhunya sehingga semua O_2 habis terbakar. Pada ketika ini apabila udara tambahan dibekalkan ia akan melengkapkan proses pembakaran tadi. Semasa udara kedua dibekalkan, sebahagian haba semasa pembakaran utama tadi dibebaskan akibat tindakan keseimbangan terma dengan udara yang dimasukkan tadi yang menyebabkan masa untuk mencapai suhu puncak semakin bertambah dan mengurangkan suhu kebulut yang dapat mengurangkan penghasilan NO_x . Ini berbeza sekiranya sejumlah udara yang banyak dibekalkan sekaligus dengan tujuan untuk menghasilkan pembakaran yang lengkap tetapi pada masa yang sama meninggikan suhu pembakaran akibat masa untuk mencapai suhu puncak yang singkat dan suhunya bertambah apabila pembakaran terus dilakukan.



Rajah 2.3 Kesan Terhadap Suhu Ruang Pembakaran dan Udara Berperingkat Terhadap Emisi NO_x



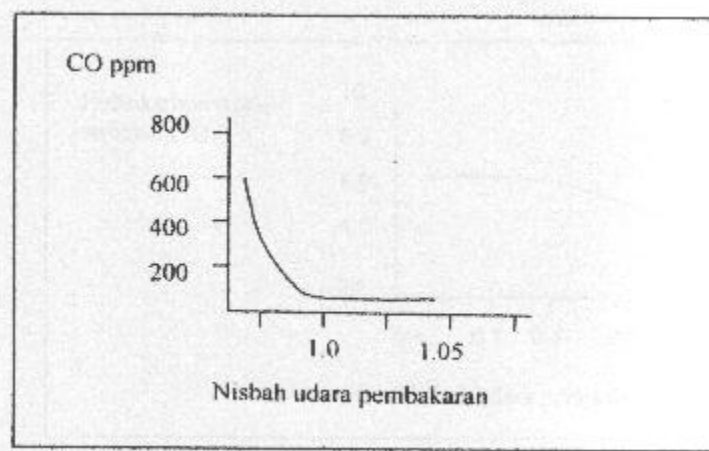
Rajah 2.4 Kesan Udara Berperingkat ke atas Emisi NO_x

2.6.3 Pengaruh Udara Berperingkat ke atas Emisi CO

Terdapat 2 faktor utama kepada penghasilan CO iaitu :

1. Kekurangan bekalan udara yang mengurangkan O_2 yang menghadkan pengoksidaan karbon di dalam bahan bakar.
2. Suhu pembakaran yang rendah di mana suhu yang tinggi diperlukan untuk menghasilkan CO_2 .

Apabila udara berperingkat dibekalkan maka nisbah udara bahan api akan bertambah yang akan menambahkan kandungan O_2 dalam kebuk yang secara teorinya boleh mengurangkan pancaran CO, tetapi telah dibincangkan sebelum ini bahawa dengan menggunakan udara berperingkat akan mengurangkan suhu kebuk. Oleh itu pada peringkat pertama pembakaran iaitu udara utama digunakan maka kadar penghasilan CO adalah tinggi akibat kandungan O_2 yang kurang. Namun apabila udara tambahan dibekalkan lebih banyak O_2 yang dibekalkan dan apabila suhu kebuk tadi telah stabil dan mencapai suhu yang tinggi maka CO yang terbentuk tadi akan bertindakbalas dengan O_2 untuk menghasilkan CO_2 .



Rajah 2.5 Kesan Nisbah Udara Pembakaran terhadap Emisi CO

2.7 Pembakaran Lapisan Terbendalir

2.7.1 Pengenalan

Pengenalan kepada kaedah pembakaran terbendalir telah bermula sekitar tahun 1920an lagi iaitu bermula di Negara Jerman. Kaedah ini berkembang terus pada sekitar tahun 1930an dan pada ketika ini digunakan dalam sektor industri minyak.

Pada tahun 1960an, kaedah pembakaran lapisan terbendalir telah mengalami beberapa perkembangan dan pembaharuan di dalam penyelidikan sejajar dengan kemajuan teknologi masa kini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan ini ialah:

Kaedah pembakaran terbendalir ini kurang menggunakan bahan api yang mahal seperti arang batu dan bahan bakar dari sumber petroleum jika dibandingkan dengan kaedah pembakaran konvensional.

Kaedah ini berpotensi dimajukan dan boleh digunapakai kerana menghasilkan tenaga haba yang tinggi.

2.7.2 Penggunaan kaedah pembakaran lapisan terbendalir di sektor industri

Penggunaan kaedah pembakaran lapisan terbendalir di sektor industri sejak akhir-akhir ini semakin meluas. Situasi ini dipengaruhi oleh berlakunya krisis tenaga dan pada masa yang sama dunia menghadapi kenaikan harga bahan api fosil seperti petroleum dan arang batu. Justeru itu, dengan kemajuan teknologi berkenaan kaedah pembakaran lapisan terbendalir ini mampu memberi jalan penyelesaian kepada masalah ini.

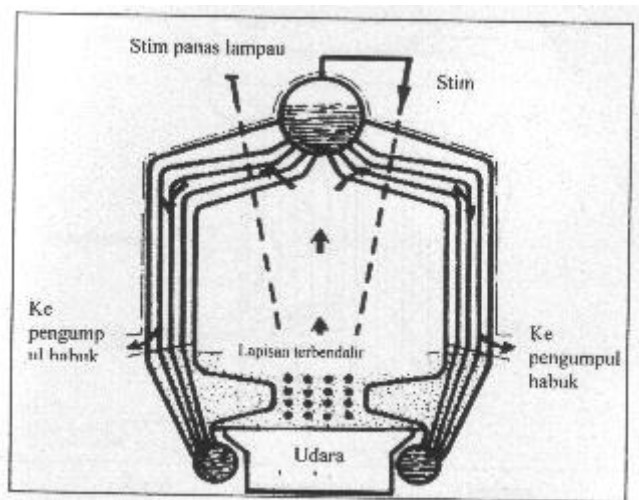
Pada masa yang sama juga, pembuangan atau longgokan sisa pertanian dapat diatasi dimana sebelum ini ianya merupakan satu masalah kepada sektor pertanian. Sisa pertanian ini dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar yang mudah diperolehi dan murah harganya.

2.7.3 Penggunaan pada dandang

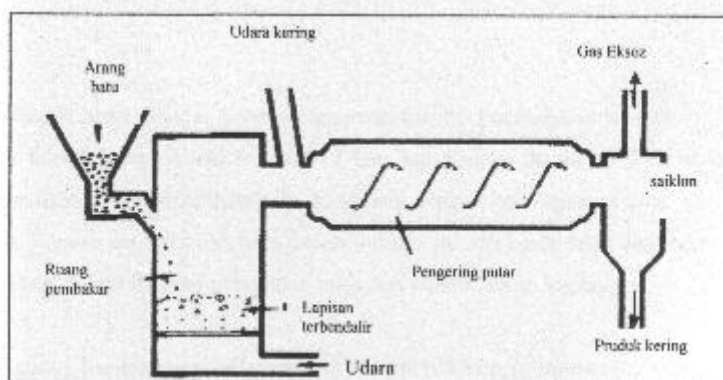
Kaedah pembakaran lapisan terbendalir tidak asing lagi digunakan dalam industri loji kuasa yang menggunakan dandang dan diantara kebaikannya ialah:

- a. Dapat mempertingkatkan keupayaan serta kecekapan pembakaran walaupun menggunakan bahan api bergred rendah.
- b. Dapat mengurangkan kos penyelenggaraan kerana sisa habuk bergerak ke ruang atas pembakaran dan terperangkap di bahagian siklon dan pengumpul habuk, maka habuk ini tidak terkumpul di dasar ruang pembakaran.
- c. Permulaan pembakaran boleh dilakukan secara automasi.
- d. Mampu mengawal kadar pencemaran hasil daripada pembakaran iaitu mengurangkan pelepasan gas-gas beracun.
- e. Rekabetuk dandang adalah padat dan dapat mengurangkan kos pembinaan.

Gambarajah di bawah menunjukkan beberapa penggunaan kaedah pembakaran lapisan terbendalir yang digunakan dalam industri yang menggunakan dandang dan relau sebagai tulang belakang industri tersebut. Gambarajah skematik dandang di tunjukkan dalam Rajah 2.6 hingga 2.7.



Rajah 2.6 Dandang Jenis A- Peredaran Air



Rajah 2.7 Rajah Skematik Pengeriing Berputar dengan Relau Pembakaran Lapisan Terbendalir

2.8 Konsep pembakaran lapisan terbendalir

Di dalam proses pembakaran terbendalir, kaedah ini menggunakan prinsip perbendaliran bahan media. Di dalam ruang pembakaran telah tersedia bahan media iaitu pasir silika yang di letakkan di atas plat pengagihan udara. Plat ini terletak di dasar ruang pembakaran. Bahan bakar seperti tempurung kelapa sawit, habuk kayu atau tempurung kelapa yang telah dikisar mengikut saiz tertentu dimasukkan ke dalam ruang pembakaran. Udara akan dialirkan pada plat pengagihan udara secara perlahan-lahan sehingga bahan bakar dan bahan media bercampur di dalam ruang pembakaran. Hasil daripada percampuran kedua-dua bahan ini, akan memberikan keseimbangan haba antara udara dan bahan bakar.

Pada ketika itu, haba dibekalkan melalui pemanas dan akan menyebabkan ruang pembakaran mengalami peningkatan suhu. Dengan halaju tertentu, bahan media dan bahan bakar akan terbendalir dan bergerak bebas dalam ruang pembakaran.

Apabila gas bergerak ke atas di antara lapisan dalam bentuk partikel, darjah pergerakan ini adalah ditentukan oleh halaju gas dan halaju udara yang dibekalkan. Pada halaju rendah, hanya sedikit sahaja partikel yang dapat bergerak dalam ruang pembakaran. Apabila halaju ditingkatkan, secara keseluruhan partikel-partikel bahan bakar dan bahan media menerima daya tolakan ke atas dan bergerak bebas di dalam ruang pembakaran membentuk aliran gas seolah-olah tergantung di ruang pembakaran.

Peningkatan halaju seterusnya menyebabkan halaju gas partikel membentuk gelora dan kewujudan gelembung-gelembung udara. Pergerakan partikel-partikel ini dalam lapisan bergerak bagaikan cecair dan dinamakan terbendalir.

Dalam pembakaran lapisan terbendalir, pembakaran menggunakan aliran udara secara berterusan bagi membentuk aliran gelora. Dengan pencampuran yang seragam antara partikel-partikel bahan bakar dan bahan media akan memberikan rangsangan dari segi keseragaman suhu pada zon pembakaran. Pada aliran udara tetap dan apabila suhu

lapisan pembakaran telah seragam, maka bekaln haba akan diberhentikan. Walau bagaimanapun, bahan bakar akan terus terbakar secara terbendalir bersama-sama bahan media. Kaedah pembakaran lapisan terbendalir ini dapat di bahagikan kepada dua kategori iaitu:

a. 'Atmospheric pressure'

b. 'Pressurized'

'Atmospheric Pressure Fluidised Bed Combustion' (AFBC) digunakan secara komersial sama ada dalam bentuk edaran lapisan (circulating bed) atau gelembung lapisan (bubbling bed). Kebanyakan industri dandang menggunakan sistem gelembung lapisan. 'Pressurized Fluidised Bed Combustion' (PFBC) pula menggunakan gelembung lapisan (bubbling bed) secara komersil.

2.9 Pengoperasian pembakaran lapisan terbendalir

Pembakaran lapisan terbendalir boleh beroperasi dalam dua model iaitu:

a. Gelembung lapisan (bubbling bed)

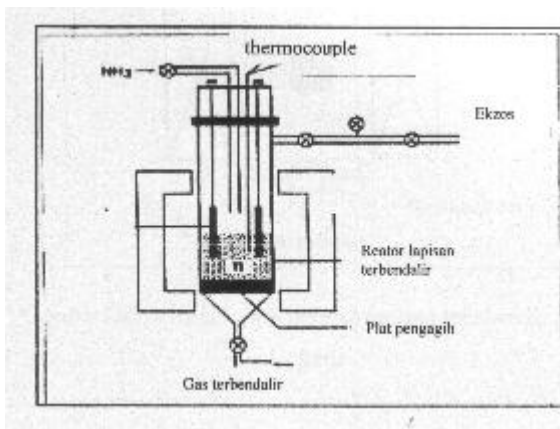
b. Edaran lapisan (circulating bed)

Model-model ini bergantung kepada rekabentuk alatan dan halaju bendalir. Ketika halaju udara yang melalui lapisan meningkat, lapisan akan mengalami situasi terbendalir dengan dalam bentuk atau pun bersifat seperti bendalir. Dengan mengalami penambahan halaju gas, lapisan akan mengembang dan pada sebahagian kecil terhadap lebihan udara akan mengalami fasa gelembung (bubble). Ia adalah aksi gelembung dengan percampuran antara partikel dan dengan cepat ia mengalami keseimbangan terma antara gas dan partikel, $T_g = T_s$.

Alatan pembakaran lapisan terbendalir secara gelembung dengan kadar alir yang rendah iaitu 0.3m/s hingga 3m/s bergantung juga kepada saiz partikel sama ada pepejal, cecair atau gas yang mana ia dihembuskan di bahagian bawah ruang pembakaran ke arah atas hingga ke permulaan bahagian free board.

Kadar alir daripada gelembung dan tenaga percampuran bahan lapisan dengan udara dalam ruang pembakaran berlaku dengan cepat dan ia adalah unik dalam kaedah pembakaran lapisan terbendalir. Bahagian atas kebuk pembakaran dinamakan sebagai free board. Jesteru itu, terdapat perekahan pembakaran di antara lapisan yang tebal dan free board pada waktu yang sama juga, penghantaran bahan bakar sama ada di atas lapisan atau di bawah lapisan.

Semua pepejal yang keluar daripada lapisan terkumpul di ruang ini akan kembali turun ke lapisan bawah apabila daya angkat telah berkurangan. Pepejal yang bersaiz besar akan turun ke lapisan. Partikel saiz abu yang kecil akan keluar bersama-sama gas ekzos, tetapi akan melalui siklon yang akan memerangkap abu dan melepaskan gas-gas ekzos. Rajah 2.8 menunjukkan gambarajah skematik sebuah reactor pembakaran lapisan terbendalir.

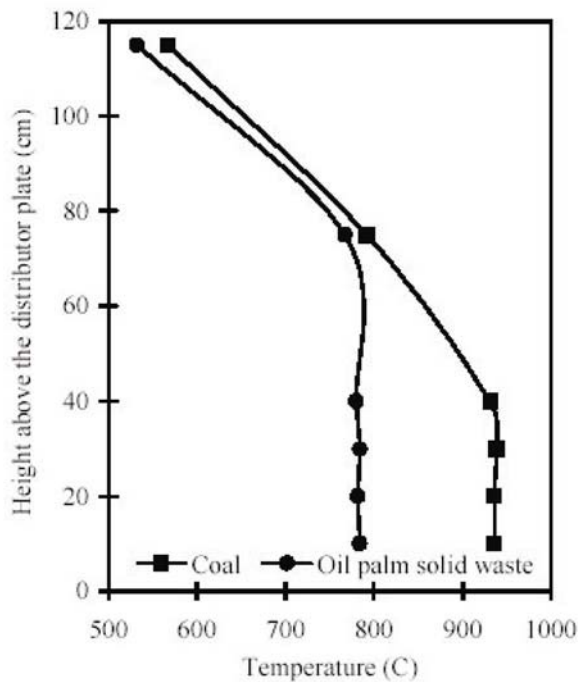


Rajah 2.8 Rajah Skematik Reaktor Pembakaran Lapisan Terbendalir

2.10 Ciri-ciri pembakaran

2.10.1 Taburan suhu

Profil suhu bagi sisa pepejal kelapa sawit yang dibakar sepanjang ketinggian lambung bebas termasuk lapisan ditunjukkan dalam Rajah 2.9. Suhu lapisan bagi pembakaran sisa pepejal kelapa sawit adalah rendah jika dibandingkan dengan pembakaran arang batu. Akan tetapi, suhu lambung bebas adalah sedikit sahaja rendah berbanding dengan pembakaran arang batu, dengan perbezaan 150°C bagi suhu lapisan jika dibandingkan dengan perbezaan 30°C bagi suhu lambung bebas. Ini adalah kerana sisa pepejal kelapa sawit melepaskan bahan mudah meruap apabila sisa ini memasuki pembakar dan cenderung untuk terbakar di atas lapisan atau di sepanjang ketinggian pembakar.



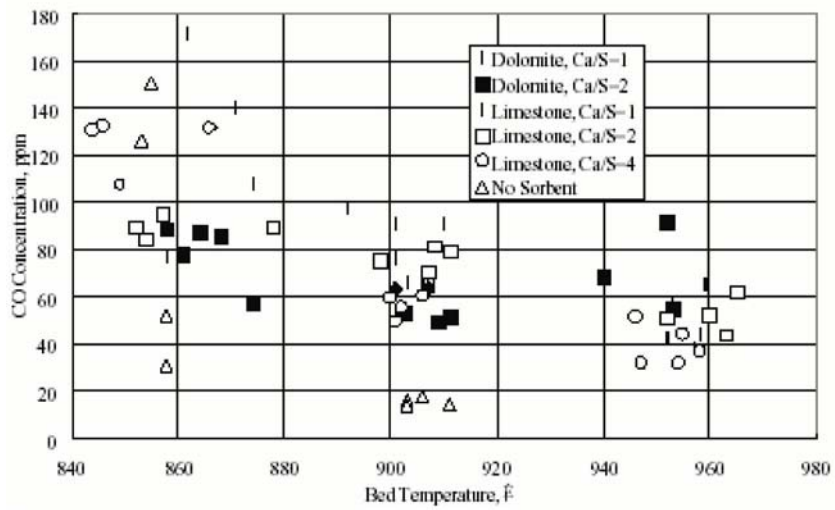
Rajah 2.9 Profil suhu bagi pembakaran arang batu dan sisa pepejal kelapa sawit (Patumsawad,2002)

Sebab lain adalah kerana komponen gentian dalam sisa pepejal kelapa sawit adalah ringan dan semasa proses pembakaran gentian ini mungkin berterbangan keluar dari lapisan dan memasuki ke dalam kawasan lambung bebas dan terbakar di dalamnya lalu meningkatkan suhu dalam lambung bebas. Didapati bahawa halaju perbendaliran yang bersesuaian untuk pembakaran sisa pepejal kelapa sawit adalah berbeza dengan yang diperlukan untuk pembakaran arang batu. Angka perbendaliran optima untuk pembakaran arang batu adalah antara 4.5 – 5 Ug/Umf manakala untuk sisa pepejal kelapa sawit adalah antara 2.5 – 3 Ug/Umf. Sebarang usaha untuk meningkatkan halaju perbendaliran melebihi julat angka ini boleh menyebabkan kecekapan pembakaran menurun. Dengan peningkatan halaju perbendaliran, komponen gentian dalam sampel habuk yang diperolehi dari saiklon juga meningkat.

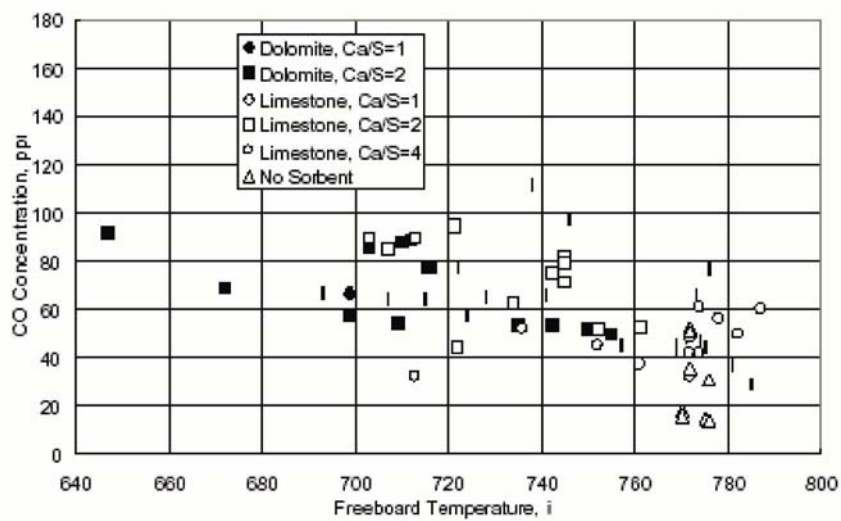
2.10.2 Parameter operasi yang mempengaruhi CO

Ada banyak parameter yang mempengaruhi kepekatan CO berpunca dari tindakbalas antara bahan mengering, bahan lapisan dan gas serombong dan juga pembakaran tak lengkap.

Emisi CO menurun bersama peningkatan suhu lapisan seperti yang ditunjukkan oleh Takeshita dan Saxena. Rajah 2.10 menunjukkan kesan suhu lapisan ke atas emisi CO. Dalam kes suhu lapisan adalah 950°C atau lebih tinggi, emisi CO didapati menurun. Emisi CO dan pecahan karbon yang tak terbakar juga dipengaruhi oleh suhu lambung bebas. Rendahnya suhu lambung bebas, pancaran CO pula akan tinggi disebabkan oleh kadar tindakbalas yang rendah. Ia boleh dilihat pada Rajah 2.11.

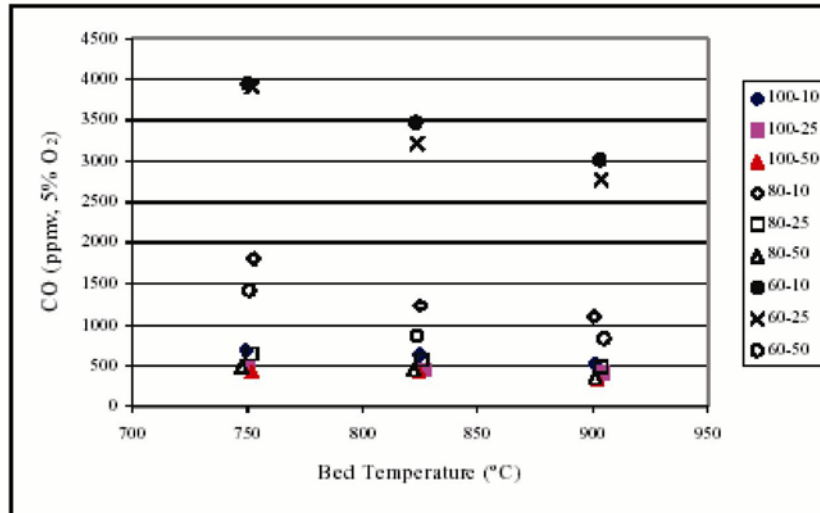


Rajah 2.10 Kesan suhu lapisan ke atas emisi CO (Park J. et al, 1999)



Rajah 2.11 Kesan suhu lambung bebas ke atas emisi CO (Park J. et al, 1999)

Rajah 2.12 menunjukkan yang udara lebih meningkatkan kepekatan oksigen di dalam zon nyalaan dan menyumbang kepada pengurangan emisi CO.



Rajah 2.12 Emisi CO bagi peratus lebih udara 10, 25 dan 50 untuk beberapa suhu lapisan (Tarelho L.A.C et al , 1999)

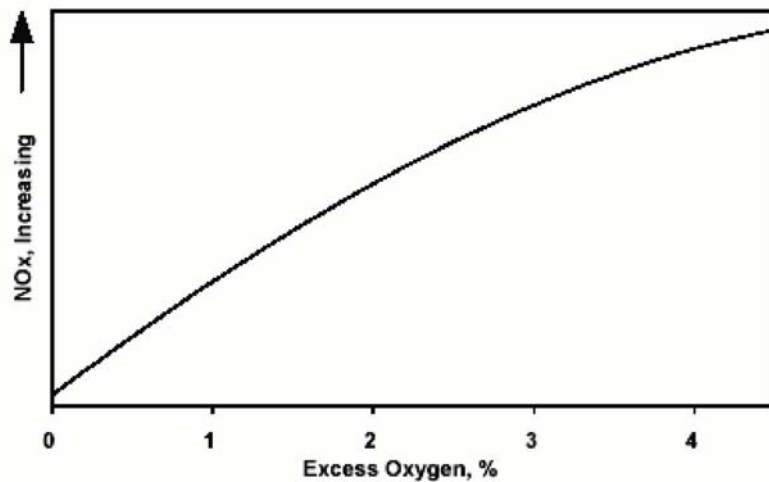
2.10.3 Parameter operasi yang mempengaruhi NO_x

NO_x terma adalah sumber utama NO_x dari pembakaran bahanapi bergas. Parameter-parameter yang mempengaruhi kepekatan oksigen di dalam zon nyalaan atau suhu yang dicapai di dalam zon nyalaan, akan juga mempengaruhi emisi NO_x terma. Parameter-parameter yang paling penting adalah:

- Udara Lebihan
- Komposisi Bahanapi
- Suhu Udara Pra-Haba
- Suhu Relau

2.10.3.1 Udara lebih (Excess Air)

Udara lebih menyediakan oksigen tambahan melebihi keperluan udara stoikiometrik dan secara umumnya diperlukan untuk meminimakan emisi CO dan hidrokarbon tak terbakar. Bagaimanapun, ianya dicapai dengan meningkatkan kepekatan oksigen di dalam zon nyalaan, yang mana akan cenderung untuk meningkatkan NO_x . Udara lebih turut mengurangkan suhu nyalaan keseluruhan dan menyumbang kepada kehilangan kecekapan terma. Rajah 2.13 menunjukkan kesan udara lebih, dinyatakan sebagai peratus oksigen lebih ke atas emisi NO_x . Dengan udara lebih meningkat berterusan, pengurangan dalam NO_x yang berpunca dari penurunan suhu nyalaan akhirnya mengatasi peningkatan NO_x yang berpunca dari kepekatan oksigen dan emisi NO_x memuncak. Lebih peningkatan dalam udara lebih kemudiannya mengurangkan emisi NO_x .



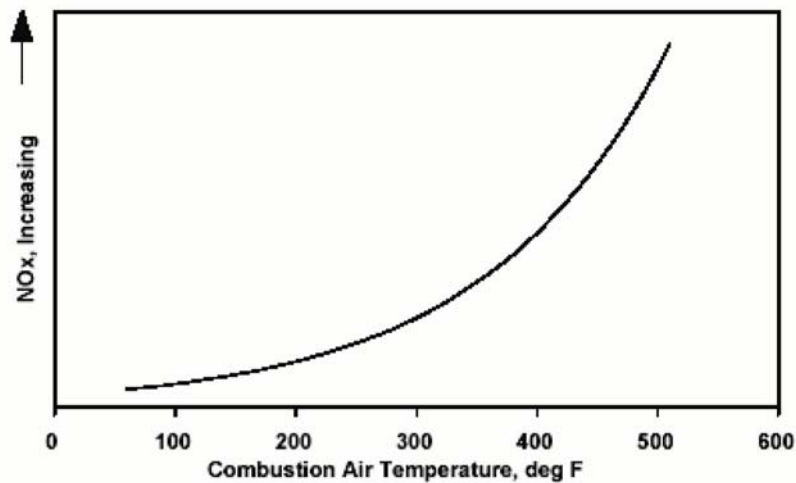
Rajah 2.13 NO_x melawan lebihan O_2 (Waibel R.T. et al, 1993)

2.10.3.2 Komposisi bahanapi

Komposisi bahanapi mempengaruhi NO_x terma disebabkan oleh kesan langsungnya ke atas suhu nyalaan. Bahanapi yang berbeza berkemampuan mencapai suhu nyalaan yang berbeza-beza dan potensi suhu nyalaan maksimum bagi bahanapi adalah sesuai ditakrifkan oleh suhu nyalaan adiabatik. Suhu nyalaan adiabatik merupakan suhu teoritikal yang dicapai apabila campuran bahanapi-udara dibakar sepenuhnya dan kesemua tenaga bahan tindak balas dipindahkan kepada hasil pembakaran. Walaupun nyalaan praktikal memindahkan haba jauh daripada zon nyalaan, suhu nyalaan adiabatik menyediakan kaedah terbaik untuk menilai kesan komposisi gas bahanapi ke atas suhu nyalaan dan kesan ke atas emisi NO_x terma.

2.10.3.3 Suhu udara pra-pemanasan

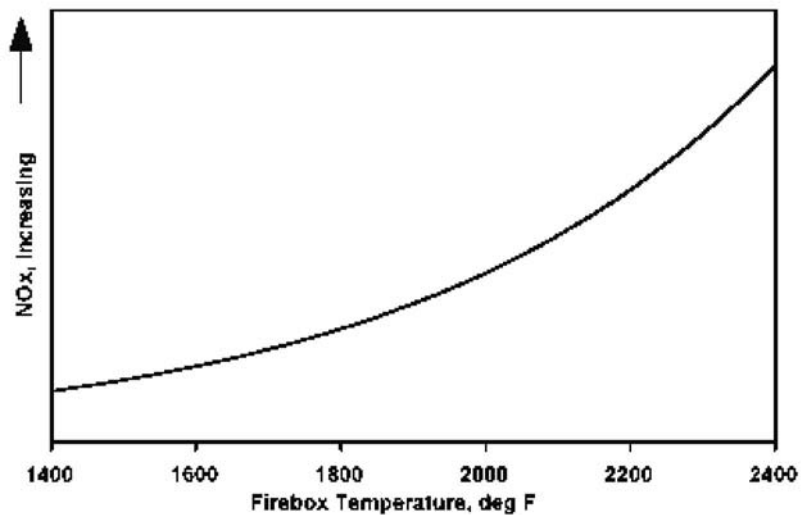
Pra-pemanasan udara mempengaruhi NO_x terma melalui kesan langsungnya ke atas suhu nyalaan. Pra-pemanasan udara pembakaran menambahkan haba diperlukan kepada bahan tindak balas nyalaan, yang mana meningkatkan haba pada hasil pembakaran dan seterusnya menaikkan suhu nyalaan. Rajah 2.14 menunjukkan kesan suhu pra-pemanasan udara ke atas NO_x . Perhatikan yang NO_x pada asasnya naik secara eksponen dengan peningkatan suhu udara pra-pemanasan. Satu jangkauan yang boleh dibuat berasaskan pengalaman industri adalah emisi NO_x terma akan berganda, dengan suhu udara pembakaran naik dari suhu sekeliling hingga ke tahap kira-kira 500°F ke 600°F.



Rajah 2.14 NO_x melawan suhu udara pembakaran (Waibel R.T. et al, 1993)

2.10.3.4 Suhu relau

Kesan suhu relau ke atas NO_x ditunjukkan dalam Rajah 2.15. Suhu relau mempengaruhi emisi NO_x terma melalui kesannya ke atas kadar pemindahan haba dari nyalaan, dan ia mendatangkan kesan kepada suhu sebenar yang dapat dicapai oleh zon nyalaan. Lebih rendah suhu relau, lebih tinggi kadar pemindahan haba dari nyalaan dan seterusnya lebih rendah suhu sebenar nyalaan puncak di dalam zon nyalaan. Suhu nyalaan puncak yang rendah bermakna emisi NO_x terma juga rendah.



Rajah 2.15 NO_x melawan suhu relau (Waibel R.T. et al, 1993)

2.11 Kecekapan pembakaran

Kecekapan pembakaran bagi pembakar lapisan terbendalir dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berikut : tahap udara lebihan, suhu lapisan, halaju perbendaliran dan masa mastautin partikel.

2.11.1 Tahap udara lebihan

Tahap udara lebihan mempunyai pengaruh besar ke atas kecekapan pembakaran apabila abu terbang tidak dikitar semula. Pembakaran bahan api yang tidak lengkap akan menghasilkan karbon monoksida dan menyebabkan pengurangan pada kecekapan pembakaran. Membekalkan udara lebihan kepada lapisan boleh menyelesaikan masalah ini. Eksperimen-eksperimen telah dijalankan (I. Gulyurtlu, 1989) dengan partikel sisa

kayu antara 2 mm dan 3 mm disalurkan daripada atas lapisan dan telah menunjukkan kebanyakan pembakaran berlaku di dalam zon lambung bebas dan dikawal oleh udara lebihan. Dalam pembakaran sisa kayu, udara lebihan melebihi 45% menggalakkan pergerakan partikel yang tidak bakar dan mengurangkan kecekapan pembakaran.

2.11.2 Suhu lapisan

Suhu lapisan juga satu faktor mempengaruhi kecekapan pembakaran. Meningkatkan suhu akan membawa kepada peningkatan dalam kecekapan pembakaran. Kehilangan haba semasa proses pembakaran juga mengurangkan kecekapan. Faktor-faktor yang memberi kesan ke atas kecekapan adalah kehilangan haba melalui :

- a) Gas ekzos
- b) Lambung bebas dan lapisan
- c) Pembentukan air daripada hidrogen di dalam bahanapi
- d) Pengeringan proses bahanapi

2.11.3 Halaju perbendaliran

Kecekapan pembakaran boleh ditingkatkan dengan meningkatkan halaju perbendaliran. Halaju perbendaliran yang tinggi boleh menyebabkan gelora lapisan meningkat dan menghasilkan percampuran yang lebih baik antara bahanapi dan bahan media di dalam lapisan.

2.11.4 Masa mastautin

Masa mastautin keseluruhan bagi partikel bahanapi di dalam zon pembakaran (pada suhu tinggi yang bersesuaian) adalah penting untuk kecekapan pembakaran. Masa mastautin dipengaruhi oleh ketinggian lapisan dan lambung bebas. Meningkatkan ketinggian lambung bebas boleh meningkatkan masa mastautin, lalu kecekapan juga meningkat.

Kecekapan pembakaran juga boleh ditingkatkan dengan memasang sistem pengitaran semula untuk mendapatkan semula bahanapi yang tidak terbakar lengkap.

2.12 Kelebihan dan kekurangan lapisan terbendalir

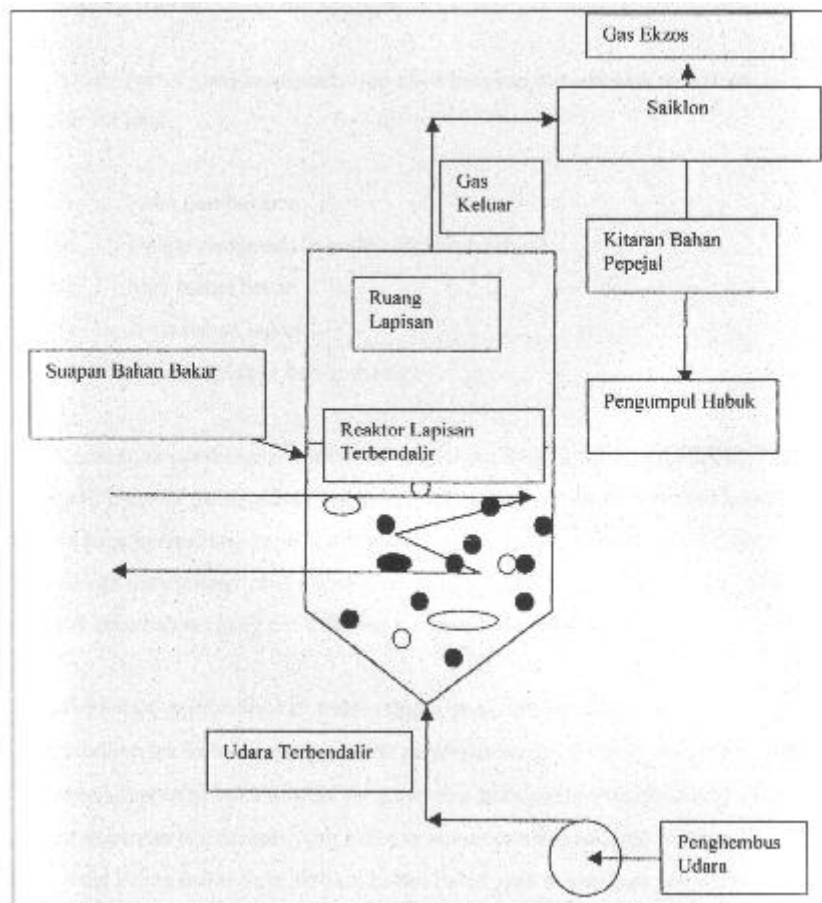
Lapisan terbendalir memiliki ciri-ciri yang diingini dan yang tak diingini. Kelebihan lapisan terbendalir adalah:

1. Emisi SO₂ yang rendah
2. Emisi NO_x yang rendah berpunca dari pemeringkatan
3. Hanya Nitrogen ikatan bahanapi bertukar ke NO_x
4. Kecekapan pembakaran yang tinggi
5. Boleh menggunakan pelbagai jenis bahanapi termasuk:
 - a. Sulfur tinggi
 - b. BTU rendah
 - c. Habuk tinggi
 - d. Kos rendah
 - e. Sisa buangan
6. Kecekapan dandang yang tinggi (85% ke 95%)
7. Perubahan beban melebihi 5% per minit
8. Peniup jelaga putar boleh digunakan
9. Tiada timbunan habuk arang batu
10. Penyelenggaraan rendah
11. Habuk kering
12. Boleh menerima arang batu dengan kualiti yang berbeza
13. Tidak perlukan penggahar (scrubber) untuk penyingkirkan sulfur

Kekurangan lapisan terbendalir:

1. Prosidur untuk menghidupkannya adalah rumit
2. Tindakbalas kawalan hampir serta-merta
3. Penggunaan penurunan separa lapisan (partial bed slumping) sebagai mekanisme

- kawalan beban untuk gelembung lapisan
4. Perlunya sebuah lambung bebas untuk kecekapan pembakaran bagi gelembung lapisan
 5. Penghakistan di dalam gelembung lapisan
 6. Nisbah kalsium-sulfur lebih dari 2.5 membawa menurunkan kecekapan dandang
 7. Lapisan terbendalir adalah teknologi baru berbanding dandang konvensional
 8. Sistem suapan bahanapi bawah lapisan yang kompleks bagi beberapa gelembung lapisan



Rajah 2.16 Rajah Skematik Pembakaran Lapisan Terbendalir

METODOLOGI

3.1 Pengenalan

Terdapat beberapa komponen asas di dalam sebuah pembakar lapisan terbendalir. Komponen-komponen bagi pembakar lapisan terbendalir terdiri daripada:

- a. Reaktor Pembakaran
- b. Sistem pengagihan udara (tuyere)
- c. Bahan Lapisan (bed material)
- d. Sistem suapan bahan bakar (Hopper)
- e. Unit Lambung Bebas (Freeboard Unit)
- f. Siklon dan pengumpul bahan bakar
- g. Sistem pemberian udara utama dan berperingkat

3.2 Reaktor pembakaran

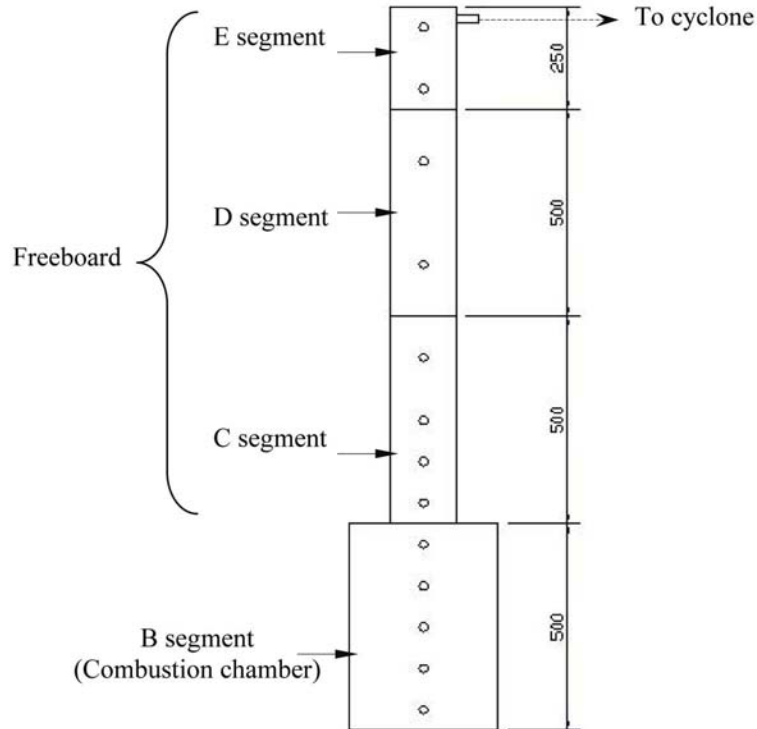
Secara asasnya, reaktor pembakaran menyediakan ruang untuk pembakaran bahan bakar. Semasa reaktor beroperasi, bahan lapisan dan bahan api yang terbakar adalah diterbendalirkan bersama di dalam ruang pembakaran. Suhu di dalam ruang pembakaran merupakan yang paling tinggi di dalam keseluruhan proses pembakaran. Walaupun suhu operasi bagi unit pembakaran adalah 750°C , suhu di dalam ruang pembakaran boleh mencapai sehingga 1000°C atau lebih. Untuk itu, adalah penting

untuk bahan reaktor mampu bertahan dengan suhu seperti ini tanpa pengoksidaan keterlaluan dan tekanan terma, agar tiada kecatatan bentuk dan herotan yang jelas.

Tiub berbentuk silinder yang digunakan sebagai ruang pembakaran diperbuat daripada keluli tahan karat. Untuk mengelakkan kecacatan bentuk dan herotan, tiub ini mempunyai ketebalan sekurang-kurangnya 3 mm. Kesemua tiub-tiub yang lain yang disambung ke ruang pembakaran adalah diperbuat daripada keluli tahan karat. Memandangkan penutup luaran dilindungi daripada keadaan operasi yang keterlaluan oleh bahan tahan panas, keluli lembut telah digunakan dan bukannya keluli tahan karat.

Untuk meminimakan kehilangan haba menerusi dinding ruang pembakaran, penebat haba diperlukan. Sejenis bahan tahan panas dipilih untuk tujuan ini. Ia adalah Pencrete 24/74F dengan pengaliran terma, $k = 0.37 \frac{W}{m \cdot K}$.

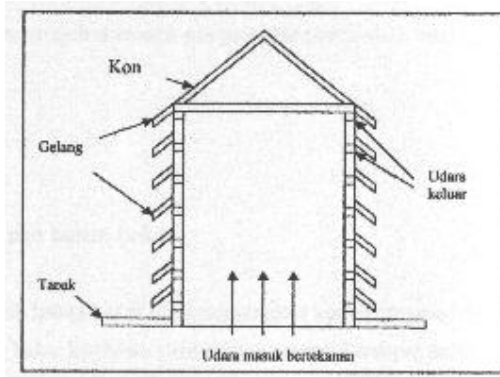
Reaktor pembakaran ini mempunyai empat bahagian yang mempunyai sifat kebolehsalingtukaran yang mana bahagian ini diikat menggunakan bolt dan gasket bagi mengelakkan kebocoran semasa pengoperasian. Oleh itu, ia mudah untuk diselenggara apabila perlu. Setiap bahagian mempunyai ketinggian yang berbeza-beza dan boleh dipecahkan kepada beberapa bahagian tertentu iaitu bahagian B, C, D, dan E. Bahagian C, D, dan E masing-masing mempunyai ketinggian 0.5m, 0.5m, dan 0.25m. Bahagian paling bawah adalah ruang pembakaran dan tempat lapisan statik. Bahagian E adalah bahagian yang teratas sekali dan ia dihubungkan kepada siklon dan masukan udara tambahan. Rajah 3.1 menunjukkan bahagian reaktor pembakaran.



Rajah 3.1 Skematik Reaktor Pembakaran

3.3 Sistem pengagihan udara (tuyere)

Komponen pengagihan udara ini adalah bertujuan untuk memberikan atau mengagihkan udara dengan seragam ke atas lapisan statik bagi membentuk lapisan terbendalir di dalam ruang pembakaran. Udara yang melalui komponen pengagihan udara ini akan mengalami kejatuhan tekanan pada turus tertentu. Komponen ini terletak di bahagian bawah ruang pembakaran. Udara akan dihembus dari bawah untuk menaikkan bahan lapisan ke atas bagi membentuk keadaan gelora ataupun gelembung-gelembung. Dalam kajian ini, plat pengagihan tunggal digunakan. Dan liang udara dilindungi oleh topi (caps) bagi mengelakkan daripada dimasuki oleh bahan media lapisan. Ia mempunyai banyak liang udara di sekelilingnya dan bahagian atas berbentuk kon. Komponen ini mempunyai tujuh baris secara mendatar yang mempunyai 84 liang udara di mana setiap baris mempunyai 12 liang udara. Diameter liang ialah 2.67mm. Rajah 3.2 menunjukkan komponen pengagihan udara.



Rajah 3.2 Alat Pengagihan udara

Oleh kerana salah satu komponen terdedah secara langsung kepada pembakaran bahan bakar, kemampuan pengagih udara bertahan dengan suhu yang tinggi amat penting. Faktor ini perlu diambil kira semasa memilih bahan untuk pengagih udara. Keluli lembut tidak sesuai kerana ia mudah dioksidakan pada suhu yang tinggi.

Keluli tahan karat adalah yang terbaik. Tegasan terma adalah amat tinggi di bawah keadaan operasi yang melampau. Jika diambil kira kekuatan keluli tahan karat, ia mampu menahan tegasan terma ini. Disebabkan itu, keseluruhan pengagih udara diperbuat daripada keluli tahan karat, termasuklah bebibir (flange).

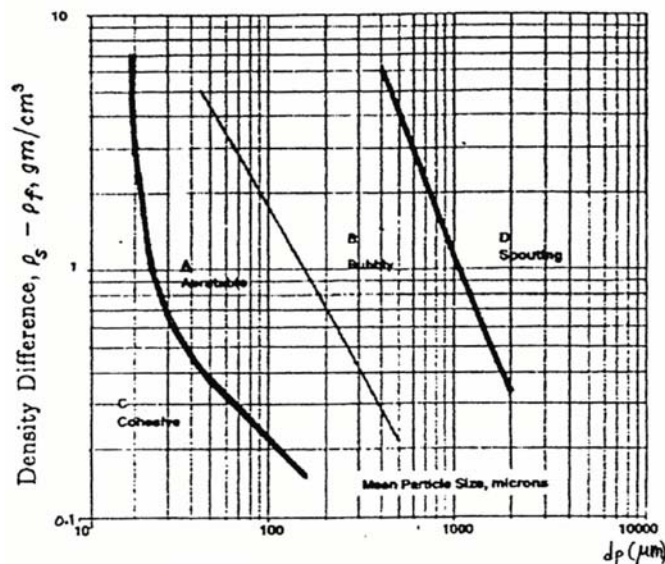
3.4 Bahan lapisan

Dalam kaedah pembakaran lapisan terbendalir, bahan lapisan adalah merupakan faktor utama dalam operasi ini. Bahan lapisan ini hendaklah mempunyai kriteria tertentu iaitu:

- Kestabilan kimia bahan media lapisan pada suhu kerja yang tinggi
- Bahan media lapisan ini tidak bertindakbalas dengan bahan bakar atau campuran bahan media yang lain
- Jumlah baki bahan media lapisan mestilah sama arasnya sebelum ataupun selepas operasi pembakaran

- Saiz bahan media lapisan yang dipilih hendaklah yang di sesuaikan dengan jenis ('minimum fluidised', 'bubbling bed', 'spouting bed' atau 'slugging bed'). Bagi kajian ini, jenis 'bubbling bed' telah digunakan.
- Bahan media perlu mempunyai nilai haba yang tinggi iaitu keupayaan menyimpan atau mengurangkan haba semasa proses pembakaran
- Bahan media lapisan adalah bahan perantaraan bagi membakar bahan bakar kerana proses pembakaran adalah secara berterusan. Oleh tu, bahan media hendaklah mampu menyerap haba apabila bahan bakar terbakar dan membebaskan haba apabila bahan bakar tidak terbakar.

Oleh yang demikian, pemilihan bahan media lapisan adalah berdasarkan kepada kaedah Geldart yang mana ia dibahagikan kepada jenis partikel A, B, C, dan D. Perbezaan jenis partikel Geldart memberikan perbezaan keadaan terbendalir. Rajah 3.3 menunjukkan kategori partikel bahan media lapisan yang di buat oleh Geldart pada tahun 1973.



Rajah 3.3 Klasifikasi Partikel Geldart pada Keadaan Ambient

Partikel jenis A adalah lebih kecil dan lebih ringan dengan saiz partikel sekitar 20 ke 100 mikrons. Apabila kelajuan ditingkatkan lapisan terus berkembang dengan lancar tanpa pembentukan gelembung. Suatu tahap tertentu akan dicapai apabila gelembung mula terhasil.

Partikel jenis B berada dalam kumpulan yang dipanggil *bubbly*. Perlakuan mereka seperti pasir pantai. Bahan padat seperti kaca, pasir dan partikel ringan sekitar 150 mikrons selalunya adalah berjenis B.

Untuk jenis C, partikel adalah lebih kecil dan lebih ringan berbanding partikel jenis A dan mereka dicirikan sebagai menjeleket (*cohesive*). Saiz mereka biasanya kurang dari 20 mikrons.

Partikel jenis D adalah besar, dalam turutan 1 mililiter atau lebih (1000 mikrons). Mereka berbeza dari partikel kumpulan B dari segi apabila halaju meningkat, jet boleh terbentuk di dalam lapisan dan bahan kemudiannya boleh ditiup keluar.

Pasir adalah bahan lapisan yang baik menurut kajian yang dibuat ke atasnya. Pertama sekali, ianya mudah untuk diperolehi. Pasir memiliki takat lebur yang amat tinggi. Bermakna, pasir amat stabil di bawah suhu operasi 750°C. Atas alasan ini, pasir tidak akan bertindakbalas dengan bahan lain di dalam lapisan untuk membentuk campuran atau sebatian. Pasir sepatutnya kekal sama di sepanjang operasi unit pembakaran. Pasir memiliki kapasiti menyimpan haba yang besar dan haba spesifik yang besar yang mana jangkannya adalah 840 J/KgK. Bagaimanapun, haba spesifik yang besar bermakna lebih banyak masa diperlukan untuk memanaskan lapisan hingga mencapai suhu operasi.

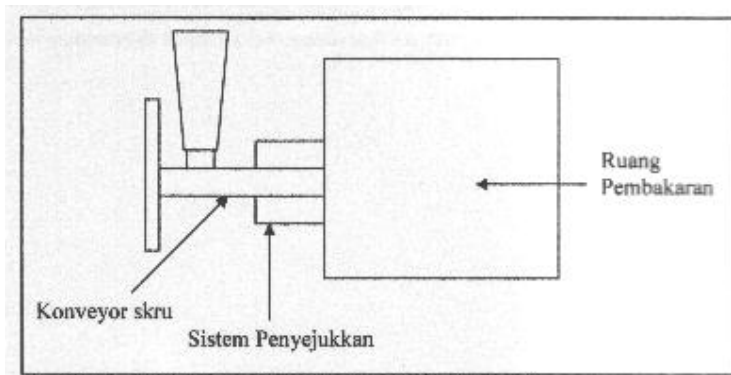
Kebiasaannya, pasir diklasifikasikan sebagai partikel Geldart A, partikel Geldart B atau partikel Geldart C bergantung kepada saiznya dan kebendaliran udara bendalir. Beberapa jenis pasir dilihat sebagai bersesuaian namun yang dipilih adalah jenis pasir bulat. Ia memiliki ketumpatan, $\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$ dan *sphericity*, $\Phi_s = 0.67$ (Geldart, 1986). Disebabkan kekangan penurasan, ciri-ciri pasir yang dikehendaki ditetapkan pada diameter 300 μm . Ketinggian pasir adalah 10 sm, sama dengan ketinggian sebelah atas penutup pengagih udara. Dengan merujuk kepada Rajah 3.3, pasir yang digunakan adalah partikel Geldart jenis B.

3.5 Sistem suapan bahan bakar

Seperti unit pembakar konvensional yang lain, pembakar lapisan terbendalir memerlukan suapan bahan bakar yang berterusan semasa operasinya. Tugas ini dilakukan oleh sistem suapan bahan bakar. Pembakar lapisan terbendalir boleh beroperasi dengan pelbagai jenis bahan bakar. Untuk itu, terdapat pelbagai jenis sistem suapan bahan bakar. Terdapat pelbagai jenis kaedah suapan dilakukan iaitu sama ada cara graviti, penyuaipan taburan atau pneumatik.

Sistem suapan bahan bakar ini dalam kajian ini menggunakan konveyor skru bagi proses memasukkan bahan bakar ke dalam ruang pembakaran. Konveyor skru sesuai untuk bahan bakar kering. Penggunaan konveyor ini memberikan kadar suapan yang seragam dan kadar alir suapan bahan bakar boleh dilakukan mengikut skala tertentu. Kadar alir dilakukan berperingkat-peringkat dan yang minimum adalah 20 g/min atau berpadanan dengan 5-6 ppm. Di dalam kajian ini, kadar bahan bakar adalah 75 g/min.

Pada bahagian masukan sistem suapan ini, dipasang satu sistem penyejuk bagi mengelakkan bahan bakar yang masuk ke ruang pembakaran terbakar dan hangus sebelum memasuki ruang pembakaran. Keadaan ini boleh mencacatkan proses pembakaran dan pada masa yang sama akan mempengaruhi bacaan yang diambil oleh alat penganalisa gas. Ini disebabkan suhu pembakaran adalah tinggi iaitu sekitar 700°C hingga 1000°C. Rajah 3.4 menunjukkan gambarajah skematik alat suapan bahan bakar berserta sistem penyejukan.



Rajah 3.4 Skematik Alat Suapan Bahan bakar

3.6 Unit lambung bebas

Fungsi lambung bebas secara asasnya adalah untuk meningkatkan masa mastautin bahan bakar bagi memastikan pembakaran bahan bakar yang lebih lengkap. Apabila partikel bahan bakar dibakar saiznya akan mengurang. Berat bahan bakar terbakar berkurangan, halaju tamatan (terminal velocity) juga berkurangan. Pada ketika halaju tamatan partikel dicapai, partikel akan teriring (entrained) namun ia belum lagi terbakar dengan lengkap. Semasa partikel ini bergerak disepanjang lambung bebas, pembakaran partikel bahan bakar yang lebih kecil masih boleh berlaku. Disebabkan ini, bahan bakar yang masih tak terbakar di dalam ekzos akan berkurangan.

Lambung bebas dalam kajian ini direkabentuk sebegitu rupa agar mempunyai diameter dalaman yang sama dengan ruang pembakaran iaitu 164 mm. Dengan ini, tidak perlu membeli tiub keluli tahan karat yang lain dengan diameter yang lebih besar.

Ketinggian lambung bebas adalah 1.25 m dan tiub silinder untuk unit lambung bebas mempunyai ketebalan 3 mm. Dengan ketinggian 1.25 m, lambung bebas ini mudah untuk difabrikasi, namun ia agak sukar dikendali dan dipasang. Cadangan dibuat agar unit lambung bebas dipisahkan kepada beberapa segmen. Ia telah disegmenkan kepada C, D dan E. Panjang segmen-segmen ini adalah 0.5 m, 0.5 m dan 0.25 m.

Segmen paling bawah, C berada di atas ruang pembakaran (segmen B). Segmen tengah, D dipasang antara segmen C dan segmen paling atas, E. Kemudian siklon dipasang pada segmen E. Ketinggian salur keluar ekzos ke saiklon adalah bersamaan dengan ketinggian lambung bebas.

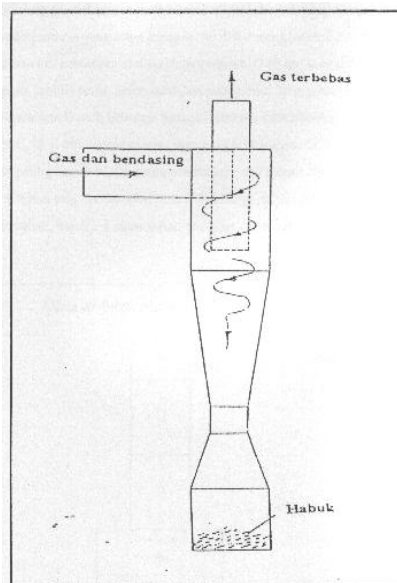
Unit lambung bebas beroperasi pada suhu yang tinggi di sekitar 200°C – 500°C. Suhu operasi kurang sedikit berbanding di ruang pembakaran. Unit lambung bebas difabrikasi daripada tiub keluli tahan karat dengan ketebalan 3 mm. Manakala bebibir (flanges) bagi segmen-segmennya diperbuat daripada helaian keluli lembut dengan ketebalan 5 mm. Rajah 3.1. menunjukkan segmen-segmen unit lambung bebas.

3.7 Siklon dan pengumpul bahan bakar

Siklon juga merupakan bahagian penting bagi kajian ini. Pembakaran tempurung kelapa sawit akan membebaskan gas dan habuk. Gas perlu diasingkan dari abu sebelum dibebaskan ke udara persekitaran kerana emisi abu boleh menjejaskan kesihatan. Siklon diperbuat daripada keluli tahan karat dan bertujuan untuk mengasingkan gas-gas dan partikel lain hasil daripada pembakaran. Konsep kerja siklon adalah seperti berikut:

Siklon ini akan memerangkap zarah-zarah daripada terbebas ke udara kesan daripada tindak balas kecil yang berlaku di dalam siklon di mana gas disejukkan dengan dengan cara kehilangan haba pada bahagian dinding saiklon. Gas hasil pembakaran dan habuk akan melalui saluran ke siklon lalu berpusar ke bawah. Pusaran diikuti dengan halaju yang tinggi akan menghasilkan satu daya empur dan akan mengasingkan habuk dari gas hasil pembakaran.

Pengumpul habuk pula adalah tempat mengumpulkan habuk setelah terpisah daripada gas-gas pembakaran. Habuk yang terkumpul pada bahagian pengumpul habuk boleh dibuang dengan cara membuka tabung pengumpul tersebut. Rajah 3.5 menunjukkan gambarajah skematik komponen siklon dan pengumpul habuk serta cara kerjanya.



Rajah 3.5 Skematik Siklon dan Pengumpul Habuk

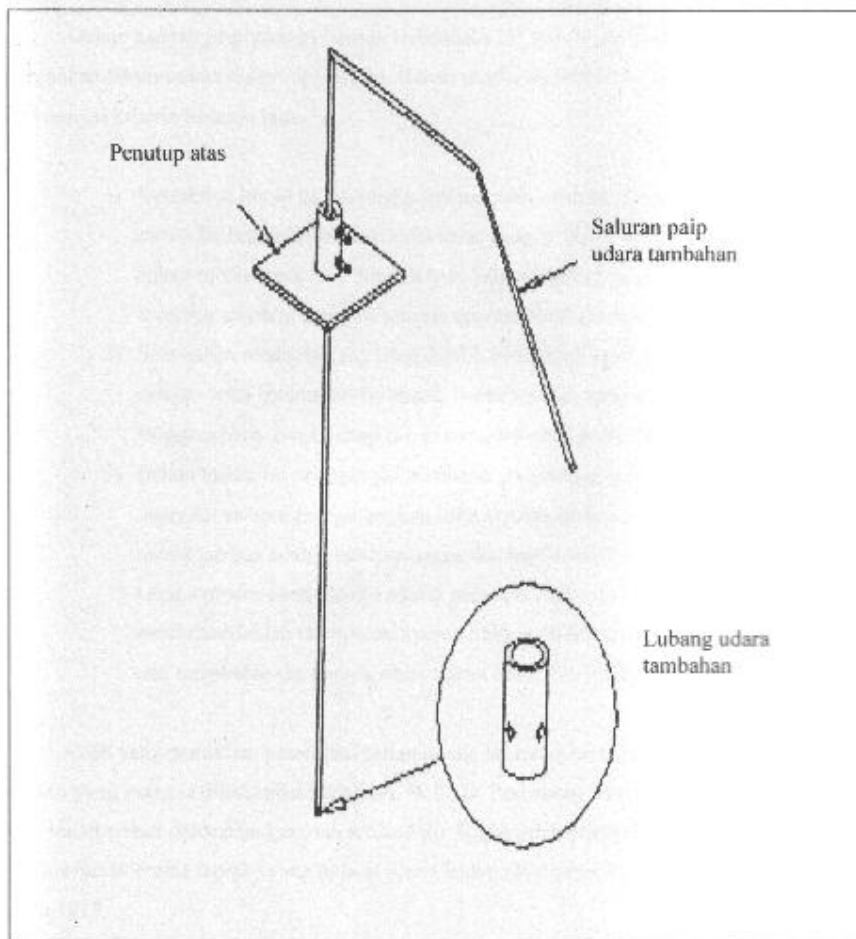
3.8 Sistem pemberian udara utama dan berperingkat

Kaedah pemberian udara berperingkat ini adalah merupakan satu kaedah bagi mengurangkan kadar pancaran (emisi) semasa proses pembakaran iaitu NO_x, CO dan gas-gas lain hasil pembakaran. Penambahan udara ini akan mengikut nisbah udara bahan bakar yang mana secara tidak langsung ia akan mengurangkan kadar pancaran semasa proses pembakaran.

Penambahan udara ini akan mengatasi masalah proses pembakaran yang tidak lengkap di dalam ruang pembakaran dan ianya akan disalurkan selepas bahan bakar mengalami proses pembakaran yang stabil dan akan berterusan dibekalkan. Seperti yang diketahui, terjadinya pancaran CO adalah disebabkan proses pembakaran kekurangan oksigen iaitu secara stoikiometri iaitu O₂ / mol bahan bakar. Oleh itu, dengan menambah udara ia akan memberikan O₂ yang cukup untuk proses pembakaran.

Penggunaan udara tambahan akan merendahkan suhu pembakaran dan secara tidak langsung ia akan mengurangkan penghasilan NO_x yang mana NO_x terhasil disebabkan suhu pembakaran yang tinggi. Udara berperingkat ini disalurkan melalui satu tiub yang berdiameter luar 12.8mm dan diameter dalam 9.55mm dan panjang tiub adalah 1.9m. Udara diagihkan ke bahagian kebuk pembakaran melalui lubang-lubang kecil yang terdapat di bahagian hujung tiub dalam ruang pembakaran. Penghantaran udara berperingkat ini di kawal oleh injap iaitu bagi memberikan udara secara berperingkat ke ruang pembakaran. Bacaan pancaran di ambil menggunakan penganalisa gas yang menunjukkan bacaan kandungan hasil pembakaran.

Penghasilan NO juga dapat dikurangkan kerana NO terhasil daripada halaju pada tindakbalas pembakaran semasa nyalaan. Udara tambahan yang dimasukkan akan mengurangkan halaju tindakbalas pembakaran semasa nyalaan. Rajah 3.6 menunjukkan komponen penambahan udara berperingkat dan dalam bulatan menunjukkan bahagian hujung yang mengagihkan udara tambahan.



Rajah 3.6 Skematik Alat Penghantaran Udara Tambahan

3.9 Bahan bakar

Bahan bakar dalam pembakaran lapisan terbendalir adalah pelbagai iaitu sama ada tempurung kelapa, hasil sekerap kayu bergergaji, arang batu, tempurung kelapa sawit dan bahan-bahan buangan lain sama ada cecair atau pepejal. Parameter yang diambil kira di dalam pemilihan bahan bakar ialah:

- a. Nilai kalori bahan bakar
- b. Kebolehdapatan bahan bakar
- c. Peratus kelembapan bahan bakar
- d. Mudah untuk dibakar iaitu pada suhu nyalaan
- e. Saiz atau faktor kecekapan suapan
- f. Mudah untuk terbendalir

Di dalam kajian ini, bahan bakar yang digunakan ialah tempurung kelapa sawit yang mana bahan bakar ini telah di perolehi daripada kilang kelapa sawit tempatan. Tempurung kelapa sawit ini melalui proses pengeringan sama ada secara pemanasan matahari atau pemanasan ketuhar. Tempurung kelapa sawit ini kemudiannya dikisar kepada saiz yang bersesuaian dengan dimensi suapan masukan konveyor skru iaitu di antara 1.18mm hingga 4.25mm. Rajah 3.7 di bawah menunjukkan saiz asal tempurung kelapa sawit dan saiznya selepas dikisar. Ia dikisar dan diayak agar tinggal partikel bersaiz dalam julat 1.18 mm hingga 4.25 mm.



Rajah 3.7a Tempurung kelapa sawit sebelum dikisar



Rajah 3.7b Tempurung kelapa sawit selepas dikisar

Analisis pencirian tempurung kelapa sawit yang telah digunakan adalah seperti berikut:

Jadual 3.1 Analisa 'proximate' (anggaran) bagi tempurung kelapa sawit

Analisa Proximate (%)	
Moisture	9.7
Volatile	67
Fixed Carbon	21.2
Ash	2.1

Jadual 3.2 Analisa 'Ultimate' dan nilai kalori tentu tempurung kelapa sawit

Analisa Ultimate (%)	
Karbon (C)	47.62
Hidrogen (H)	6.2
Oksigen (O)	43.38
Nitrogen (N)	0.7
Sulfur (S)	-
Nilai kalori tentu (MJ/kg)	19.1

3.10 Metodologi kajian

3.10.1 Pengenalan

Beberapa parameter-parameter penting perlu ditentukan terlebih dahulu bagi memastikan kelancaran proses kajian dan mendapatkan keputusan yang baik. Di antara parameter-parameter yang penting ialah:

- a. Kadar suapan dan saiz bahan bakar tempurung kelapa sawit
- b. Penentuan kuantiti serta saiz bahan media pembakaran (pasir silika)
- c. Kadar alir udara utama dan sekunder

Penyediaan bahan bakar iaitu tempurung kelapa sawit juga penting bagi menjamin kelancaran proses pembakaran. Bahan bakar terlebih dahulu dikeringkan sebelum proses pembakaran. Selepas bahan bakar melalui proses pengeringan maka proses selanjutnya ialah mengisar serta mengredkan bahan bakar mengikut keperluan kajian.

3.10.2 Proses pengeringan tempurung kelapa sawit

Tempurung kelapa sawit yang diperolehi daripada kilang kelapa sawit tempatan adalah dalam keadaan kelembapan yang tinggi. Justeru itu, proses pengeringan adalah perlu sebelum proses pembakaran dilakukan. Tempurung kelapa sawit ini dikeringkan dengan menjemurkannya di bawah sinaran matahari.

3.10.3 Proses pengredan tempurung kelapa sawit

Setelah kesemua tempurung kelapa sawit menjalani proses pengeringan, maka bahan bakar ini akan menjalani proses pengredan ataupun tempurung kelapa sawit ini akan dikisar atau dipecahkan kepada saiz-saiz tertentu. Proses pengisaran ini dilakukan dengan menggunakan mesin pengisar yang terdapat di Makmal Struktur dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan Awam, UTM. Saiz yang diambil bagi kajian ini ialah di antara 1.18 mm hingga 4.25 mm.

3.11 Persediaan melakukan ujikaji

Sebelum ujikaji dijalankan, beberapa pemeriksaan perlu dilakukan ke atas rig pembakar lapisan terbendalir agar kesemua peralatan berfungsi dengan baik bagi mengelakkan berlakunya perkara yang tidak diingini.

Bahan media pembakaran iaitu pasir silika dimasukkan ke dalam ruang pembakaran utama dengan isipadu sejumlah 1 kilogram dan dalam keadaan statik. Bahagian penyejuk adalah dalam keadaan terkawal dan kadar alir udara adalah sifar. Alat pengganding haba juga dipastikan berada di kedudukan yang betul dan dalam keadaan baik. Paip penghantaran udara utama diperiksa bagi mengelakkan berlakunya kebocoran agar udara bertekanan yang dihantar ke ruang pembakaran mencukupi. Alat pemanas juga dipastikan dalam keadaan baik iaitu penunu dengan gas LPG bagi melakukan pra-pemanasan.

Pengurangan kadar pencemaran udara dapat diperolehi melalui bacaan daripada alat penganalisa gas Quintox. Bacaan suhu adalah diambil menggunakan pengganding haba. Jumlah tekanan semasa proses pembendaliran juga perlu diketahui iaitu melalui bacaan pada tiub manometer yang disambungkan kepada paip aliran udara utama.

3.12 Pengiraan data bahanapi untuk digunakan oleh peralatan analisis gas

Nilai kalori bersih, nilai kalori kasar dan komposisi bahanapi boleh diperolehi daripada analisa bahanapi. Data bahanapi yang berikutnya telah dikira dengan merujuk kepada pengiraan kecekapan.

Komposisi kimia tempurung kelapa sawit adalah:

C	47.62%	Q_{net}	17.19 MJ/kg
H ₂	6.2%	Q_{gr}	19.1 MJ/kg
H ₂ O	9.7%	Max CO ₂	15.98%

$$\begin{aligned}
 (\text{CO}_2)_{\max} &= \frac{\frac{C_{fuel}}{12}}{\frac{4.78C_{fuel}}{12} + \frac{1.89H_{fuel}}{2}} \times 100\% \\
 (\text{CO}_2)_{\max} &= \frac{\frac{47.62}{12}}{\frac{4.78(47.62)}{12} + \frac{1.89(6.2)}{2}} \times 100\% \\
 &= \frac{3.9683}{18.9686 + 5.859} \times 100\% \\
 &= 15.98\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K1n &= (255\% \times \% \text{ karbon dalam bahanapi}) / Q_{\text{net}} \text{ (KJ/Kg)} \\
 &= (255 \times 47.62) / 17190 \\
 &= 0.706
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K1g &= (255\% \times \% \text{ karbon dalam bahanapi}) / Q_{\text{gr}} \text{ (KJ/Kg)} \\
 &= (255 \times 47.62) / 19100 \\
 &= 0.636
 \end{aligned}$$

$$K2 = \text{Max \% CO}_2 = 15.98$$

$$\begin{aligned}
 K3 = \text{Wet Loss} &= [(9 \times \%H_2 + \%H_2O) / 19100] \times 2425 \\
 &= [(9 \times 6.2\% + 9.7\%) / 19100] \times 2425 \\
 &= 8.32
 \end{aligned}$$

$$K4 = 65 \text{ (anggaran untuk kayu)}$$

$$O_{2r} = 8\%$$

Parameter-parameter dan maksudnya disenaraikan di bawah:

K1g : Pemalar kalorifik kasar bahanapi

K1n : Pemalar kalorifik bersih bahanapi

K2 : Peratus maksimum teoritikal CO₂ (kering)

K3 : Peratus kehilangan lembapan

K4 : Peratus kehilangan karbon tidak terbakar

O_{2r} : Rujukan tahap oksigen

3.12.1 Pengiraan Kecekapan Pembakaran

Pengiraan kecekapan adalah berdasarkan Piawaian British BS 845. Tiga punca kehilangan dikenalpasti dan dikaitkan dengan pembakaran bahan api:

Kehilangan gas serombong : Kehilangan kering gas serombong (Dry flue gas loss)
Kelembapan & hydrogen (Moisture and hydrogen)
Haba deria wap air (Sensible heat of water vapor)
Gas tidak terbakar (Unburned gas)

Kehilangan bahan sisa : Abu (Combustible in ash)
Ayak (Combustible in riddling)
Habuk (Combustible in dust)

Kehilangan lain : Sinaran (Radiation)
Perolakan (Convection)
Pengaliran (Conduction)
Lain-lain kehilangan (Other unmeasured losses)

Pengiraan kecekapan bersih mengandaikan yang tenaga tersimpan di dalam wap air (terbentuk sebagai hasil pembakaran dan daripada bahan api basah) diperolehi semula dan sebutan kehilangan kelembapan adalah sifar. Pengiraan kecekapan kasar pula mengambilkira tenaga tersimpan di dalam wap air tidak diperolehi semula.

Memandangkan campuran bahan api udara tidak pernah konsisten, terdapat kemungkinan adanya bahan api yang tak terbakar atau terbakar sebahagian. Ini diwakili oleh kehilangan karbon tidak terbakar (unburned carbon loss). Kehilangan bahan sisa dan kehilangan lain-lain tidak diambilkira.

Pengiraan kecekapan:

Data bahanapi yang diketahui: Q_{gr} = Nilai kalorik kasar (KJ/Kg)
 Q_{net} = Nilai kalorifik bersih (KJ/Kg)
 $K1$ = Pemalar berdasarkan nilai kalorifik
 $K1g = (255 \times \% \text{ karbon dalam bahanapi}) / Q_{gr}$
 $K1n = (255 \times \% \text{ karbon dalam bahanapi}) / Q_{net}$
 $K2 = \% \text{ Max teoritikal CO}_2 \text{ (kering)}$
 $K3 = \% \text{ Kehilangan lembapan}$

Data yang diukur: T_f = Suhu gas serombong
 T_i = Suhu bahagian masuk
 $O_{2m} = \% \text{ Oksigen dalam gas serombong}$

Data yang dikira: T_{net} = Suhu bersih
 $\% \text{ CO}_2 \text{ dalam gas serombong}$
 $\% \text{ Kehilangan kering gas serombong}$
 $\% \text{ Kehilangan-kehilangan lembapan}$
 $\% \text{ Kecekapan}$

$T_{net} = \text{Suhu gas serombong} - \text{suhu masuk}$

$$\text{Kehilangan kering gas serombong} = \frac{20.9 \times K1n \times T_{net}}{K2 \times (20.9 - \%O_{2m})}$$

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan lembapan (diperudahkan)} &= \frac{9 \times \%H_2 + \%H_2O}{Q_{gr} \times [2488 + 2.1T_f - 4.2T_i]} \\ &= \frac{9 \times \%H_2 + \%H_2O}{Q_{gr}} \times 2425 \times [1 + 0.001T_{net}] \end{aligned}$$

$$\text{Kehilangan lembapan} = K3 (1 + 0.001 T_{net})$$

$$\text{Di mana } K3 = \frac{9 \times \%H_2 + \%H_2O}{Q_{gr}} \times 2425$$

$$\begin{aligned} \text{Kecekapan bersih} &= 100\% - \text{Kehilangan kering gas serombong} \\ &= 100\% - \frac{20.9 \times K1n \times T_{net}}{K2 \times (20.9 - \%O_2m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecekapan kasar} &= 100\% - [\text{Kehilangan kering gas serombong} + \text{Kehilangan} \\ &\quad \text{lembapan}] \\ &= 100\% - \left[\frac{20.9 \times K1n \times T_{net}}{K2 \times (20.9 - \%O_2m)} + K3(1 + 0.001T_{net}) \right] \end{aligned}$$

3.12.2 Analisa bahanapi tempurung kelapa sawit

Dalam kes bahanapi dengan beberapa jujuk, satu kaedah tersusun seperti ditunjukkan boleh digunakan. Setiap jujuk diambil berasingan dan jumlah oksigen yang diperlukan untuk pembakaran lengkap diperolehi dari persamaan kimia. Oksigen di dalam bahanapi dimasukkan dalam jalur bertajuk 'oksigen diperlukan' sebagai kuantiti negatif.

Jadual 3.3 : Proses pembakaran dan persamaan.

	Jisim per kg tempurung kelapa sawit	Persamaan pembakaran	Oksigen diperlukan per kg tempurung kelapa sawit	Produk per kg tempurung kelapa sawit
C	0.4762	$C + O_2 \rightarrow CO_2$ 12 kg + 32 kg \rightarrow 44 kg	$0.4762 \times \frac{32}{12}$ = 1.27 kg	$0.4762 \times \frac{44}{12}$ = 1.75 kg
H	0.0620	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ 1 kg + 8 kg \rightarrow 9 kg	0.062×8 = 0.496 kg	0.062×9 = 0.558 kg H ₂ O
O	0.4338	-	- 0.4338 kg	-
N	0.0070	-	-	0.007 kg N ₂
			Total = 1.3322 kg	

Daripada jadual : O₂ diperlukan per kg tempurung kelapa sawit = 1.3322 Kg

$$\begin{aligned} \text{Maka, udara diperlukan per kg tempurung kelapa sawit} &= \frac{1.3322}{0.233} \\ &= 5.718 \text{ Kg} \end{aligned}$$

(Di mana udara diandaikan mengandungi 23.3% O₂ mengikut jisim)

∴ nisbah A/F (udara/bahanapi) stoikiometrik = 5.718 kg udara/kg bahanapi

3.12.3 Kadar aliran udara

Kadar aliran udara (0% udara lebihan) dikira seperti berikut:

Sifat udara pada 303K, $\rho_{\text{air}} = 1.15 \text{ kg/m}^3$. AF = 5.718 kg udara/kg bahanapi dan $\dot{m}_{\text{fuel}} = 75 \text{ g/min}$.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{air}} &= 75 \text{ g/min} \times 5.718 \\ &= 428.85 \text{ g/min} \\ &= 0.4289 \text{ kg/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{air total}} &= \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\rho_{\text{air}}} \\ &= \frac{0.4289}{1.15} \\ &= 0.373 \text{ m}^3/\text{min} \\ &= 13.17 \text{ CFM} \end{aligned}$$

Daripada $Q_{\text{air total}}$, udara pembakaran dibahagikan kepada udara utama dan udara sekunder. Aliran udara bagi udara utama ke udara sekunder adalah:

- a) Udara utama : udara sekunder, (90:10)
 Udara utama : $13.17 \text{ CFM} \times 0.9 = 11.9 \text{ CFM}$
 Udara sekunder : $0.373 \text{ m}^3/\text{min} \times 0.1 = 0.0373 \text{ m}^3/\text{min}$
 $= 37.3 \text{ liter}/\text{min}$
- b) Udara utama : udara sekunder, (80:20)
 Udara utama : $13.17 \text{ CFM} \times 0.8 = 10.5 \text{ CFM}$
 Udara sekunder : $0.373 \text{ m}^3/\text{min} \times 0.2 = 0.0746 \text{ m}^3/\text{min}$
 $= 74.6 \text{ liter}/\text{min}$
- c) Udara utama : udara sekunder, (70:30)
 Udara utama : $13.17 \text{ CFM} \times 0.7 = 9.2 \text{ CFM}$
 Udara sekunder : $0.373 \text{ m}^3/\text{min} \times 0.3 = 0.1119 \text{ m}^3/\text{min}$
 $= 111.9 \text{ liter}/\text{min}$
- d) Udara utama : udara sekunder, (60:40)
 Udara utama : $13.17 \text{ CFM} \times 0.6 = 7.9 \text{ CFM}$
 Udara sekunder : $0.373 \text{ m}^3/\text{min} \times 0.4 = 0.1492 \text{ m}^3/\text{min}$
 $= 149.2 \text{ liter}/\text{min}$

Bersama udara lebihan, tahap udara berperingkat bagi nisbah udara utama ke udara sekunder ditunjukkan dalam Jadual 3.4.

Jadual 3.4 : Aliran udara untuk 0%, 40% dan 60% udara lebihan di tahap udara berperingkat yang berlainan.

Udara lebihan (%)	Udara utama : Udara sekunder (CFM : liter/min)				
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40
0	13.2 : 0	11.9 : 37.3	10.5 : 74.6	9.2 : 111.9	7.9 : 149.2

40	18.4 : 0	16.6 : 52.2	14.7 : 104.4	12.9 : 156.7	11.0 : 209
60	21 : 0	19 : 59.7	16.9 : 119.4	14.7 : 179	12.6 : 238.7

3.12. 4 Rig ujikaji

Rajah 3.8 menunjukkan skematik rig ujikaji. Ruang pembakaran difabrikasi dari keluli lembut dan ketinggiannya adalah 0.5 m. Reaktor diperbuat daripada tiub keluli berbentuk silinder tahan karat dengan diameter dalaman 164 mm. Keseluruhan rig dibahagi kepada 5 bahagian. Pasir silika digunakan sebagai bahan lapisan. Ketinggian lapisan pasir adalah sama dengan ketinggian pengagih udara.

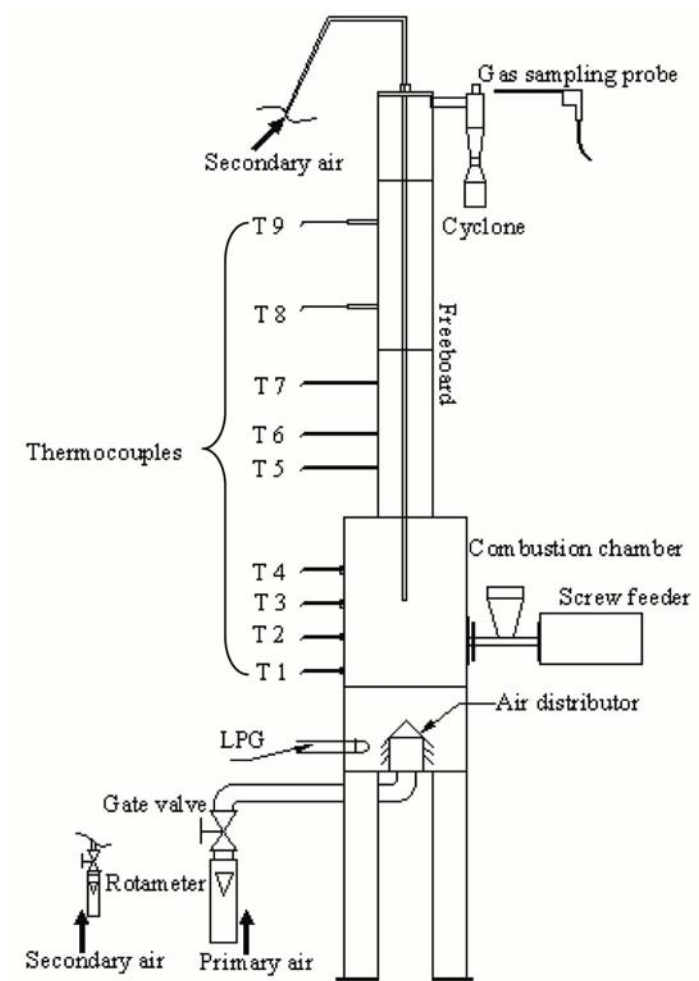
Udara pembakaran dari penghembus disalurkan ke dalam lapisan melalui pengagih udara. Pra-pemanasan reaktor dicapai menggunakan Gas Petroleum Cecair (LPG). Udara sekunder disalurkan pada 400 mm di atas pengagih udara menggunakan tiub keluli tahan karat ID 9.55 mm. Nisbah udara ke bahanapi adalah 5.72 kg udara/kg bahanapi. Gas serombong (flue gas) keluar dari bahagian atas lambung bebas dan memasuki siklon.

Taburan suhu di sepanjang ketinggian lapisan dan lambung bebas dipantau menggunakan pengganding suhu (thermocouples). Sampel gas diambil secara berterusan pada 1.9 m di atas pengagih udara menggunakan peralatan analisa gas. Alat analisa gas yang digunakan adalah Penganalisa Gas Mudah Alih Kane May (Quintox model, U.K.). Saiz partikel tempurung kelapa sawit yang digunakan pula adalah dalam julat 1.18 mm ke 4.25 mm.

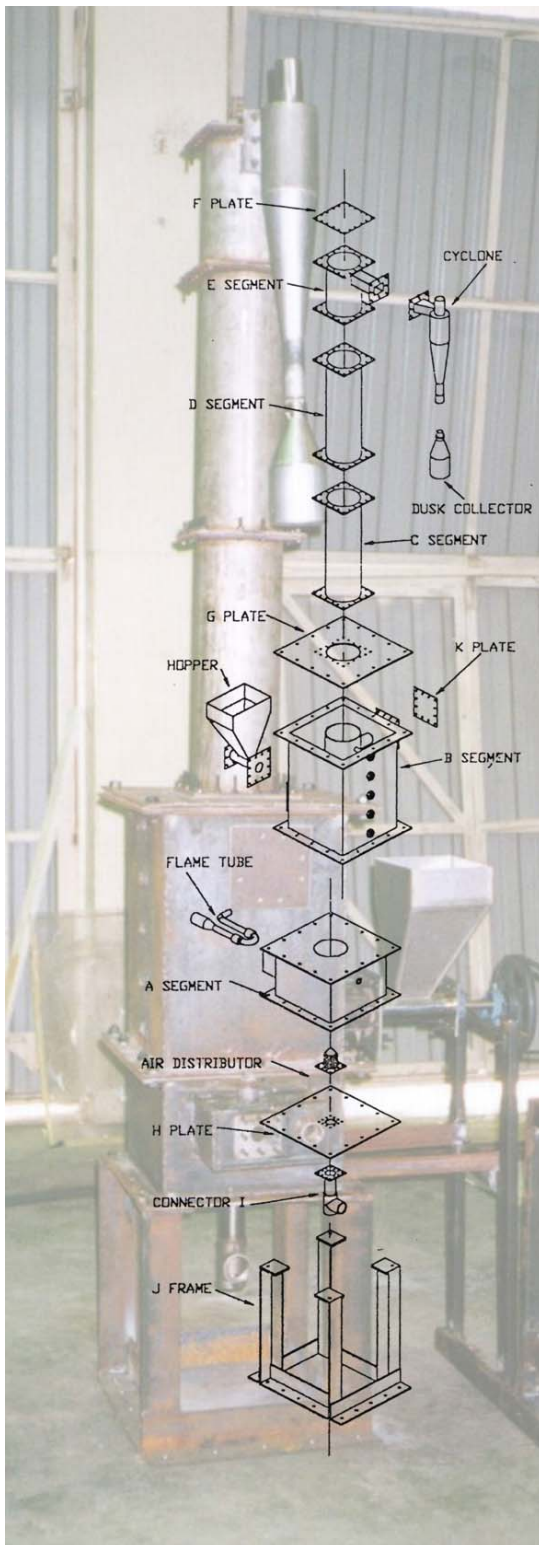
3.12.5 Prosedur ujikaji

Sistem pra-pemanasan dijalankan dengan memperkenalkan nyalaan terus ke dalam ruang pembakaran menggunakan Gas Petroleum Cecair (LPG). Apabila suhu lapisan (dengan bahan lapisan) mencapai 400°C - 450°C, bahanapi disuap ke dalam pembakar secara perlahan-lahan melalui skru penyuap pada kadar 75 g/min untuk saiz

partikel 1.18 - 4.25 mm. Bila suhu mencapai sekitar 950°C dan menjadi stabil, bacaan emisi dari unit pembakaran ini diambil. Sampel gas diambil secara berterusan pada 1.9 m di atas pengagih udara menggunakan alat penganalisa gas. Taburan suhu di sepanjang ketinggian lapisan dan lambung bebas dipantau menggunakan pengganding suhu. Ujikaji dijalankan untuk 0%, 40% dan 60% udara lebihan. Untuk setiap ujikaji, ujian pembakaran udara berperingkat dijalankan dengan nisbah udara sekunder ke udara keseluruhan diubah dari 0 ke 0.4 pada tokokan (increment) 0.1.



Rajah 3.8a Skematik Rig Ujikaji

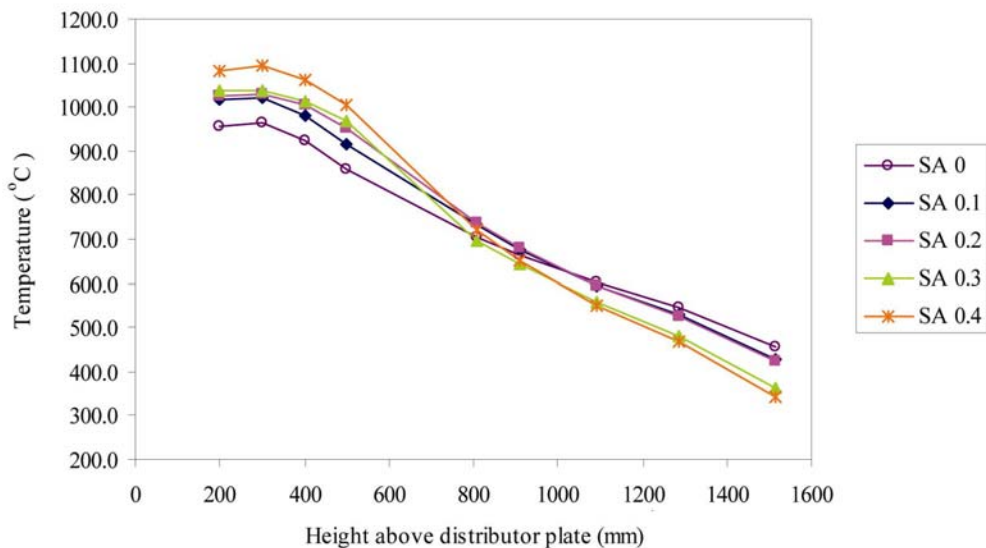


Rajah 3.8b Gambar Rig Ujikaji

DATA DAN PERBINCANGAN

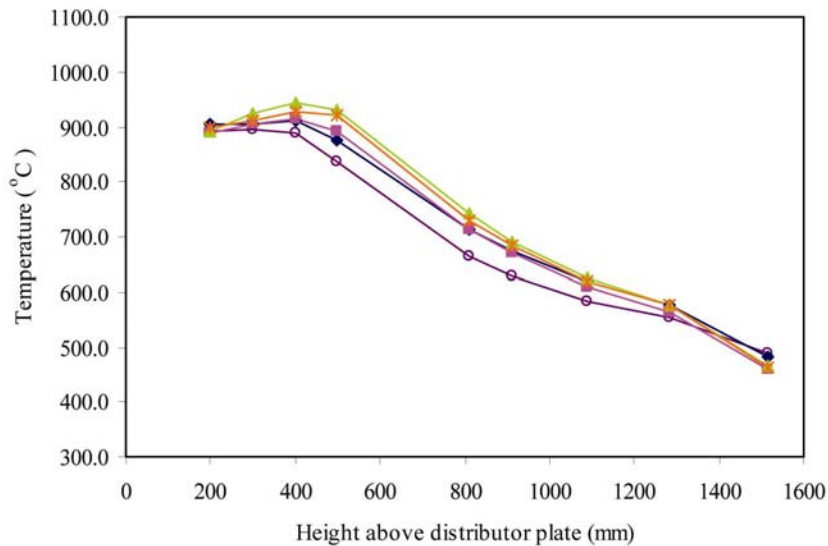
4.1 Kesan udara berperingkat keatas taburan suhu

Rajah 4.1 menunjukkan taburan suhu paksi di sepanjang ketinggian reaktor untuk nilai yang berlainan bagi nisbah udara sekunder (SA). Meningkatkan nisbah udara sekunder akan meningkatkan suhu dalam lapisan tapi pada masa yang sama akan menurunkan suhu lambung bebas. Suhu dalam lapisan meningkat disebabkan udara sekunder yang bertambah. Ini diikuti dengan penurunan udara pembakaran lapisan, seterusnya mengurangkan kehilangan haba perolakan dan meningkatkan masa mastautin partikel. Pembakaran dengan udara berperingkat dengan nilai SA=0.4 memberikan nilai suhu lapisan tertinggi iaitu menjangkau 1100°C. Boleh diperhatikan yang suhu taburan adalah maksimum di dalam lapisan dan menurun berkadaran dengan tinggi reaktor.

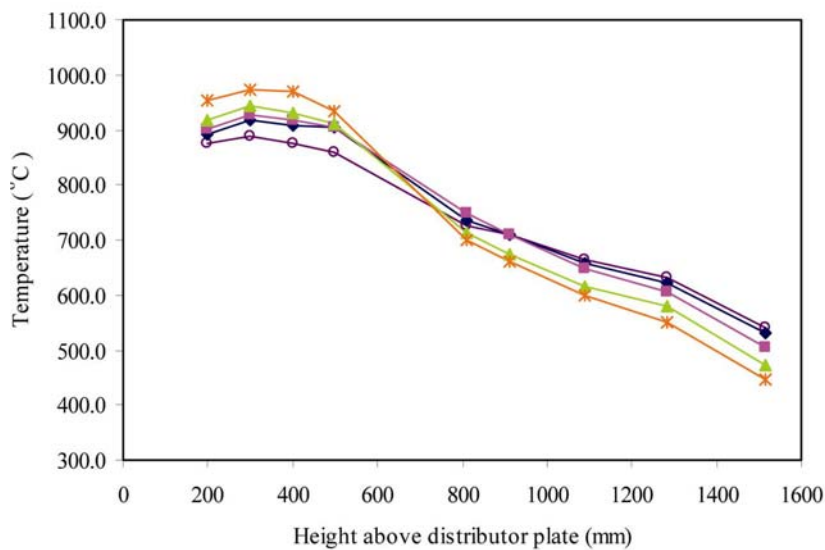


Rajah 4.1 Kesan nisbah SA ke atas taburan suhu paksi pada 0% udara lebihan

Rajah 4.2 juga menunjukkan bahawa meningkatkan nisbah udara sekunder akan meningkatkan suhu dalam lapisan tapi pada masa yang sama akan menurunkan suhu lambung bebas. Namun suhu dalam lapisan adalah lebih rendah jika dibandingkan dengan Rajah 4.1 disebabkan oleh kesan udara lebihan. Dengan meningkatkan peratus lebihan udara, didapati udara berperingkat tidak banyak memberi kesan ke atas suhu lambung bebas seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.3.



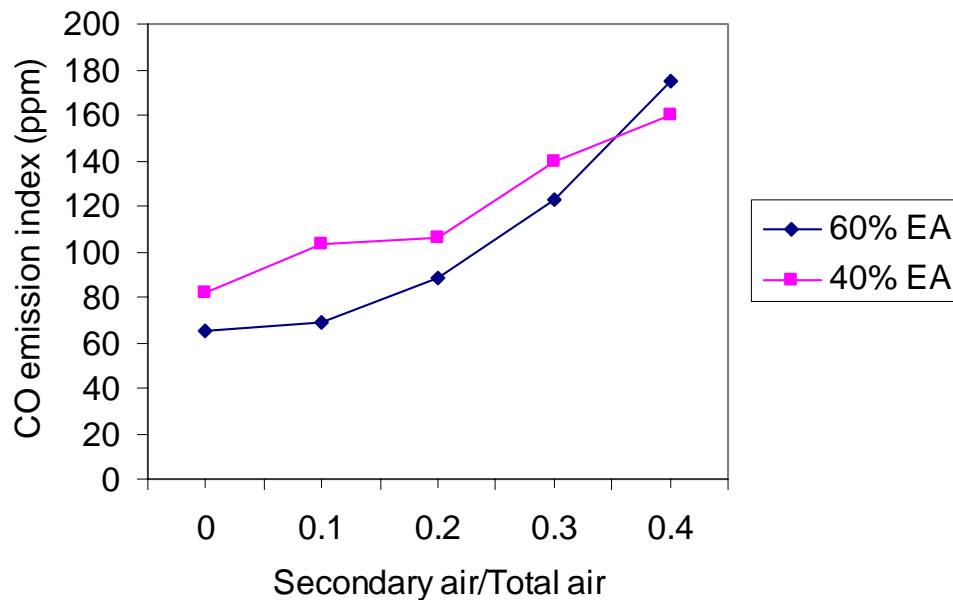
Rajah 4.2 Kesan nisbah SA ke atas taburan suhu paksi pada 40% udara lebihan



Rajah 4.3 Kesan nisbah SA ke atas taburan suhu paksi pada 60% udara lebihan

4.2 Kesan udara berperingkat keatas pancaran/emisi CO

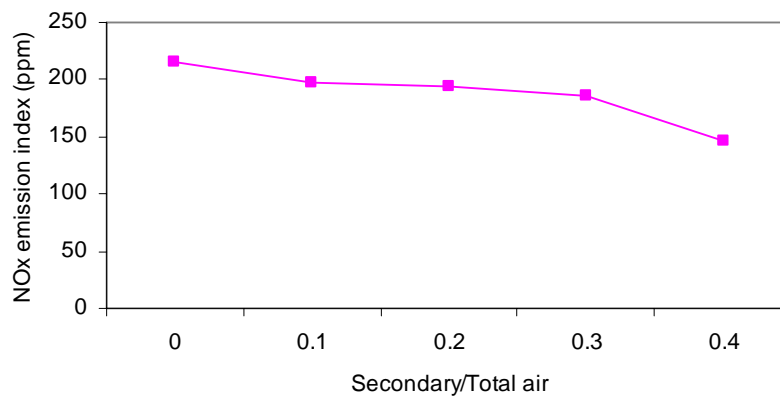
Emisi CO pada keadaan tanpa udara lebih adalah di dalam lingkungan 500 ppm. Meningkatkan peratus lebih udara memberi kesan positif kepada emisi CO dengan menurunkan emisi tersebut. Apabila udara lebih dibekalkan lebih banyak oksigen yang dibekalkan dan CO yang terbentuk akan bertindakbalas dengan oksigen untuk menghasilkan CO₂. Bagaimanapun, udara berperingkat pula memberi kesan negatif kepada emisi CO dengan meningkatkan emisi CO seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.4. Ini adalah disebabkan peningkatan nisbah SA mengurangkan udara lebih dalam lapisan. Ia juga mengurangkan suhu lambung bebas dan menyebabkan kadar tindakbalas yang rendah.



Rajah 4.4 Kesan nisbah SA ke atas emisi CO pada 40% dan 60% udara lebih

4.3 Kesan udara berperingkat keatas pancaran/emisi NO_x

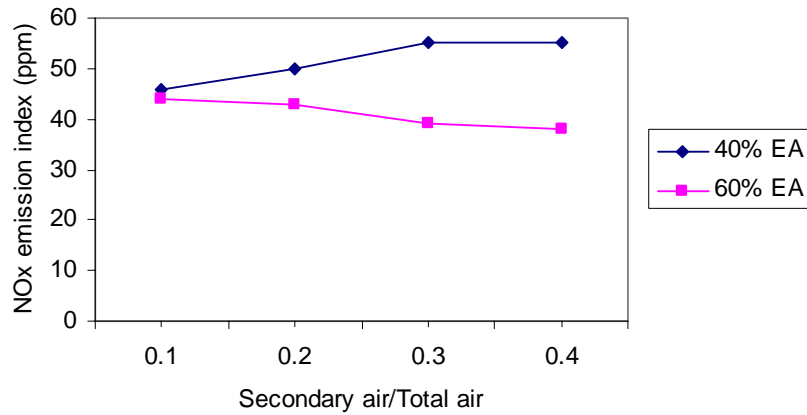
Rajah 4.5 menunjukkan kesan udara berperingkat ke atas emisi NO_x . Rajah ini menunjukkan bahawa emisi NO_x berkurangan apabila udara berperingkat digunakan. Penurunan yang ketara berlaku sehingga nisbah $\text{SA} = 0.4$. apabila pembakaran dijalankan menggunakan udara berperingkat menurun. Pengurangan penghasilan NO_x berlaku kerana dengan peningkatan nisbah udara sekunder, keadaan dalam lapisan pembakaran (bed) adalah sub-stoikiometrik yang menggalakkan tindakbalas pemusnahan NO_x dan seterusnya mengurangkan keseluruhan pancaran NO_x . Keputusan ini juga mengesahkan dominasi NO_x -bahanapi berbanding NO_x -terma kerana suhu lapisan meningkat seperti yang dijelaskan dalam bahagian 4.1.



Rajah 4.5 Kesan nisbah SA ke atas emisi NO_x pada 0% udara lebihan

Rajah 4.6 menunjukkan kadar penghasilan emisi NO_x melawan nisbah udara sekunder pada 40% dan 60% udara lebihan. Menurut R.T. Waibel (1993), udara lebihan meningkatkan kandungan oksigen dalam zon nyala dan cenderung meningkatkan NO_x . Pada masa yang sama peningkatan udara lebihan menurunkan suhu nyala dan kesannya adalah menurunkan NO_x . Namun apa yang menarik dari Rajah 4.6 adalah diperhatikan bahawa dengan peningkatan udara lebihan seterusnya, penurunan NO_x disebabkan oleh penurunan suhu nyala akan mengatasi peningkatan NO_x yang disebabkan oleh kandungan oksigen. Dengan ini, peningkatan udara lebihan

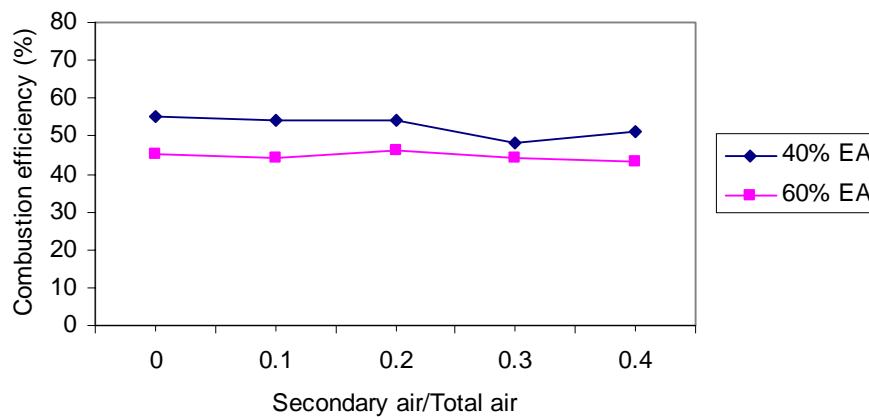
seterusnya akan menurunkan emisi NO_x . Daripada Rajah tersebut juga didapati kesan udara berperingkat sama seperti didalam Rajah 4.5 diperolehi bagi lebih udara 60% dimana peningkatan bekalan udara sekunder menurunkan emisi NO_x .



Rajah 4.6 Kesan nisbah SA ke atas emisi NO_x pada 40% dan 60% udara lebihan

4.4 Kesan udara berperingkat keatas kecekapan pembakaran

Rajah 4.7 menunjukkan kesan nisbah udara sekunder keatas kecekapan pembakaran. Rajah ini menunjukkan kaedah udara berperingkat tidak banyak memberi kesan ke atas kecekapan pembakaran. Namun udara lebih banyak memberi kesan ke atas kecekapan pembakaran. Udara lebih menurunkan suhu nyala keseluruhan dan menyumbang kepada peningkatan jumlah kehilangan dan menyebabkan penurunan kecekapan. Menurut ujikaji yang dijalankan oleh I. Gulyurtlu (1989) menggunakan partikel sisa kayu bersaiz di antara 2 dan 3 mm, udara lebih melebihi 45% meningkatkan cuci-godak (elutriation) partikel yang tidak terbakar dan menurunkan kecekapan.



Rajah 4.7 Kesan nisbah SA ke atas kecekapan pembakaran

KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Kesimpulan

Satu rig kajian telah dibina dan ditempatkan di makmal pembakaran, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal UTM bagi tujuan melakukan kajian pembakaran lapisan terbendalir dengan menggunakan udara berperingkat. Dalam kajian yang dijalankan, 5 nisbah bekalan udara utama kepada udara sekunder iaitu 100:0(SA=0), 90:10(SA=0.1), 80:20(SA=0.2), 70:30(SA=0.3) dan 60:40(SA=0.4) telah digunakan. Setiap nisbah diuji pada nilai udara lebihan iaitu 0%, 40% dan 60%.

Berdasarkan kepada kajian dan pemerhatian yang telah dijalankan, maka dapat disimpulkan bahawa :

- i) Meningkatkan nisbah udara sekunder meningkatkan suhu dalam lapisan pembakaran (in-bed temperature) tetapi mengurangkan suhu lambung bebas (freeboard temperature)
- ii) Penggunaan udara berperingkat menurunkan emisi NO_x dengan berkesan pada udara lebihan 60% dengan nilai SA bersamaan 0.4
- iii) Meningkatkan peratus udara lebihan menurunkan emisi CO
- iv) Meningkatkan nisbah udara sekunder pula meningkatkan emisi CO
- v) Meningkatkan peratus udara lebihan menurunkan kecekapan pembakaran

Kajian ini telah menggunakan tempurung kelapa sawit sebagai bahan api bagi meningkatkan pengetahuan dan kepakaran mengenai penggunaan sumber biojisim tempatan serta mempertingkatkan usaha menggunakan sumber tenaga boleh diperbahurui secara efisien di kalangan industri tempatan.

Daripada kajian yang telah dijalankan juga, didapati teknologi pembakaran lapisan terbendalir adalah sesuai untuk pembakaran bahan api pepejal. Dengan menggunakan kaedah udara berperingkat bersama udara lebihan yang optimum dapat membantu mengurangkan kadar pelepasan emisi hasil pembakaran lapisan terbendalir. Sistem pembakaran ini juga amat sesuai digunakan bagi proses pelupusan sisa industri atau pertanian dan pada masa yang sama ia boleh mengurangkan kadar emisi gas-gas hasil pembakaran. Dengan ini, ia dapat membantu meningkatkan penjimatan tenaga serta membantu mengurangkan pergantungan sektor perindustrian dan pertanian terhadap penggunaan bahan api fosil yang banyak mencemarkan alam sekitar.

5.2 Cadangan

5.2.1 Memastikan suhu lapisan tetap

Dari kajian yang di lakukan didapati bahawa suhu lapisan mempengaruhi emisi NO_x dan CO. Untuk memastikan suhu di dalam lapisan tetap pada sesuatu nilai yang diinginkan, adalah dicadangkan agar suatu sistem pendinginan di pasang pada rig lapisan terbendalir. Dua kaedah telah dikaji :

- 1) Kaedah pendinginan penempatan berkelompok (shell housing)
- 2) Kaedah pendinginan gegelung (cooling coils)

Rekabentuk terperinci bagi kedua-dua sistem yang dicadangkan adalah seperti di lampiran.

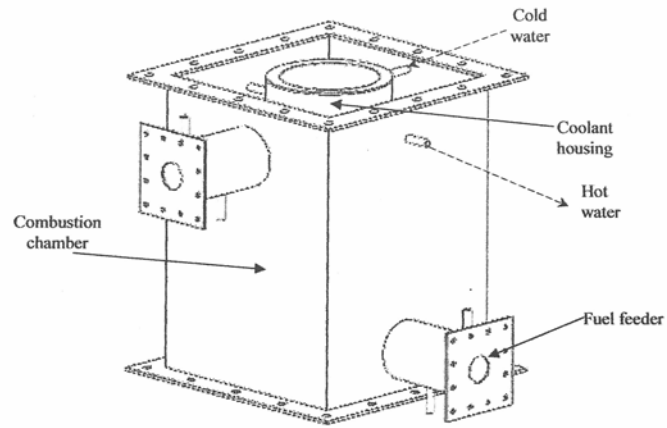
5.2.2 Meningkatkan kecekapan pembakaran

Kajian menunjukkan bahawa kesan udara lebihan banyak mempengaruhi kecekapan pembakaran dimana peningkatan peratus udara lebihan menurunkan kecekapan pembakaran. Untuk meningkatkan kecekapan pembakaran adalah dicadangkan agar suhu udara sekunder dapat ditingkatkan. Ini boleh dicapai dengan melaksanakan pra-pemanasan udara sekunder.

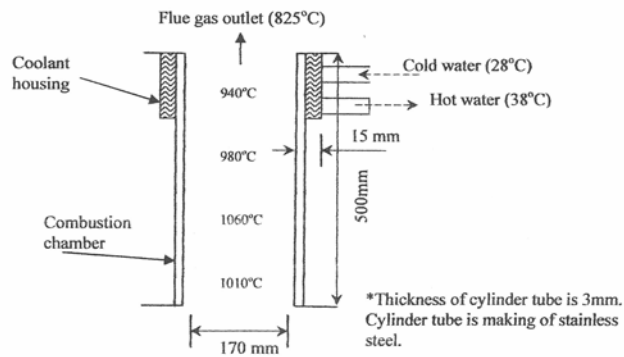
LAMPIRAN 1

**KAEDAH PENDINGINAN PENEMPATAN BERKELOMPOK
(SHELL HOUSING)**

Method 1(housing/shell)

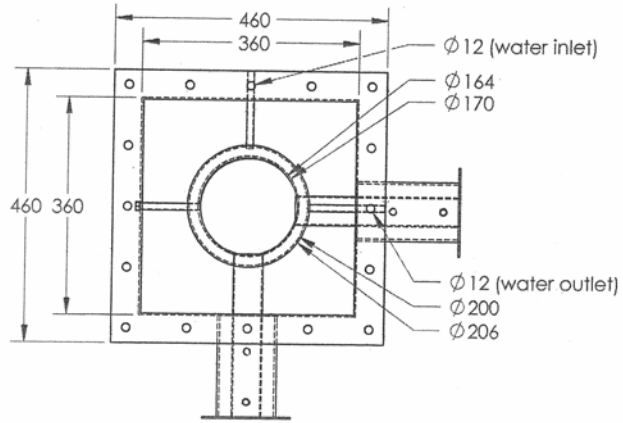


Cooling system (3D view).



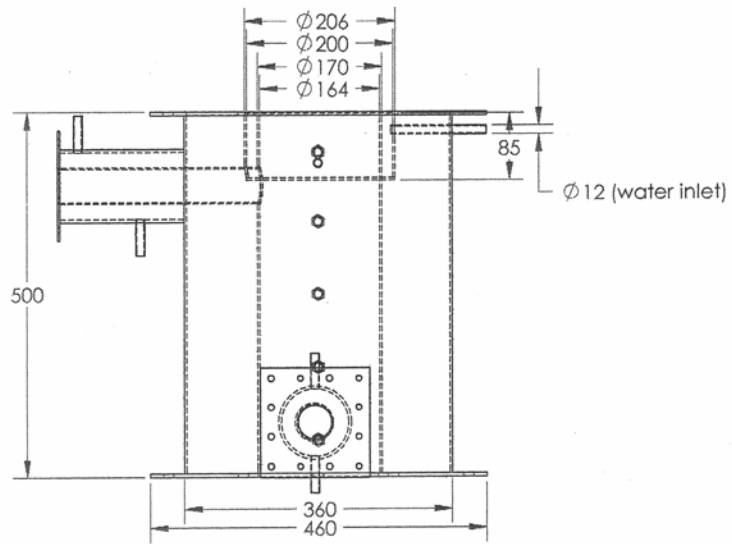
Cooling system (section view).

Figure L1A. Cooling System (housing/shell)




 DIMENSION IN MM

Figure L1B. Coolant Shell (top view)




 DIMENSION IN MM

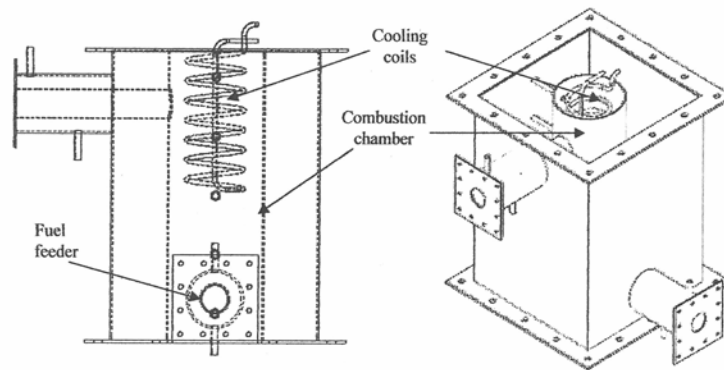
Figure L1C. Coolant Shell (side view)

LAMPIRAN 2

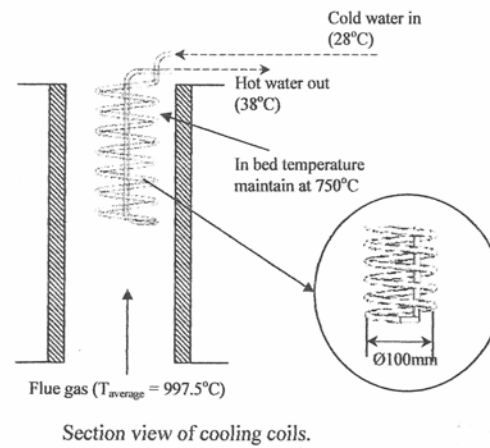
KAEDAH PENDINGINAN GEGELUNG (COOLING COILS)

Method 2(cooling coils)

The second method to maintain the in bed-temperature is by the use of cooling coils

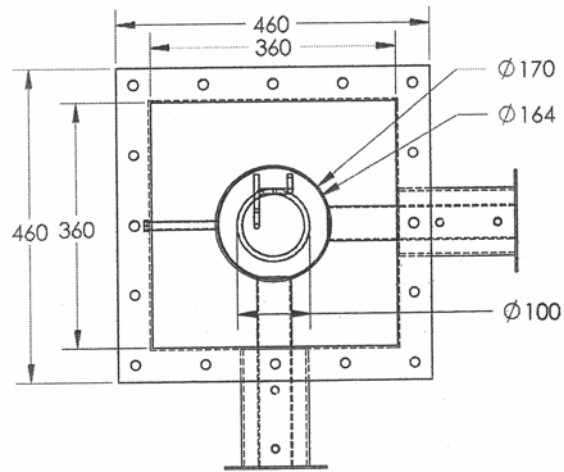


Side view and 3D view of the installation of the cooling coils.



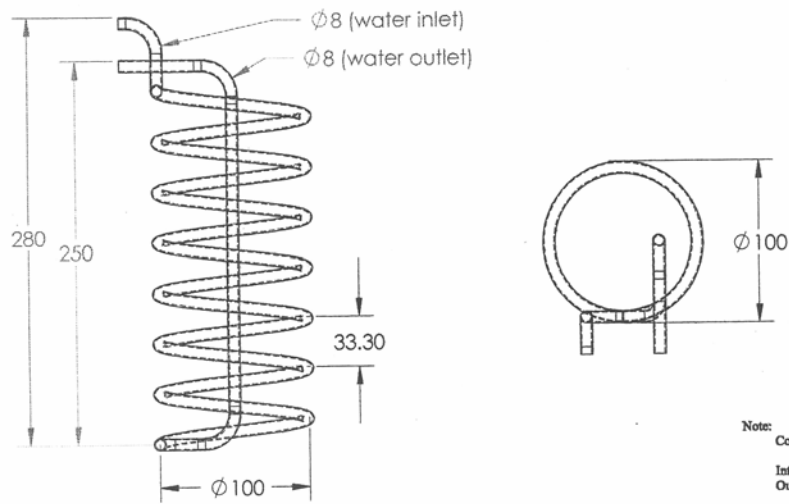
Section view of cooling coils.

Figure L2A. Cooling System (Cooling Coils)




DIMENSION IN MM

Figure L2B. Coolant Coils (top view)




Note:
Copper Tube
Internal Diameter = 6.4 mm
Outside Diameter = 8.0 mm

DIMENSION IN MM

Figure L2. Copper Coils (front & top view)

LAMPIRAN 3

KERTAS KERJA DAN SIJIL PENYERTAAN PERSIDANGAN/SEMINAR/PAMERAN

- i.** 14th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORT
PHENOMENA, BALI, INDONESIA, 6-9th JULY, 2003
- ii.** IPTA RESEARCH & DEVELOPMENT EXPOSITION 2003,
PWTC, KUALA LUMPUR, 9-12 OCTOBER 2003
- iii.** 5th ASIA PACIFIC CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY
AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES, WELLINGTON,
NEW ZEALAND, 9 -11 MAY 2005

Recent Progress in Transport Phenomena

*The 14th International Symposium
on Transport Phenomena (ISTP-14)*

Editors:
Harinaldi
Yanuar
Yulianto S. Nugroho



Organized by
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering University of Indonesia

Under the auspice of the
Pacific Center of Thermal-Fluid Engineering, USA

Reduction of Noxious Emissions by Staged Combustion for Agricultural Residues Using A Fluidized Bed Combustor

Mohammad Nazri Mohd. Ja'afar, Farid Nasir Ani, Hayati Abdulah¹,
Muhd. Azhar Salihin, Mohamed Shaiful Ashraf Isahak

Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia
Email: hayati@fkm.utm.my

ABSTRACT

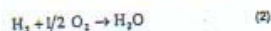
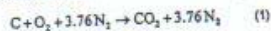
Fluidized bed technologies have been shown to play a key role in the area of solid fuel combustion. This study was carried out to investigate the reduction of NO_x emission by staged combustion in a small laboratory scale fluidized bed combustor. The experiments were carried out using palm shell as fuel and silica sand as the bed material. The experimental rig has a maximum capacity of 25 kW. Fluidizing air was supplied through a distributor and secondary air was introduced into the freeboard via an ejector. Plus gas samples were collected and analyzed for a fluidizing velocity of up to 2m/s and a bed temperature of 700°C. Various series of tests were conducted to determine the influence of fuel-related and operation dependent parameters on the formation and reduction of NO_x. The study shows that a much lower emissions of NO_x were achieved when compared to the unstaged combustion and this represents a significant achievement where more than 30 percent of NO_x emissions reduction were obtained.

INTRODUCTION

Combustion is a process to produce energy chemically and widely practiced in the industry. This happens when combustible substance reacts with oxygen from air (Powers, 1983). Fossil fuels such as natural gas, petroleum and coal are the major sources of combustible material currently used. Because of the limited resources, new alternatives must be sought and introduced to complement these energy sources. One way is by using biomass energy (Surjosatyo, 1998). Biomass fuel is a source of energy produced from the combustion of biomass waste.

Waste combustion implicates bed effect to the environment because of the emissions it produces. Therefore, improving combustion efficiency will be valuable for the environment. The combustion efficiency depends on temperature and an increase in temperature will increase the combustion efficiency (De Nevers, 1995). The different composition of the biomass fuel will affect the combustion efficiency because of the different chemical content of the combustible substance. As an example, the proximate analysis for palm shell shows that it contains 9.7% moisture, 67% volatile, 21.2% fixed carbon and 2.1% ash. The ultimate analysis carried out for palm shell indicates that it consists of 47.62% carbon, 6.2% hydrogen, 0.7% nitrogen and the gross calorific value is

19.1MJ/kg. The principal reactions for the combustion of the fuel are as follows:



To ensure that the combustion product is less polluting, numerous on-going research has been carried out effectively and are consistent with coherent legislation law. One practical method applied is staged combustion and a number of research in this area has been carried out to study the effect of reducing pollution (Mond, Jaafar et al., 2000 & 2001).

FUNDAMENTAL OF FLUIDIZATION

Fluidization is the levitation of a mass (bed) of particles by a fluid (Psill, 1990). In this state, the particle mass behaves like a fluid in that it tends to establish a level and flow in response to the pressure drop. A gas that passes through a bed of particles will create a drag force at the surface of the particle and act upwards on the particle. As the air flow rate increases, the drag force will increase too. When the force is equal to the weight of the particle, the particle will float in the combustion chamber.

The bed is considered just fluidized and is referred to as an incipiently fluidized bed or a bed at minimum fluidization. There is intense mixing and gas contact in this condition. These properties make it easy to have an isothermal system with good mass transfer. Figure 1 shows the mechanism of the fluidized bed.

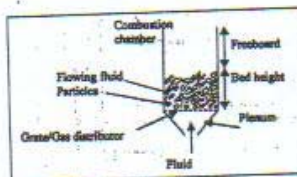


Fig.1. Fluidized bed combustion

IPTA

Research & Development Exposition 2003

Certificate of Participation

This certificate is presented to
Hayati Abdullah and Mohammad Nazri Mohd Jaafar

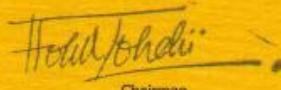
UTM

in recognition for his/her positive participation
as a successful exhibitor at the

IPTA
RESEARCH & DEVELOPMENT
Exposition 2003

INVESTING IN INNOVATION

From 9 - 12 October 2003
at the Putra World Trade Centre, Kuala Lumpur.



Chairman
Organising Committee

Acting Organized by
MINISTRY OF EDUCATION MALAYSIA and
PUBLIC INSTITUTIONS OF HIGHER LEARNING

Organized by
UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA



CONFERENCE
in conjunction with
The Public Institutions of Higher Learning
R & D Exposition 2003

Investing in Innovation
Proceedings

- Volume 1 : Agriculture, Food and Forestry
- Volume 2 : Materials, Energy and Environmental
- Volume 3 : Bioscience and Biotechnology
- Volume 4 : Information and Communication Technology
- Volume 5 : Science and Engineering
- Volume 6 : Health and Allied Sciences
- Volume 7 : Humanities and Social Sciences

1-10 October 2003 • Putra World Trade Centre



Conference in Conjunction with
The Public Institutions of Higher Learning
R&D Exposition 2003
9-10 October, 2003

Investing in Innovation

Proceedings

Volume 2: Materials, Energy and Environment

Editors

Mohd Zobir Hussein
Zulkarnain Zainal
Md Pauzi Zakaria
Mahiran Basri
Nor Aripin Samaan



Universiti Putra Malaysia Press
Serdang • 2003

© Universiti Putra Malaysia Press

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form, or by any means, electronic, mechanical, copying, recording or otherwise, without the prior permission of the copyright owner.

Perpustakaan Negara Malaysia Cataloging-in-Publication Data

Investing in Innovation (2003; Kuala Lumpur)

Materials, energy and environment : Investing in Innovation
Conference in conjunction with the Public Institutions of
Higher Learning R&D Exposition 2003: proceedings/editors

Mohd. Zobir Hussein(et al.).

ISBN 983-2871-23-9 (set)

ISBN 983-2871-22-0 (v.2)

1. Materials—Technological innovations—Congresses.
2. Energy development—Technological innovations—Congresses.

I. Mohd. Zobir Hussein. II. Title.

620.11.

Published by

Universiti Putra Malaysia Press
43400 UPM, Serdang
Selangor Darul Ehsan
Malaysia
Tel: 603-89468854
Email: penerbit@putra.upm.edu.my

ISBN 983-2871-17-4



9 789832 071170

29. The Efficiency of Charcoal as a Filter Media in Non-Vegetation Constructed Wetland Subsurface-Flow System (SF) for Treatment of Landfill Leachates
Ahmad Md. Noor, Pedy Artsanti, P.E.Lim, S. Suryani and H.P.S Abdul Khalil 123-128
30. ArF Excimer Laser Induced Damage on Plasticised Polyvinyl Chloride (PPVC) Sample
Mohd Hazimin bin Mohd Salleh and Nortah Bidin 129-134
31. Hybrid Electric Vehicle Power Plant Based on Parallel Configuration
Azhar Abdul Aziz and Lim Chon Wei 135-138
32. Low Emissions Incinerator by Staged Combustion
Hayati Abdullah, Mohammad Nazri Mohd. Jaafar and Farid Nasir Ani 139-144
33. Microwave Spouted Bed Dryer for Sludge Waste
M. Roganee, W. Khatruddin W. Ali, K. G. Tan and C. T. Wong 145-152
34. Silica Aeroglass: A Novel Thermal Insulator
Rozieyati Abdullah and Halimatun Hamdan 153-158
35. Catalytic Activity, Structural and Morphological Assessment of Doped Cobalt-Praseodymium Oxide Based Catalyst
Yen Swee Kuan, Wan Azelee bin Abu Bakar and Nor Aziah Buang 159-166
36. Variation of Arsenic and Related Heavy Metals Content in Lake Water with Depth
Sri Adellila Sari, Umi Kalthom Ahmad and Zaini Ujang 167-170
37. Extra Latex Skin (ELS) Formers for Rubber Glove Production
Ismail Bin Ibrahim 171
38. Channel Bank Erosion and Protection: A Guide to Planner and Developer
Hj. Mohd Ekhwan Hj. Turiman 172
39. Devitrification of SnO-SiO₂ Glasses
Mohd Mustamam Abd Karim and Diane Holland 173
40. Development of Tanjong Malim
Abdul Hamid Abdullah 174
41. Establishment of a Local Algorithm for Water Pollution Monitoring Using a Conventional Digital Camera
M. Z. Mat Jafri, H. S. Lim, K. Abdullah, and M.N. Abu Bakar 175
42. A GPS Buoy System for Precise Water Level Measurement
Shahrul Ses 176
43. Continuous Sterilizer: The Latest for Conventional Sterilization in Palm Oil Mill
Mustafa Kamal Abdul Aziz 177
44. Innovative Development of Composite Steel-Concrete Beam Stiffened with C-Channel Section
Mahmood Md Tahir, Airil Yasreen Mohd Yassin, Nordin Yahaya, and Norwatie Jamaluddin 178
45. Catalytic Study of High Surface Area Alkaline Earth Oxide MgO Using Spectroscopical Method
Abd Rahim Yacob 179

The Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies

Wellington, New Zealand
8-11 May 2005



Proceedings

Editors
Steven Pratt and Clive E Davies

ORGANISED BY



SPONSORED BY



The University of Queensland



Cathay Pacific

IN ASSOCIATION WITH



The University of Queensland



Institute of Professional Engineers,
New Zealand

Published by: Massey University
Palmerston North
New Zealand

All papers in this conference proceedings were submitted to The Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies and have been refereed as full manuscripts.

ISBN 0-476-01613-4

Proceedings of The Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies © May 2005 Massey University.

APCSEET logo designed by Lisa Davies.

Responsibility for the contents of these papers rests upon the authors and not Massey University. Data presented and conclusions developed by the authors are for information only and are not intended for use without substantiating investigation on the part of the potential user.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior written permission from the publishers.

Printed by: The Printery
Massey University
Palmerston North
New Zealand

The Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technologies

Wellington, New Zealand
8-11 May 2005



Editors
Steven Pratt and Clive E. Davies

Organised and published by
Massey University



Palmerston North
New Zealand

Scavange Port to Promote Tumble Flow of New 2-Stroke Modular Engine	276
<i>Abu Bakar Rosli, Hong Mun Wong and Leong Ming Gan [54]</i>	
Simultaneous Removal of SO ₂ and NO _x Using Keggin Heteropoly Compounds of P-W-Mo and P-V-Mo	281
<i>Rui Wang, Hong Ya, Hong'an Qiu, Nan Bao Haixia Zhao [75]</i>	
Size selective sampling of particulate matter in urban and rural areas in Bangkok and Nakompratom	288
<i>Sirikalaya Suvachittanon, Tosapol Praserttachato, Wladyslaw W. Szymanski and Masami Furuuchi [49]</i>	
Social aspects of energy use in India: The gap between the haves and have-nots	296
<i>B. Sudhakara Reddy [79]</i>	
Study on public acceptance of hydrogen energy - Case study in Yakushima	302
<i>Yasuo Matsumoto, Hirokazu Takanashi, Yoshimitsu Uemura and Takami Kai [61]</i>	
Supply and transport of logging residues for energy production: A GIS-based study	308
<i>Stefano Grigoletto, Barbara Hock, John Firth, Tony Evanson and Bernd Moeller [73]</i>	
Syngas production from air-steam gasification of biomass for methanol synthesis	313
<i>X.L. Yin, D.Y.C. Leung, J. Chang and C.Z. Wu [85]</i>	
Synthesis and characterisation of mesostructured aluminophosphates	321
<i>Ben-Jing Xu, Zhi-Hua Zhang, Zi-Feng Yan [37]</i>	
Synthesis and characterization of mesostructured chromium oxide by solid thermal decomposition	327
<i>Li Li and Zi-Feng Yan [35]</i>	
Technical and economic factors in applying the enhanced coal bed methane recovery process	334
<i>Paul Massarotto, Victor Rudolph and Sue Galding [71]</i>	
Technique for recovering sodium phosphate from ashes of incinerated sewage sludge	342
<i>Masaaki Takahashi, Kunihiko Sato, Susumu Kato, Hideo Enryoji and Keisuke Nakahara [29]</i>	
The degradation of toluene by photocatalysis process	347
<i>Linda Zou, Yonggang Luo, Eric Hu and Martin Hooper [06]</i>	
The design of catalyst for the coupling of FCC and aromatization to produce low-olefin gasoline	352
<i>Chen-Xi Zhao, Chun-Min Song, Shu-Wen Liu, Zi-Feng Yan [36]</i>	
The effect of air staging on the gaseous emissions in a fluidized bed combustor	359
<i>Hayati Abdullah, Mohammad Nazri Mohd. Ja'afar, Farid Nasir An, Chew Lai Soon, Mohamad Shaiful Ashrul Ishak [22]</i>	
The effect of swirling flow on gaseous emissions from liquid fuel burner	365
<i>Mohammad Nazri Mohd. Ja'afar, Mohamad Shaiful Ashrul Ishak, Ismail Samat, Mohd Shukri Abdul Mookmin and Kiran Babu Appalanidu [68]</i>	
The synthesis of mesoporous alumina using nonsurfactant as template	371
<i>Zhao-Xia Zhang, Ling Qian, Chun-Min Song, Zi-Feng Yan [38]</i>	
The wastewater combination of bio- and chem- treatments in poly-n-vinyl- pyrrolidone production	377
<i>Lin-Hua Song and Ri-Xiang Yan [34]</i>	
Thermal cycling atability of silica membranes for gas separation	384
<i>M.C. Duke, E. Tam, P.G. Gray and J.C. Diniz da Costa [09]</i>	

THE EFFECT OF AIR STAGING ON THE GASEOUS EMISSIONS IN A FLUIDIZED BED COMBUSTOR

Havati Abdullah¹, Mohammad Nazri Mohd. Ja'afar, Farid Nasir Ani,
Chew Lai Soon and Mohamad Shaiful Ashrul Ishak

Faculty of Mechanical Engineering
Universiti Teknologi Malaysia
81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia
Tel: (60-7) 5534658 Fax: (60-7) 5566159
Email: havati@fkm.utm.my

ABSTRACT Experiments have been carried out on a laboratory scale fluidized bed combustor to investigate the effect of air staging on the gaseous emissions such as NO_x , CO, and CO_2 . The combustor has a furnace section of 0.17 m diameter and an overall height of 2.0 m. Oil palm shell was used as a source of biomass fuel with particle sizes in the range of 1.18 mm to 4.25 mm. The bed material was silica sand with a mean particle diameter of 300 μm . Air staging is achieved by dividing the total combustion air supply into the in-bed primary air and the remaining combustion air used as secondary air is injected into the freeboard. The air staging experiments were carried out with the secondary air to total air ratio varied from 0 to 0.4. The air staging effects were observed in the emissions of NO_x , CO, and CO_2 and in the variations of temperature distributions and combustion efficiency. The experimental results showed that significant reductions in NO_x emissions were obtained for the staged operation when compared to the un-staged operation. The CO emission for the air staging operation was lower than that in conventional operation. Air staging also affects the temperature distributions and the combustion efficiency.

INTRODUCTION

Biomass-fueled fluidized bed combustion technology is an emerging power generating technology that can increase sustainable capability. With future prospects of energy prices likely to soar, we cannot afford to leave energy resources such as biomass undeveloped. Wood and agro-industries in South-East Asia generate large quantities of residues with great potential to be converted into successful biomass energy. Increased utilization of biomass technologies would lessen the dependency on fossil fuel and can provide huge benefits to biomass related industries.

From an environmental point of view, effective utilization of biomass resources would result in a reduction of harmful emissions and contribute to a cleaner environment. The increased interest in reducing gaseous emissions from combustion system has led to the development of new combustion techniques as well as to the modification of existing ones.

Among these techniques, fluidized bed combustion has the advantage of high combustion efficiency, broad loading adjustment, good fuel adaptability and low pollution emission due to low temperature burning. Further advantage aimed at reducing the gaseous emissions from a fluidized bed combustor can be achieved by utilizing staged combustion, i.e. air staging. Air staging has the benefit of reducing NO_x emission due to the sub-stoichiometric combustion conditions maintained in the bed zone.

In this paper, the results of a series of investigations carried out on a laboratory scale fluidized bed combustor are reported. The experimental results indicate the effects of air staging on the combustion of oil palm shell and the emission characteristics of pollutants including CO, NO_x and CO_2 during the combustion process.

EXPERIMENTAL SET-UP

Figure 1 shows a schematic diagram of the experimental combustor. The experimental combustor was fabricated from mild steel and is 0.5 m in height and 0.36 m square in section. The insulated reactor is made from stainless steel cylindrical tube of 164 mm internal diameter and 2.0 m height and divided into five flanged sections. Silica sand of 300 μm mean particle diameter was used as the bed material. Air from a blower was introduced into the bed through a distributor with air outlets arrayed around a circular tube in six rows. There

RUJUKAN

1. Adi Surjosatyo, '**Fluidized Bed Incinerator of Palm Shell and Oil Sludge Waste**', Tesis Sarjana, Universiti Teknologi Malaysia, 1998.
2. Anders Lyngfelt, Lars-Erik Amand, Lennart Gustavsson and Bo Leckner, '**Methods For Reducing The Emission of Nitrous Oxide From Fluidized Bed Combustion**', Energy Convers. Mgmt Vol.37, Nos 6-8, pp. 1297-1302, Elsevier Science Ltd., 1996
3. B. M. Gibbs, F. J. Pereira, and J. M. Beer, '**The Influence Of Air Staging On The NO Emission From A Fluidized Bed Coal Combustor**', Chemical Engineering and Fuel Technology Department, University of Sheffield, U.K., 1999
4. BS 845-1:1987 Methods For Assessing Thermal Performance of Boilers For Steam, Hot Water and High Temperature Heat Transfer Fluids
5. Cengel, Y. A dan Boles, M. A. (2002), '**Thermodynamics: An Engineering Approach** (4th Edition).', McGraw-Hill. (Page 711-720)
6. Frank P. Incropera and David P. Dewitt, '**Fundamental of Heat and Mass Transfer**', 5th Edition, John Wiley and Sons Inc., 2002
7. Gary L. Borman and Kenneth W. Ragland, '**Combustion Engineering**', McGraw Hill International, 1998
8. Howard J. R., '**Fluidized Bed Combustion and Application**', Applied Science Publisher, New York, 1983.
9. Jaehyeon Park, Keun-Hee Han, Jung-In Ryu and Gyoung-Tae Jin, '**Coal Combustion Characteristics In A Pressurized Fluidized Bed**', 13th U.S. – Korea Joint Workshop On Energy and Environment', pp. 109-120, Reno, Nevada, USA, September 13-17, 1999
10. J. R. Howard, '**Fluidized Beds Combustion and Applications**', Applied Science Publishers Ltd., 1983
11. K. Suksankraisorn, S. Patumsawad, P. Vallikul, B. Fungtammasan and A. Accary, '**Co-Combustion of Lignite and Municipal Solid Waste In a Fluidized Bed: Influence of Air Staging**', Proceedings of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, Phuket, Thailand, 12-14 February 2003

12. Kunii, Daizo and Levenspiel, '**Fluidized Engineering**', Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, New York, 1977.
13. L. A. C. Tarelho, M. A. A. Matos, F. J. M.A. Pereira, '**Combustion Of Coal In A Pilot Scale Fluidised Bed**', Department de Ambiente Ordenamento and Universidade de Aveiro, Portugal, 1999
14. Li Xiaodong, Yan Jianhua, Chi Yong, Jiang Xuguang, Huang Guoquan, Yang Jialin, Ni Mingjiang and Cen Kefa, '**Study Of A Fluidized Bed Combustion Technology Co-Firing Municipal Solid Waste and Coal and Its Applications**', No. FBC99-0028, Proceedings of The 15th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Savannah, Georgia, May 16-19, 1999
15. Mohammad Nazri Mohd. Jaafar, Farid Nasir Ani, Ainul Hayati Yunus, '**Aplikasi Udara Berperingkat Bagi Mengurangkan Pancaran Dalam Pembakar Lapisan Terbendalir**', Proceeding of Malaysian Science & Technology Congress 2000, Genting Highland, 2000.
16. Mohammad Nazri Mohd. Jaafar, Farid Nasir Ani, Loh Kar Yee, '**Pengurangan Emisi Dari Pembakar Lapisan Terbendalir Melalui Udara Berperingkat Bagi**', Proceeding of Malaysian Science & Technology Congress 2001, Melaka, 2001.
17. Noel De Nevers, '**Air Pollution Control Engineering**', Mc Graw-Hill Inc., New York, 1995
18. P. F. Sens and J. K. Wilkinson, '**Fluidized Bed Combustor Design, Construction and Operation**', Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1988
19. R. T. Waibel, John Zink Company and Tulsa, '**Ultra Low Nox Burners For Industrial Process Heaters**', John Zink Company, LLC, 1993
20. Suthum Patumsawad, '**Fluidized Bed Combustion of Oil Palm Solid Waste**', The Journal of KMITNB, Vol.12, No.2, April-June, pp. 15-20, 2002
21. T. D. Eastop and A. Mc Conkey, '**Applied Thermodynamics For Engineering Technologists**', 5th Edition, Longman Limited, 1998
22. William C. Gardiner Jr., '**Combustion Chemistry**', Springer-Verlag Inc., New York, 1984
23. Yunus A. Cengal, '**Heat Transfer, A Practical Approach**', 2nd Edition, Mc Graw Hill Higher Education, 2003

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA
Research Management Centre

PRELIMINARY IP SCREENING & TECHNOLOGY ASSESSMENT FORM

(To be completed by Project Leader submission of Final Report to RMC or whenever IP protection arrangement is required)

1. **PROJECT TITLE IDENTIFICATION :**

COMBUSTION CHARACTERISTICS STUDY OF BIOMASS IN A FLUIDIZED BED COMBUSTOR

Vote No:

2. **PROJECT LEADER :**

Name : ASSOC. PROF. IR. HAYATI ABDULLAH
Address : FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA, 81310 UTM SKUDAI
Tel : 07-5534658 Fax : 07-5566159 e-mail : hayati@fkm.utm.my

3.

Scientific Research	Applied Research	Product/Process Development
<input type="checkbox"/> Algorithm	<input checked="" type="checkbox"/> Method/Technique	<input type="checkbox"/> Product / Component
<input type="checkbox"/> Structure	<input type="checkbox"/> Demonstration / Prototype	<input type="checkbox"/> Process
<input type="checkbox"/> Data	<input type="checkbox"/> Other, please specify	<input type="checkbox"/> Software
<input type="checkbox"/> Other, please specify	<input type="checkbox"/> Other, please specify	<input type="checkbox"/> Other, please specify
_____	_____	_____
_____	_____	_____

4. **INTELLECTUAL PROPERTY** *(Please tick where applicable)*

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Not patentable | <input type="checkbox"/> Technology protected by patents |
| <input type="checkbox"/> Patent search required | <input type="checkbox"/> Patent pending |
| <input type="checkbox"/> Patent search completed and clean | <input type="checkbox"/> Monograph available |
| <input type="checkbox"/> Invention remains confidential | <input type="checkbox"/> Inventor technology champion |
| <input type="checkbox"/> No publications pending | <input type="checkbox"/> Inventor team player |
| <input type="checkbox"/> No prior claims to the technology | <input type="checkbox"/> Industrial partner identified |

5. LIST OF EQUIPMENT BOUGHT USING THIS VOT

1. 128 MB Apacer Pen Drive USB 2.0
2. COMPAQ Presario B2000 Notebook

6. STATEMENT OF ACCOUNT

a)	APPROVED FUNDING	RM : 33,000.00
b)	TOTAL SPENDING	RM : 31,341.99
c)	BALANCE	RM : 1,658.01

7. TECHNICAL DESCRIPTION AND PERSPECTIVE

Please tick an executive summary of the new technology product, process, etc., describing how it works. Include brief analysis that compares it with competitive technology and signals the one that it may replace. Identify potential technology user group and the strategic means for exploitation.

a) Technology Description

THIS RESEARCH WORK INVOLVES STUDYING THE EFFECT OF USING THE AIR STAGING TECHNIQUE WITH THE PRESENCE OF EXCESS AIR ON THE COMBUSTION CHARACTERISTICS OF OIL PALM WASTE IN A FLUIDIZED BED COMBUSTOR. THE OUTCOME OF THIS RESEARCH WORK HAS SHOWN THAT THE USE OF THIS AIR STAGING TECHNIQUE HAS RESULTED IN A SIGNIFICANT REDUCTION OF UP TO 30% FOR NO_x EMISSION WHEN COMPARED TO THE CONVENTIONAL COMBUSTION OF THE OIL PALM WASTE. THIS CLEARLY INDICATES THE POTENTIAL OF UTILIZING THIS TECHNOLOGY FOR CONTROLLING NOXIOUS EMISSIONS TO THE ENVIRONMENT FROM THE COMBUSTION OF BIOMASS WASTE.

b) Market Potential

THE MARKET POTENTIAL IS PROMISING CONSIDERING THAT OIL PALM RESIDUES AND WOOD WASTE HAVE THE GREATEST POTENTIAL AMONG AVAILABLE RENEWABLE ENERGY RESOURCES. AS THE PALM OIL INDUSTRY IS EXPECTED TO EXPAND BY 40% OVER THE NEXT 20 YEARS, THE TOTAL VALUE OF OIL PALM AND WOOD RESIDUES IS TECHNICALLY ESTIMATED TO BE WORTH MORE THAN RM 500 BILLION FOR THE PERIOD 2001 TO 2020. THUS, PALM OIL MILLS AND WOOD INDUSTRIES AS WELL AS LOCAL INCINERATOR MANUFACTURERS WILL BENEFIT FROM THE OUTCOME OF THIS RESEARCH WORK IN THEIR EFFORT TO LOOK FOR BETTER TECHNOLOGIES IN DEALING WITH THE GENERATION OF ENERGY AND AT THE SAME TIME COPING WITH THE ENVIRONMENTAL PROBLEM.

c) Commercialisation Strategies

THE TECHNIQUE HAS BEEN SHOWN TO SIGNIFICANTLY REDUCE THE NOXIOUS EMISSIONS FROM THE COMBUSTION SYSTEM. THE GROUP IS WORKING TOWARDS SOME COOPERATION WITH LOCAL MANUFACTURERS AND INDUSTRIES IN ORDER TO UTILIZE THE TECHNIQUE FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS.

THE FLUIDIZED BED COMBUSTION SYSTEM WAS EXHIBITED AT THE IPTA RESEARCH & DEVELOPMENT EXPOSITION 2003 IN KUALA LUMPUR AND 3 PAPERS HAVE BEEN PUBLISHED AT THE FOLLOWING CONFERENCES:

- i. 14th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORT PHENOMENA, BALI, INDONESIA, 6-9th JULY, 2003
- ii. IPTA RESEARCH & DEVELOPMENT EXPOSITION 2003, PWTC, KUALA LUMPUR, 9-12 OCTOBER 2003
- iii. 5th ASIA PACIFIC CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES, WELLINGTON, NEW ZEALAND, 9 -11 MAY 2005

8. RESEARCH PERFORMANCE EVALUATION

a) FACULTY RESEARCH COORDINATOR

Research Status	()	()	()	()	()	()
Spending	()	()	()	()	()	()
Overall Status	()	()	()	()	()	()
	Excellent	Very Good	Good	Satisfactory	Fair	Weak

Comment/Recommendations :

.....
Signature and stamp of
JKPP Chairman

Name :
Date :

b) RMC EVALUATION

Research Status	()	()	()	()	()	()
Spending	()	()	()	()	()	()
Overall Status	()	()	()	()	()	()
	Excellent	Very Good	Good	Satisfactory	Fair	Weak

Comments :-

Recommendations :

- Needs further research
- Patent application recommended
- Market without patent
- No tangible product. Report to be filed as reference

.....
 Signature and Stamp of Dean / Deputy Dean
 Research Management Centre

Name :
 Date :

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

**BORANG PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKAN**

TAJUK PROJEK : KAJIAN CIRI-CIRI PEMBAKARAB BIOJISIM DIDALAM PEMBAKAR
LAPISAN TERBENDALIR

Saya _____ HAYATI BINTI ABDULLAH _____
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan **Laporan Akhir Penyelidikan** ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.
4. * Sila tandakan (/)

- SULIT (Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).
- TERHAD (Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).
- TIDAK TERHAD

TANDATANGAN KETUA PENYELIDIK

Nama & Cop Ketua Penyelidik

CATATAN : *Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.