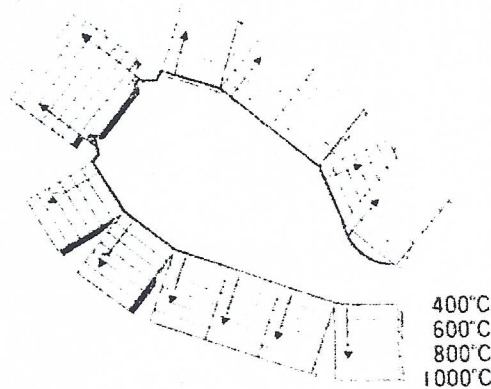


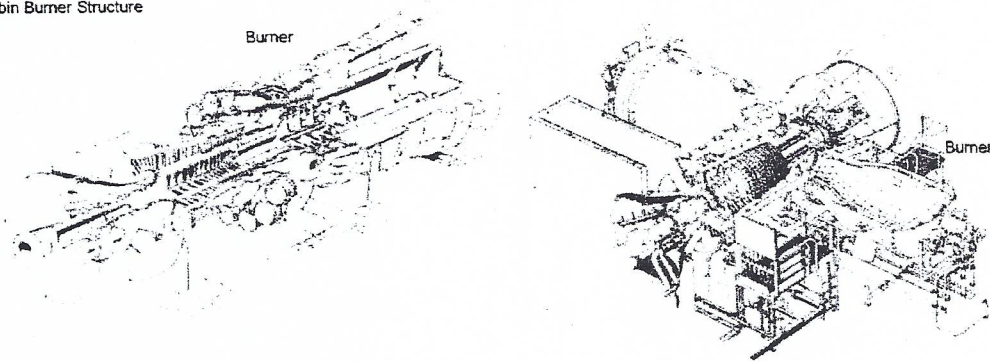
LAPORAN TEKNIS

TEKNOLOGI TURBIN GAS

Oleh :
Irhan Febijanto



Gas Turbin Burner Structure



PUSAT PENGKAJIAN & PENERAPAN
TEKNOLOGI PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ENERGI
DEPUTI BIDANG TENOLOGI PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ALAM
BPP TEKNOLOGI
2002

PERPUSTAKAAN
 No. Induk : 1535 / H / 04
 Klasifikasi : IL. 97. 04. 1535
 Subjek : Abstrak +, Keyword +
 Harga / Asal :
 Pemb. / Had / Tk :
 Katalog : 06-10-04
 DII :
 25 - 01 - 2005

DAFTAR ISI

1. Pendahuluan.....	4
2. Skema dan Karakteristik Pembakar Turbin Gas.....	4
2.1 Perkembangan Teknologi Pembakar Turbin Gas.....	4
2.2 Trend Pemanfaatan Bahan Bakar dan Diversifikasi Bahan Bakar.....	5
2.3 Jenis dan Karakteristik Pembakar dan Contohnya.....	5
3. Prinsip Dasar Dari Pembakar Pada Turbin Gas.....	6
3.1 Pembakar Turbin Gas.....	6
3.2 Kondisi Pembakaran dan Distribusi Udara.....	1
3.3 Kestabilan Proses Pembakaran dan <i>Flammability</i>	2
3.4 Pengapian dan Pergerakan Api (Ignition and Fire Change).....	2
3.5 Metode Pendinginan Dinding (<i>wall surface cooling method</i>).....	3
3.6 <i>Burner Material</i>	4
4. Kemampuan yang Dibutuhkan Turbin Gas.....	5
4.1 Parameter Performance.....	5
4.2 Karakteristik NO _x dan Metode Penurunan NO _x	7
5. Daftar Pustaka.....	9

GAMBAR

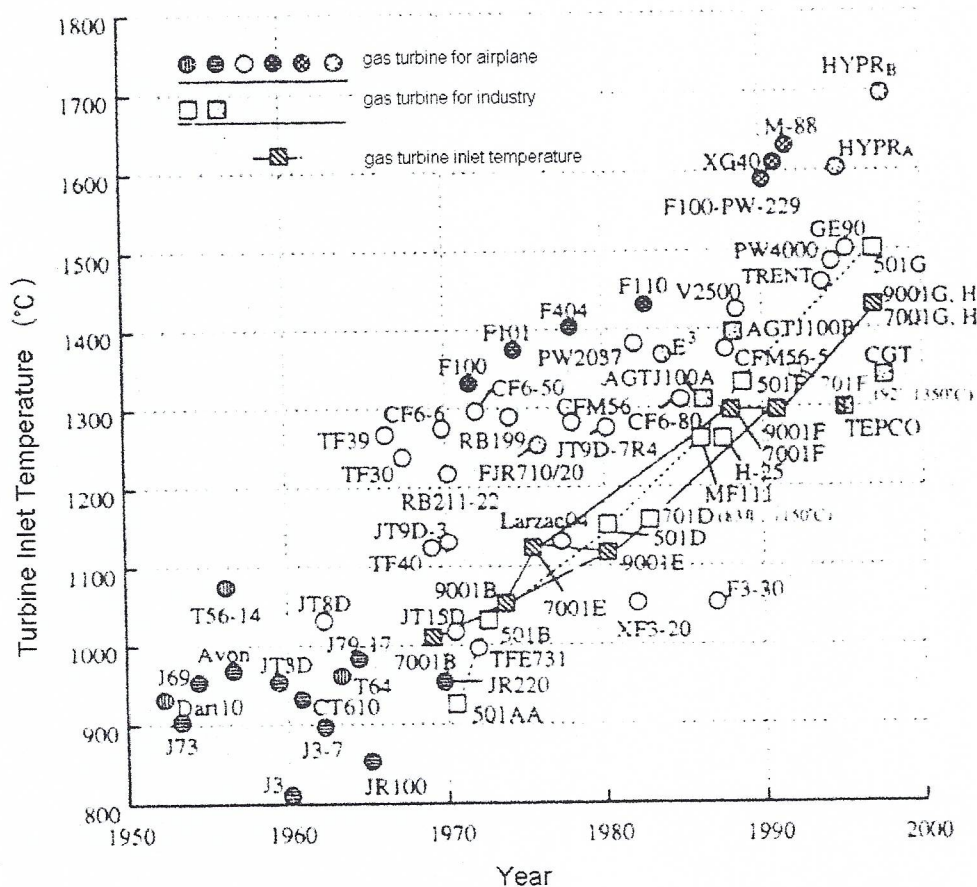
Gambar 1 Perubahan Kenaikan Suhu Masukan Turbin.....	4
Gambar 2 Perubahan Suhu Pembakaran.....	5
Tabel 1 Jenis Bahan Bakar Turbin Gas.....	6
Tabel 2 Kualitas Bahan Bakar Gas.....	6
Gambar 3 Perbandingan beberapa tipe Pembakar Turbin Gas (<i>Gas Turbine Combustor Type</i>).....	7
Gambar 4 Konstruksi Pembakar Turbin Gas.....	1
Gambar 5 Struktur Turbin Gas dengan satu sumbu.....	1
Gambar 6 Siklus Playton.....	1
Gambar 7 Distribusi Suhu di Sekitar Pembakar.....	2
Gambar 8 Distribusi Udara di Turbin Gas.....	2
Gambar 9 <i>Swirler</i> dan Sirkulasi aliran di sekitarnya.....	2
Gambar 10 Nyala Api dan Pergerakannya di Multi-Can Gas Turbine.....	3
Gambar 11 Batas dan Kecepatan Perpindahan Nyala Api.....	3
Gambar 12 Jenis Metoda Pendinginan Dinding Pembakar.....	4
Gambar 13 Perubahan Efisiensi Pendinginan Metal.....	4
Gambar 14 Hubungan antara jumlah air pendingin dengan penurunan NO _x dan kenaikan suhu bakar.....	4
Gambar 15 Karakteristik Exhausting Turbin Gas Pesawat Terbang.....	5
Gambar 16 Karakteristik Efek Pembakaran Terhadap Efisiensi Pembakar.....	5
Gambar 17 Distribusi Suhu pada <i>Combustor Outlet</i>	6
Gambar 18 Rugi-Tekan.....	6
Gambar 19 Efek Rugi-Tekan terhadap Efisiensi Kerja.....	7
Gambar 20 Hasil Pengukuran Frekuensi Gelombang Getaran di dalam <i>Multi-Can Type Burner</i>	7
Gambar 21 Distribusi Suhu Liner Combustor tipe Annular.....	7
Gambar 22 Perbandingan Emisi NO _x dari tiap Bahan Bakar.....	8
Gambar 23 Efek dari Stam Injection terhadap penurunan NO _x	8
Gambar 24 Efek dari Pre-Mixed Combustion terhadap NO _x	8

1. Pendahuluan

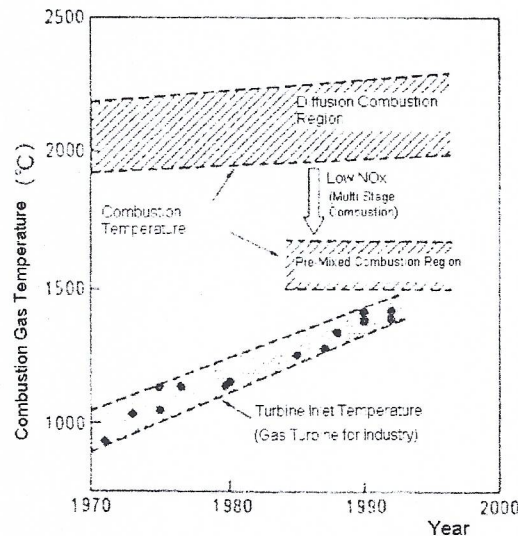
Perkembangan teknologi turbin gas akhir akhir ini, khususnya didasarkan atas penghematan energi yang berhubungan dengan kenaikan efisiensi konversi energi turbin gas dan adanya pegetatan terhadap peraturan dampak lingkungan. Peningkatan efisiensi yang tinggi, dilakukan dengan meningkatkan suhu dan tekanan pada masukan turbin (*inlet turbine*). Pemakaian teknologi pembakaran berkaitan dengan pengurangan dampak lingkungan, dan pengembangan teknologi pemakaian diversifikasi bahan bakar. Selain itu pengurangan NO_x di teknologi pembakaran dan teknologi diversifikasi bahan bakar, merupakan persoalan yang perlu dipecahkan. Pada makalah ini diulas tentang perkembangan combustor pada turbin gas, dengan karakteristik dan cirri-cirinya. Dan beberapa jenis combustor yang dapat dipakai pada diversifikasi bahan bakar dan kecenderungan/trend yang ada.

2. Skema dan Kharakteristik Pembakar Turbin Gas

2.1 Perkembangan Teknologi Pembakar Turbin Gas



hanya *diffused combustion*, dimana suhu pembakaran di bagian dalam hampir sama dengan suhu api pembakaran pada perbandingan udara 1, hal ini berhubungan dengan kenaikan suhu udara. Tetapi setelah tahun 1980, teknologi pembakaran *drying type* untuk NOx rendah dengan *pre-mixed combustion* mulai diaplikasikan. Kebalikan dari kenaikan suhu masukan turbin, dimana suhu pembakaran rata rata menjadi turun.



Gambar 2 Perubahan Suhu Pembakaran

2.2 Trend Pemanfaatan Bahan Bakar dan Diversifikasi Bahan Bakar

✓ Bahan bakar untuk turbin gas umumnya adalah gas alam (natural gas), tetapi karena pada pemakaiannya terjadi pembakaran yang berkesinambungan dapat dipakai jenis bahan bakar lain seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Pada tabel 2 ditunjukkan kualitas dari contoh bahan bakar untuk turbin gas. Seperti pemakaian pada minyak berat (*heavy oil*), logam dan *impurities* merupakan penyebab terjadinya korosi pada suhu tinggi dan terbentuknya deposit atau scale, sehingga adanya *impurities* sangat perlu diperhatikan.

2.3 Jenis dan Karakteristik Pembakar dan Contohnya

Pada umumnya jenis pembakar turbin gas dapat dibagi dalam 2 jenis, yaitu *can type* dan *annular type*. Dengan memperhatikan arah aliran dan *flow pattern* dapat dibagi menjadi *Adverse Flow Type* dan *Direct Flow Type*. Dan berdasarkan jumlah pembakar, dapat dibagi menjadi *single type* dan *multi combustor type*.

Pada *can type*, terdapat *multi can type*, *annular type*, *single can type* dan *double can type*. Sebagai contoh perbedaan antara tipe tipe tersebut, ilustrasi dari bentuk pembakar turbin gas ditunjukkan pada gambar 3. Sedangkan sebagai salah contoh bentuk konstruksi pembakar dapat ditunjukkan gambar 4.

Dari bentuk-bentuk struktur pembakar, umumnya terdiri dari, *combustor nozzle*, *inner case*, *outer case*, *tail case* dan *combustion air adjustment*. Pada area ketika proses pembakaran dimulai, terjadi pencampuran antara udara dan bahan bakar, dimana untuk menjaga kestabilan nyala api (*flame*) dipasang *bluff-body* dan *swirler*.

Karena suhu sangat tinggi di dalam *inner case*, maka dibutuhkan pendinginan, yang dilakukan dengan cara penggabungan beberapa metode pendinginan, misalnya seperti *convection*, *film*, *impingement*, yang kesemuanya berfungsi untuk meningkatkan efek pendinginan. Untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, suhu pembakaran dinaikkan, karena itu pada *inner case* dipakai bahan yang mempunyai sifat isolator yang baik, yaitu *Thermal Barrier Coating* atau *Ceramic Liner*.

3. Prinsip Dasar Dari Pembakar Pada Turbin Gas

3.1 Pembakar Turbin Gas

Gambar 5 menunjukkan kerja turbin gas secara termodinamika dan pada gambar 6 menunjukkan siklus Playton, dimana proses pembakaran terjadi pada proses 2 ke 3. Bahan bakar di injeksikan ke udara yang ada pada kondisi tekanan dan suhu yang tinggi karena kompresi, dimana akan terjadi pembakaran secara kontinyu. Untuk menaikkan *turbine inlet temperature (gas temperature)* pada proses 3, fungsi pembakar sangat penting.

Suhu gas di keluaran pembakar adalah merupakan campuran dari udara pendingin dinding dengan udara tipis yang terjadi di gas pembakar dengan suhu tinggi di dalam pembakar. (gambar 7). Dengan pengurangan jumlah udara tipis dan udara pendingin ketahanan terhadap kenaikan suhu yang tinggi dapat ditingkatkan. Karena itu *turbine inlet temperature* berada pada suhu 1500~1600°C, yang merupakan suhu *pre-mixed combustion*, dimana area suhu tersebut adalah merupakan batas untuk pengurangan NOx dengan cara pengontrolan pembakaran.

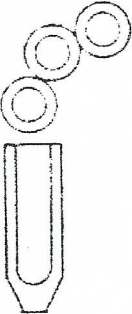
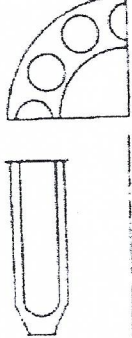
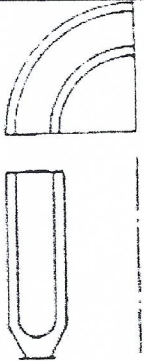
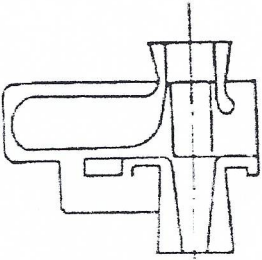
Tabel 1 Jenis Bahan Bakar Turbin Gas

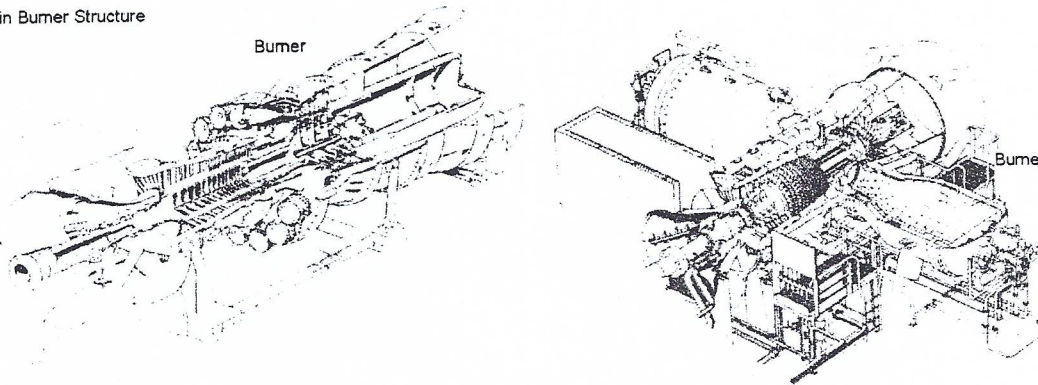
Bahan bakar gas	Bahan bakar cair
Natural Gas	Naftha
LNG	Kerosene
City Gas	Light Oil(Gas Oil)
LPG	Heavy Oil(Solar Oil)
Gas from Coal Gasification	Crude Oil
Gas Furnace	Methanol

Tabel 2 Kualitas Bahan Bakar Gas

Komposisi (vol %)		LNG	City Gas 13A	LPG
CH ₄		87.2	88.5	-
C ₂ H ₆		8.2	4.3	-
C ₃ H ₈		2.4	5.7	3.0
C ₄ H ₁₀		1.0	1.5	95.0
C _n H _m		-	-	2.0
N ₂		1.2	-	-
Low grade calorific value	(MJ/m ² N)	39.7	41.4	118.2
	(MJ/kg)	48.4	49.1	45.7

Gambar 3 Perbandingan beberapa tipe Pembakar Turbin Gas (Gas Turbine Combustor Type)

Bentuk	Multi-can type	Cannular type	Annular Type	Single Can type
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> ● Mudah dikembangkan ● Mudah dalam perawatan 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dibandingkan dengan Multican type, persentase pemakaian ruang lebih banyak ● Dibandingkan Annular Type, perawatannya lebih mudah 	<ul style="list-style-type: none"> ● Perpindahan nyala api tidak diperlukan ● Transition piece tidak diperlukan 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistem suplai bahan bakarnya sangat mudah ● Perpindahan nyala api tidak diperlukan
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> ● Diperlukan beberapa ignition device dan pipa pemindah api ● Transition piece tidak diperlukan 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dibandingkan Annular Type persentase pemanfaatannya rendah ● Dibutuhkan pipa pemindah api 	<ul style="list-style-type: none"> ● Secara struktur lemah 	<ul style="list-style-type: none"> ● Diperlukan ukuran yang besar sehingga diperlukan struktur yang sulit
Struktur				



Gambar 4 Konstruksi Pembakar Turbin Gas

3.2 Kondisi Pembakaran dan Distribusi Udara

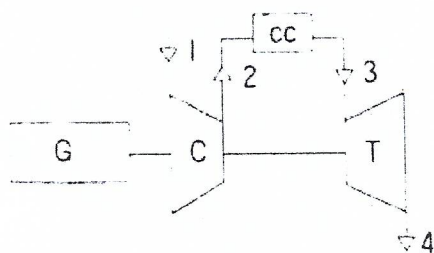
Jumlah udara yang masuk ke dalam pembakar dan distribusi udara di dalam pembakar merupakan salah satu index yang penting untuk menunjukkan *performance* pembakaran. Pada area pembakaran, dengan pengontrolan perbandingan udara bakar, suhu udara diatur, yang bertujuan untuk mengontrol meningkatkan kestabilan pembakaran dan pengurangan NOx.

Cara pengontrolan jumlah udara, adalah sama dengan yang dilakukan pada cara untuk peningkatan pembakaran pada kalori rendah yang dipakai pada kompresor udara di VIGV. Juga dilakukan dengan cara pengaturan udara pembakaran yang sebagian akan masuk ke dalam pembakar pada bypass valve yang mempunyai konstruksi yang dapat berubah gambar 8 Untuk menaikkan efisiensi pembakaran pada pre-mixing combustion, distribusi di dalam pembakar, dipakai cara yang sering dipakai pada beberapa tahun terakhir ini yaitu pembakar NOx rendah tipe kering (*Low Nox Dry Type Combustor*). Cara ini dilakukan dengan tujuan untuk menaikkan kemampuan pembakaran pada saat beban pembakaran yang melebar, dengan memperlebar pembakaran secara perlahan dengan cara mengatur pengapian dan tiap *flame* secara berurutan, ini didapat dengan mengontrol udara pembakaran dan *multicombustor* lalu *air ratio* secara bersamaan.

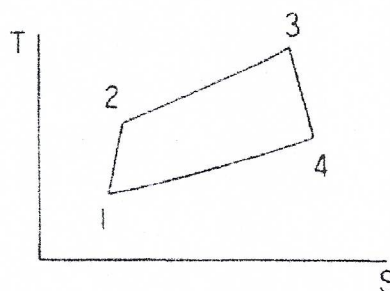
Selain untuk menaikkan kemampuan pembakaran, juga untuk distribusi udara pembakaran. Distribusi udara pembakaran dipakai juga untuk pendinginan dinding dan sirkulasi udara tipis, seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.

Kesemuanya aliran udara masuk ke dalam pembakar berdasarkan perbedaan tekanan udara pada pembakar, masing masing jumlah udara, didistribusikan dengan pengontrolan bukaan pada area slot.

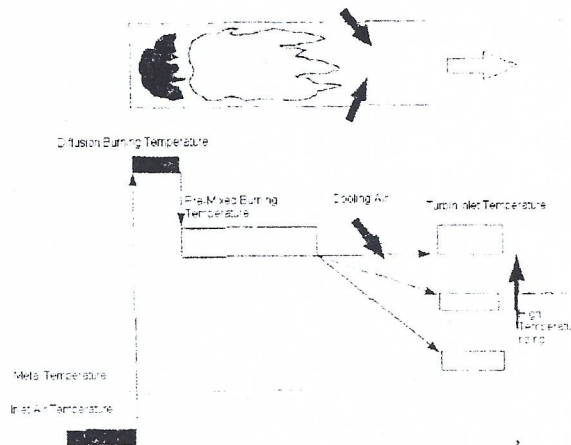
Total dari area slot pada bukaan menentukan besarnya *rugi tekan* pada pembakar. Sebagai salah faktor yang penting pada pendisainan pembakar, faktor distribusi udara adalah merupakan juga faktor yang penting pada efek *performance* turbin gas, *performance* pendinginan dinding sudu (*blade*), distribusi suhu pada outlet pembakar serta kestabilan pembakaran.



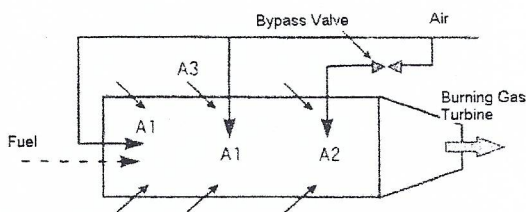
Gambar 5 Struktur Turbin Gas dengan satu sumbu



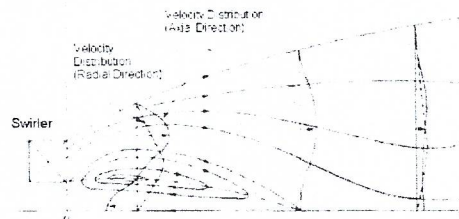
Gambar 6 Siklus Playton



Gambar 7 Distribusi Suhu di Sekitar Pembakar



Gambar 8 Distribusi Udara di Turbin Gas



Gambar 9 Swirler dan Sirkulasi aliran di sekitarnya

3.3 Kestabilan Proses Pembakaran dan *Flammability*

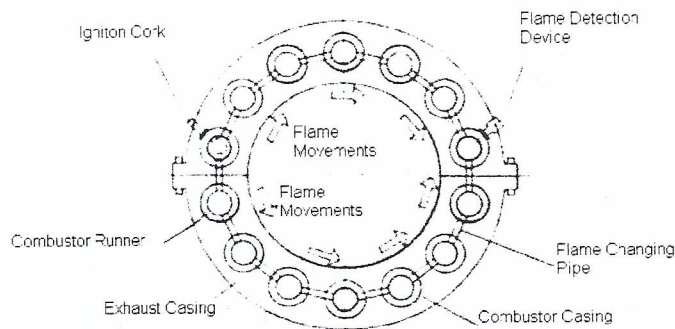
Ratio beban pembakaran pada pembakar turbin gas sangat tinggi dibandingkan dengan sistem pembakaran pembakar yang lain. Rata-rata kecepatan gas pada keluaran pembakar adalah 90m/s. Pada kecepatan aliran gas yang tinggi ini, jika tidak ada komposisi/struktur yang memungkinkan terjadinya kestabilan nyala api (*flammability*), nyala api akan terbawa ke arah hilir sehingga untuk mempertahankan nyala menjadi suatu hal yang tidak mungkin. Pada turbin gas burner, biasanya seperti yang ditunjukkan di gambar 9, penggunaan swirler, di area pembakaran dapat terbentuk daerah sirkulasi aliran, dimana kestabilan pembakaran akan terjaga. Di daerah sirkulasi aliran ini, sebagian bahan bakar yang disemprotkan, karena adanya aliran balik dari gas bersuhu tinggi dari arah hilir, terjadi nyala api (*ignition*) dan terjadilah pembakaran. Kemudian bahan bakar gas yang sebagian lagi di sirkulasi lagi (*recirculation*), untuk menyalakan dan membakar bahan bakar gas yang baru masuk, dan siklus ini terjadi berulang-ulang, sehingga proses pembakaran ini terjaga secara kontinyu. Dalam hal ini pada daerah sirkulasi, bahan bakar yang baru berfungsi sebagai sumber nyala api (*ignition source*). Berbagai macam cara untuk membentuk aliran balik gas untuk menstabilkan pembakaran, tetapi yang paling banyak dipakai di pembakar turbin gas adalah dengan pemasangan *swirler*.

3.4 Pengapian dan Pergerakan Api (Ignition and Fire Change)

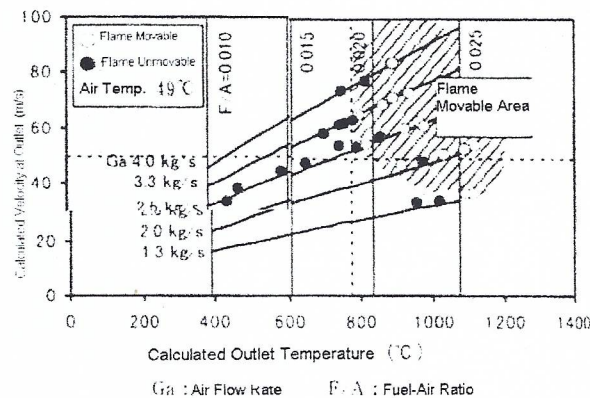
Jenis-jenis pembakar turbin gas seperti yang ditunjukkan di gambar 3 adalah bermacam-macam. Pada single nozzle, mono-can burner cukup dibutuhkan hanya sekali penyalaan api (*ignition*). Tetapi seperti yang ditunjukkan pada gambar 10, pada *multican type burner* biasanya *ignition cork* tidak disemua pembakar terpasang, karena itu biasanya dibutuhkan perpindahan nyala api dari pembakar yang ada *ignition cork* ke pembakar yang tidak ada *ignition cork*. Untuk mendeteksi terjadinya proses perpindahan nyala api biasanya

dipasang beberapa pipa penghantar nyala api, dan *flame detection device*.

Syarat terjadinya perpindahan nyala api antara burner adalah, suhu dan kecepatan gas di keluaran pipa penghantar nyala api mencapai batas parameter, seperti ditunjukkan pada gambar 11. Selain itu pada *igniton cork* (di bagian ujungnya) telah cukup melepaskan *igniton energi*, dan untuk mendapatkan kondisi penyalaan api yang baik, *fuel nozzle*, area sirkulasi bahan bakar perlu dipertimbangkan untuk dimasukkan di tempat yang tepat. Bentuk atau tipe *igniton cork* harus mudah dalam penanganan, baik saat dipakai dengan bahan bakar gas atau cair, biasanya yang paling banyak digunakan adalah *electrical type (spark electric discharge)*. Selain itu untuk penggunaan atau pemilihan *flame detection device* perlu dipertimbangkan berdasarkan karakteristik radiasi sinar (panjang gelombang dan kekuatan cahaya) yang dikeluarkan oleh nyala api dari *igniton cork*.



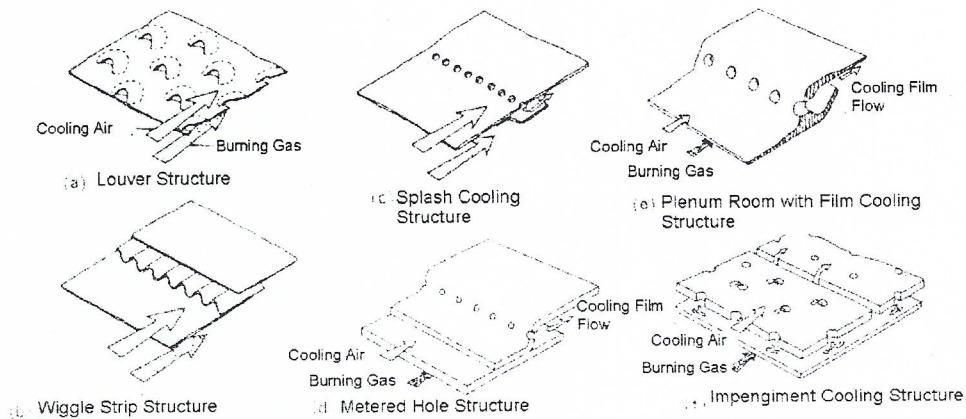
Gambar 10 Nyala Api dan Pergerakannya di Multi-Can Gas Turbine



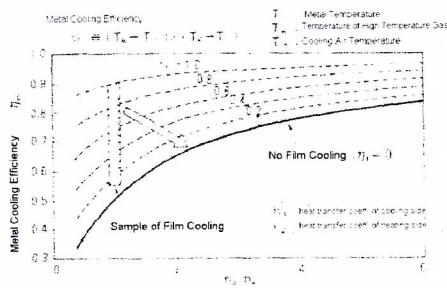
Gambar 11 Batas dan Kecepatan Perpindahan Nyala Api

3.5 Metode Pendinginan Dinding (*wall surface cooling method*)

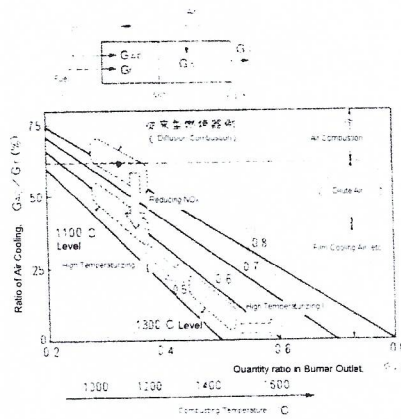
Pada bagian dalam pembakar suhu gas berubah dari 2000°C lebih (suhu api) yang berubah menjadi sekitar 1500°C pada daerah sekitar keluaran turbin gas. Dengan keadaan yang memiliki perbedaan suhu besar ini diperlukan proses pendinginan pada dinding pembakar. Jenis proses pendinginan tersebut ditunjukkan pada gambar 12. Bahan penahan rambatan panas dari api ke dinding turbin gas biasanya digunakan logam tahan panas, adalah keramik atau *metal tile* yang mempunyai kelebihan dapat ditempel pada dinding dimana saja.



Gambar 12 Jenis Metoda Pendinginan Dinding Pembakar



Gambar 13 Perubahan Efisiensi Pendinginan Metal



Gambar 14 Hubungan antara jumlah air pendingin dengan penurunan NOx dan kenaikan suhu bakar

Pada gambar 13 ditunjukkan karakteristik pendinginan (*metal cooling efficiency*, η_m) permukaan dinding dengan cara *film cooling*. Idealnya untuk pembakaran pada pembakar adalah terjadinya penurunan NOx, akibat dari itu adalah dibutuhkannya penurunan suhu bakar. Pada beberapa tahun terakhir ini, kenaikan *film cooling efficiency*, η_f , dan perubahan struktur pendinginan dengan menaikkan karakteristik pendinginan berusaha menyesuaikan terhadap kecenderungan kenaikan tekanan dan suhu dari turbin gas. Terutama sekaligus pada *Drying Type Low NOx Burner*, untuk keperluan penurunan emis NOx dengan menurunkan suhu pembakaran, diperlukan lebih banyak udara pembakaran, sehingga ada kecenderungan udara pendingin terpaksa diturunkan jumlah volumenya. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 16. Dari gambar ditunjukkan, untuk penurunan emisi NOx dengan adanya kenaikan suhu bakar, maka kenaikan karakteristik pendinginan sangat diperlukan (dimana h_a/h_g menjadi besar)

3.6 Burner Material

Kebutuhan material untuk pembakar turbin gas membutuhkan material logam yang tahan suhu tinggi, tahan karat, tahan akan keasaman, atau tahan *thermal fatigue*. Jenis material logam yang biasa dipakai adalah Hastelloy-X, HA188, Nimonic 263, Tommiloy.

Perkembangan turbin gas, menuntut perkembangan teknologi material yang merupakan isolator panas yang baik dan mempunyai daya tahan terhadap panas yang tinggi. Dengan adanya kemajuan teknologi material tahan panas, efisiensi pendinginan tinggi yang didapat dari

struktur pendinginan rumit, tidak diperlukan lagi. Sebagai gantinya struktur pendinginan yang *simple* dapat diperoleh. Komposisi pendingin dengan struktur rumit memperbesar timbulnya *rugi tekan* pada proses pendinginan dinding pembakar. Karena itu kemajuan di bidang material logam tahan panas sangat memberikan efek yang besar pada struktur pendinginan dan peningkatan *performance* turbin gas.

4. Kemampuan yang Dibutuhkan Turbin Gas

Pembakar adalah salah satu bagian komponen dari turbin gas yang harus memiliki *performance* pembakaran yang stabil selain faktor *reliability* yang tinggi pada saat beroperasi. Di bawah ini diberikan faktor faktor yang merupakan parameter untuk menilai *performance* dari turbin gas.

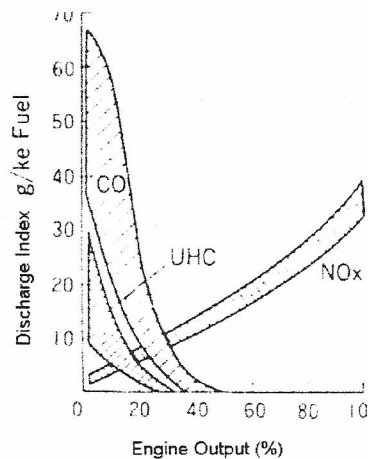
4.1 Parameter Performance

(1) Karakteristik gas buang/efisiensi pembakaran

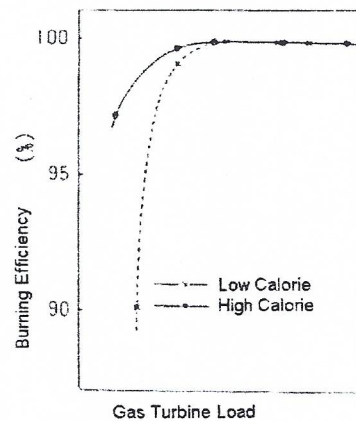
Gas buang beracun yang dihasilkan oleh turbin gas adalah NO_x, SO_x, CO, UHC (pembakaran tidak sempurna Carbon. Hidrogen). SO_x sangat bergantung pada kandungan S di dalam bahan bakar, sedangkan NO_x, CO, UHC bergantung pada suhu bakar.

Gambar 15 menunjukkan hubungan antara keluaran turbin dengan NO_x, CO dan UHC. Emisi thermal NO_x akan semakin tinggi jika suhu api semakin tinggi, sedangkan emisi CO dan UHC akan semakin mudah timbul pada saat suhu pembakaran merendah. Karena itu pada saat beban tinggi, emisi NO_x akan naik dan pada saat beban turun emisi CO dan UHC akan naik dengan cepat. Pada suhu *pre-mixing combustion*, dua jenis emisi tersebut dapat ditekan.

Efisiensi pembakaran akan mencapai 100% pada saat pembakaran mendekati *rated load*. Pada gambar 16 ditunjukkan emisi CO dan UHC yang bertambah pada saat beban menurun yang mengakibatkan efisiensi menurun.



Gambar 15 Karakteristik Exhausting Turbin Gas Pesawat Terbang



Gambar 16 Karakteristik Efek Pembakaran Terhadap Efisiensi Pembakar

(2) Pattern Factor

Pattern factor (pf) merupakan parameter untuk mengevaluasi ke-uniform-an distribusi suhu di pintu keluaran pembakar turbin gas. *Pattern Factor* ditunjukkan pada persamaan berikut,

$$p.f = \frac{(T_{max} - T_{mean})}{(T_{mean} - T_c)}$$

T_{max} : Suhu maximal dari gas bakar
 T_{mean} : Suhu rata rata gas bakar

T_c : Suhu udara masukan pembakar

Di permukaan dinding pembakar dengan adanya proses pendinginan, suhu gas menurun sedangkan suhu pada pintu keluaran pembakar atau disebut pintu masukan turbin dapat dilihat di gambar 17. *Pattern factor* untuk pembakar turbin gas pada umumnya adalah sekitar 15%. Jika nilai *pattern factor* lebih besar dari ini maka akan terjadi penurunan gaya aerodinamis, dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada sudu turbin (*turbine blade*). *Pattern factor* ini sangat mudah dipengaruhi oleh bentuk pembakar dan efek dari rugi tekan.

(3) Rugi tekan

Rugi tekan yang terjadi di dalam pembakar dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini,

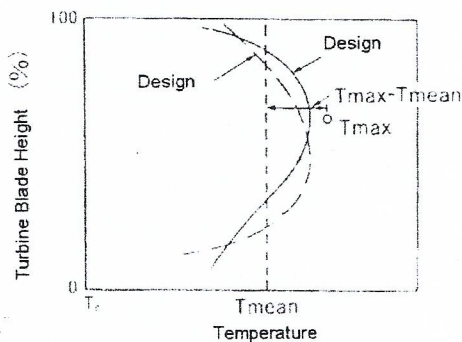
$$\frac{\Delta P}{P_i} = \frac{(P_i - P_o)}{P_i} \times 100\%$$

P_i : Tekanan udara total di pintu keluaran pembakar

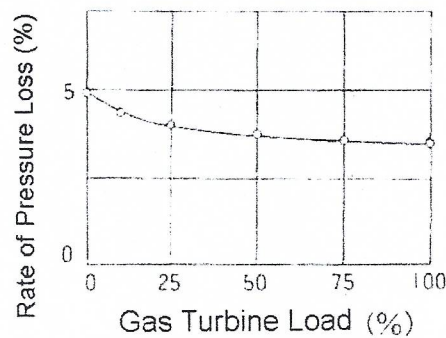
P_o : Tekanan gas total pada pintu keluaran pembakar

Rugi tekan ini dapat berubah antara lain karena pengaruh kondisi operasi, bukaan area dari pintu udara yang terdapat di dalam pembakar serta *discharge coefficient*. Pada kondisi *rated load*, rugi tekan sekitar 3-6%, rugi tekan meningkat dengan turunnya beban kerja pada turbin gas. (gambar 18).

Ketika rugi tekan meningkat, pencampuran udara dengan bahan bakar serta pendinginan dinding pembakar semakin mudah, gambar 19 menunjukkan penurunan efisiensi panas.



Gambar 17 Distribusi Suhu pada *Combustor Outlet*

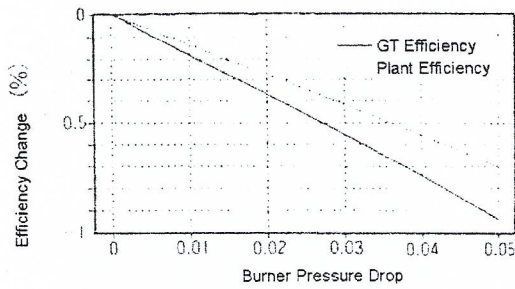


Gambar 18 Rugi-Tekan

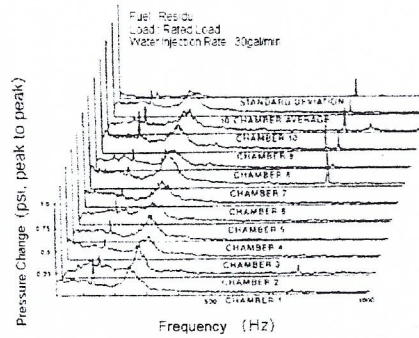
(4) Getaran pembakaran

Getaran pembakaran adalah suatu fenomena yang diakibatkan oleh resonansi sistem suara antara masing-masing komponen mesin dengan getaran dari fenomena pembakaran. Fenomena getaran pembakaran ini dapat menyebabkan terjadinya keretakan, *fatigue metal* yang dapat memberi efek buruk terhadap kondisi kerja turbin gas. Gambar 20 menunjukkan contoh hasil pengukuran frekuensi getaran pembakaran di dalam *Multi-can Burner*.

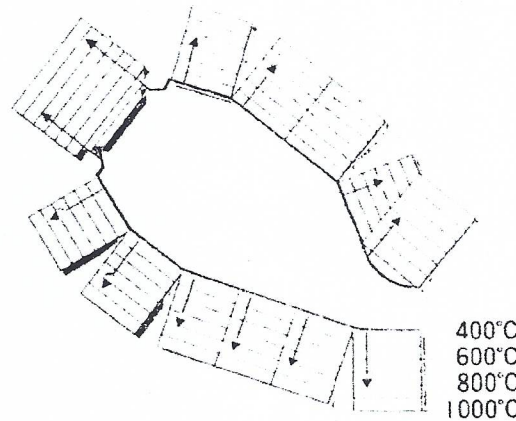
Mekanisme dari timbulnya getaran pembakaran merupakan fenomena yang sangat sulit, karena merupakan gabungan dari banyak faktor seperti reaksi pembakaran, aliran udara/gas, dan bentuk komponen mesin.



Gambar 19 Efek Rugi-Tekan terhadap Efisiensi Kerja



Gambar 20 Hasil Pengukuran Frekuensi Gelombang Getaran di dalam Multi-Can Type Burner



Gambar 21 Distribusi Suhu Linier Combustor tipe Annular

(5) Distribusi suhu logam

Komponen logam pembakar yang terkena suhu tinggi akibat efek radiasi gas bakar dan aliran gas bakar, harus didinginkan sampai di bawah suhu operasi metal. Gambar 21, menunjukkan hasil pengukuran distribusi suhu pada *Liner Combustor tipe Annular*.

Pada perkembangan teknologi yang terakhir, untuk menanggulangi efek dari naiknya suhu di pintu masukan turbin serta juga usaha untuk menurunkan emisi NOx, perbaikan struktur pendingin, penaikan efek isolator logam, penggunaan media pendingin selain uap air, serta pengecilan ruang bakar yang berakibat pengecilan area pendingin, hal ini menyebabkan penurunan yang besar pada suplai udara untuk pendingin.

4.2 Khakteristik NOx dan Metode Penurunan NOx

Emisi NOx dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, proses pembakaran, Fuel NOx, serta Thermal NOx. Pada fuel NOx, NOx dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar yang mengandung komponen/unsur S yang diikuti dengan proses oksidasi. Usaha penurunan emisi fuel NOx berbeda dengan Thermal NOx. Thermal NOx umumnya dihasilkan dari pembakaran gas alam, minyak tanah dan bahan bakar cair pada saat pembakaran. Faktor utama yang menyebabkan timbulnya thermal NOx adalah suhu pembakaran, sedangkan efek dari kecepatan reaksi pembakaran sangat kecil sedangkan efek dari lamanya pembakaran sangat besar.

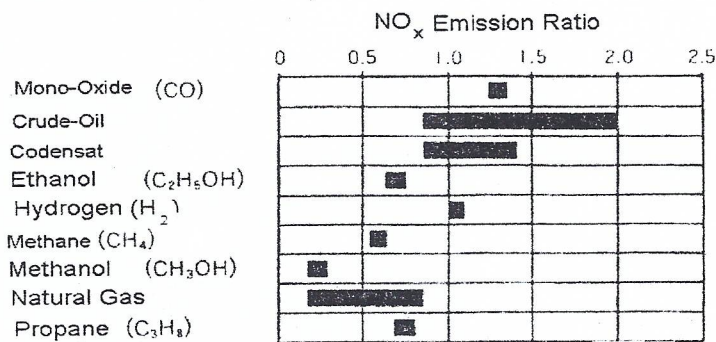
Menurut jenis bahan bakarnya, kharakteristik emisi NOx yang dihasilkan berbeda, ini ditunjukkan pada gambar 22. Perbedaan Fuel NOx pada tiap jenis bahan bakar diakibatkan

karena perbedaan suhu bakar dan komposisi kandungan S.

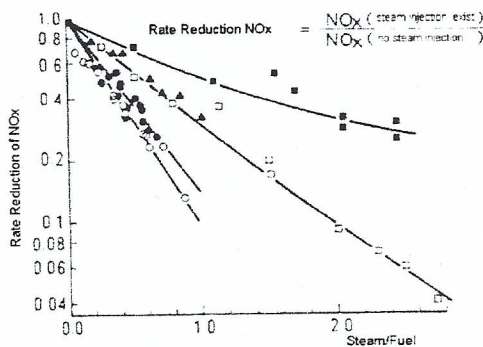
Karakteristik NO_x dipengaruhi oleh efek kondisi operasi, antara lain efek dari tekanan udara di pembakar, suhu udara, suhu keluaran, kelembaban udara, dan lama pembakaran.

Cara penurunan NO_x berbeda, bergantung pada struktur mesin dan kondisi kerja. Pada umumnya cara penurunan NO_x adalah dengan penurunan suhu pembakaran. Sekarang ini untuk menurunkan emisi NO_x secara besar-besaran pada pemakaian bahan bakar gas alam, pada mesin turbin gas diterapkan metode/cara penyemprotan uap air/air dan *pre-mixed combustion*.

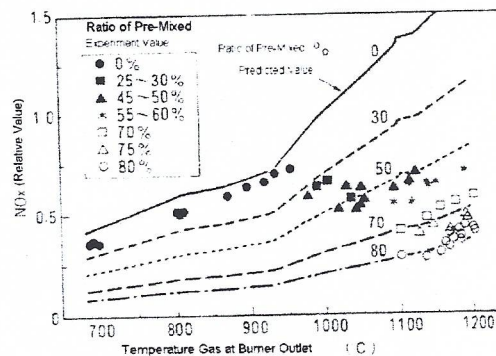
Metode penyemprotan uap air/air adalah sebuah metode dimana dilakukan penyemburan/penyemproan air/uap air ke area pembakaran, dengan tujuan menurunkan suhu pembakaran dan menurunkan emisi NO_x. Berdasarkan efek dari penurunan suhu pembakaran yang berbeda memberikan efek yang berbeda terhadap rasio penurunan NO_x. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 23. Bersamaan dengan kenaikan jumlah volume penyemprotan uap air, beberapa *demerit point* muncul antara lain, menyebabkan kenaikan level getaran pembakaran, kenaikan jumlah volume uap air/air yang disuplai. Tetapi dari timbulnya beberapa *demerit point*, dari pengalaman dengan hanya menambahkan *injection nozzle* saja, penurunan emisi NO_x dapat dicapai. Dan cara penambahan *injection nozzle* pada ruang bakar, merupakan cara yang banyak dipakai dalam usaha penurunan emisi NO_x.



Gambar 22 Perbandingan Emisi NO_x dari tiap Bahan Bakar



Gambar 23 Efek dari Stam Injection terhadap penurunan NO_x



Gambar 24 Efek dari Pre-Mixed Combustion terhadap NO_x

Penurunan NO_x dengan memakai metode *Pre-Mixed Combustion*, umumnya adalah pengalihan pemakaian *Diffused combustion* sebagai sumber penghasil NO_x menjadi *Pre-Mixed Combustion*. Gambar 24 menunjukkan penurunan rasio diffusi menyebabkan penurunan NO_x. Pemanfaatan *Pre-Mixed Combustion* pada *Drying Type Low NO_x Combustion*, diperlukan pertimbangan ekonomis untuk pembuatan struktur pembakar (*burner*) karena dibutuhkannya beberapa pipa pembakar.

5. Daftar Pustaka

- (1) "*Gas Turbine Combustion Technology*", F. Meda, T. Koga, N. Kobayashi, T. Yamamoto, and T. Kimura, *Japanese Thermal and Nuclear Power*, No. 517, Vol. 50, 1999, pp144-165.