

**PENGARUH KARAKTERISTIK BATUBARA DAN PROSES  
PEMBAKARAN PADA BOILER BATUBARA BUBUK  
(PULVERIZED COAL) TERHADAP EMISI NO<sub>x</sub> DI INDUSTRI TEKSTIL**

***THE INFLUENCE OF THE COAL CHARACTERISTIC AND COMBUSTION  
PROCESS TO THE PULVERIZED COAL BOILER TOWARD NO<sub>x</sub>  
EMISSION IN TEXTILE INDUSTRY***

**Mochammad Furqon, Doni Sugiyana**

Balai Besar Tekstil  
Jl. A. Yani No. 390 Bandung  
Telp. 022.7206214-5 Fax. 022.7271288 E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima : 15 Maret 2012, direvisi : 10 Mei 2012, disetujui terbit : 16 Mei 2012

**ABSTRAK**

Dalam penelitian ini dipelajari perkiraan emisi NO<sub>x</sub> dari penggunaan boiler batubara bubuk di industri tekstil berdasarkan pengaruh karakteristik batubara dan proses pembakaran pada boiler. Penelitian dilakukan melalui pendekatan pengembangan empiris untuk memperkirakan pembentukan NO<sub>x</sub> dengan menganalisis faktor – faktor: karakteristik batubara, desain – operasi burner dan desain – operasi boiler. Kandungan nitrogen, zat terbang dan kehalusan butir diidentifikasi sebagai karakteristik batubara yang mempengaruhi emisi NO<sub>x</sub>. Jumlah putaran burner di atas 1,0 pada penggunaan burner ditemukan mampu menghasilkan kadar emisi NO<sub>x</sub> lebih rendah. Pengoperasian boiler perlu memperhatikan aspek konsentrasi oksigen dan proses pelepasan panas pada daerah burner karena potensial mempengaruhi tingkat emisi NO<sub>x</sub>.

**Kata kunci:** batubara bubuk, boiler, emisi NO<sub>x</sub>, industri tekstil

**ABSTRACT**

*In present work, estimation for NO<sub>x</sub> emission from pulverized coal boiler utilization in textile industry was studied, based upon effect of coal characteristic and burning process in boiler. Research was carried out by using empirical development approach for estimating NO<sub>x</sub> generation through analysis of several factors: coal characteristic, burner design – operation and boiler design – operation. Nitrogen content, volatile matter and grain fineness were identified as a specific coal characteristic which are affect NO<sub>x</sub> emission. Burner rotation number more than 1,0 in burner operation was found able to generate the lower NO<sub>x</sub> emission level. Boiler utilization has to consider oxygen concentration aspect and heat release process around burner zone, which potentially influence the NO<sub>x</sub> emission level.*

**Keywords:** pulverized coal, boiler, NO<sub>x</sub> emission, textile industry

## PENDAHULUAN

Salah satu bentuk pencemaran dari industri tekstil adalah emisi pencemar ke lingkungan udara antara lain berupa:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  dan partikulat.<sup>1</sup> Emisi udara telah diidentifikasi sebagai masalah pencemaran yang mendapatkan perhatian serius di samping masalah limbah cair. Studi kualitatif dan kuantitatif pencemar udara yang diemisikan dari proses tekstil pada umumnya mengalami kendala akurasi dan presisi dalam metoda pengukuran di lapangan. Pengukuran kualitas udara yang handal merupakan gabungan dari serangkaian proses yang memenuhi tingkat akurasi dan presisi tertentu yang meliputi pengambilan contoh, perlakuan contoh, pemisahan dan pemekatan, pengukuran dan pengolahan data.<sup>2</sup> Kesulitan dalam pengukuran pencemaran udara di industri tekstil dipengaruhi fakta bahwa konstituen emisi udara dari kegiatan industri tekstil relatif kompleks akibat penggunaan material yang bervariasi pada sumber pencemar.

Substitusi bahan bakar minyak menjadi bahan bakar batubara dalam dua dekade terakhir banyak diaplikasikan pada pengoperasian boiler di industri tekstil.<sup>3</sup> Fenomena ini berpotensi menyebabkan perubahan karakteristik emisi udara di industri tekstil, sehingga membutuhkan pendekatan pengendalian pencemaran yang lebih baik. Upaya pengendalian pencemaran udara akan efektif apabila diawali dengan metoda pengukuran pencemaran udara yang akurat. Dengan adanya kendala – kendala pengukuran yang telah disebutkan sebelumnya maka sangat penting untuk mendapatkan suatu metoda untuk dapat memperkirakan jumlah emisi gas yang terbentuk dari pembakaran boiler batu bara serta mengetahui unsur – unsur yang mempengaruhi pembentukan emisi gas pada proses tersebut.

Emisi  $\text{NO}_x$  merupakan unsur dominan yang muncul akibat pengoperasian boiler pembakaran batubara di industri tekstil. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap timbulnya emisi  $\text{NO}_x$  pada boiler batubara bubuk adalah kualitas material batubara yang digunakan.<sup>3</sup>

Ketersediaan batubara di pasar pada umumnya memiliki karakteristik dan sifat – sifat yang beragam dari waktu ke waktu, sehingga operator boiler harus memiliki suatu pengetahuan terhadap masalah ini untuk mencapai unjuk kerja pembakaran yang optimal bagi proses produksi. Di samping itu, solusi lain pencegahan pencemaran udara akibat  $\text{NO}_x$  adalah kemampuan untuk mengendalikan pembentukan  $\text{NO}_x$  dari nitrogen atmosfer atau dari bahan bakar batubara dengan menerapkan kondisi proses yang tepat. Sebagaimana diketahui bahwa pembentukan  $\text{NO}_x$  pada api merupakan fungsi dari temperatur yang berbanding lurus dengan pemekatan efisiensi pembakaran, namun berbanding terbalik dengan pembentukan  $\text{NO}_x$ .<sup>4</sup> Pada makalah ini akan dipaparkan perkiraan emisi  $\text{NO}_x$  secara empiris dengan menganalisis pengaruh karakteristik batubara dan proses pembakaran pada boiler batubara bubuk berdasarkan

perbandingan dari beberapa hasil penelitian lapangan.

## METODOLOGI

Penelitian dilakukan melalui pendekatan pengembangan teknik empiris untuk memperkirakan pembentukan  $\text{NO}_x$ , dengan menganalisis tiga faktor utama yang berdiri sendiri yaitu: karakteristik batubara, desain – operasi burner dan desain – operasi boiler. Diasumsikan masing – masing faktor independen terhadap emisi meskipun tidak demikian karena bisa jadi  $\text{NO}_x$  yang diproduksi oleh salah satu faktor akan memperkecil potensi pembentukan dari faktor lain. Selain itu hasil dari pengaruh salah satu faktor akan mempengaruhi dan mengubah hasil dari faktor lain. Oleh karena itu asumsi masing – masing faktor merupakan alasan perkiraan empiris dalam menggambarkan emisi  $\text{NO}_x$ .

### *Karakterisasi batubara*

Karakterisasi batubara dilakukan dengan pengujian laboratorium terhadap beberapa jenis batubara halus (*pulverized coal*) untuk menentukan kandungan (karbon, zat terbang, kadar abu, kadar air, belerang dan nitrogen), nilai kalori serta kehalusan butir. Kehalusan butir dilakukan dengan memisahkan batubara berdasarkan tingkat persentase kehalusan melewati 200 mesh. Pengukuran kadar emisi  $\text{NO}_x$  dari pembakaran boiler dilakukan untuk mengetahui pengaruh kandungan batubara serta pengaruh kehalusan butir terhadap emisi  $\text{NO}_x$ .

### *Desain – operasi burner*

Penelitian dilakukan pada burner pembakaran tipe putar dan tipe tangensial. Pembentukan emisi gas  $\text{NO}_x$  pada burner putar dipengaruhi oleh desain dan operasi pembakaran pada burner. Hubungan – hubungan antar variabel pada operasi pembakaran pada burner putar dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:<sup>5</sup>

1. Udara primer stoikiometri mempengaruhi penyalan.
2. Kecepatan udara primer mempengaruhi waktu tunggu penyalan.
3. Jumlah putaran mempengaruhi pencampuran dan waktu tunggu penyalan.

### *Desain – operasi boiler*

Desain dan operasi boiler turut berpengaruh pada pembentukan emisi  $\text{NO}_x$ . Dua aspek penelitian yang dilakukan adalah pengukuran konsentrasi oksigen di daerah burner dan pembuatan profil temperatur – waktu di luar daerah penyalan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Karakteristik batubara*

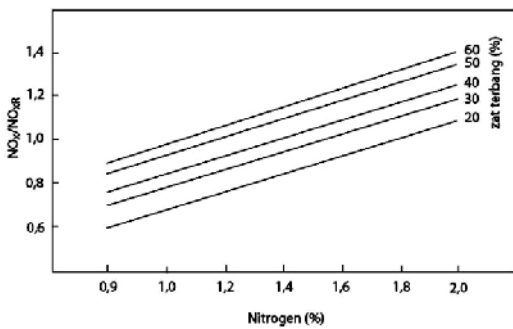
Karakteristik batubara yang dominan dalam mempengaruhi emisi  $\text{NO}_x$  meliputi kandungan yang dimiliki dan kondisi ukuran butir bahan bakar (kehalusan). Emisi  $\text{NO}_x$  dipengaruhi oleh kandungan

Tabel 1. Hasil Analisis Batubara

No	Uraian	Jenis Batubara								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Fixed carbon (C)	39,40	38,94	40,49	39,26	49,86	49,92	35,96	46,25	34,56
2	Zat terbang (%)	31,68	41,99	28,51	31,95	19,22	33,84	22,29	34,10	34,72
3	Kadar abu (%)	9,47	9,06	10,39	8,84	4,83	7,88	9,20	8,85	7,74
4	Kadar air (%)	18,26	16,61	15,56	16,13	15,47	15,77	6,55	7,91	8,38
5	Belerang (%)	1,65	0,94	0,87	1,33	0,88	1,55	6,62	1,44	0,99
6	Nilai kalori (kcal/kg)	5642	5520	6107	5853	6127	5758	5716	5572	5602
7	NO (ppm)	2601	3202	2565	2978	2339	3002	2907	2997	1857

Keterangan: Batubara 1,2,3 berasal dari Pekanbaru; batubara 4,5,6 berasal dari Kalimantan; batubara 7,8,9 berasal dari Lampung

nitrogen batubara dan zat terbang (*volatile matter*) batubara. Peningkatan kandungan nitrogen pada batubara selalu menyebabkan peningkatan emisi NO<sub>x</sub>. Sedangkan peningkatan kandungan zat terbang menghasilkan peningkatan emisi NO<sub>x</sub> dalam kondisi pembakaran normal, tetapi emisi NO<sub>x</sub> akan menurun dalam kondisi pembakaran lanjut. Kecenderungan tersebut didukung oleh sifat-sifat bahan batubara seperti diperlihatkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.



Gambar 1. Perkiraan hubungan sifat batubara dan pembentukan NO<sub>x</sub> (Acuan: zat terbang 40%; karbon padat 60%; NO<sub>xR</sub> 800 ppm; N<sub>2</sub> 1,5%; NO 3200 ppm)

Pengaruh kandungan nitrogen dan zat terbang terhadap pembentukan emisi NO<sub>x</sub> (ppm) dapat diperkirakan dengan persamaan 1:<sup>5,6</sup>

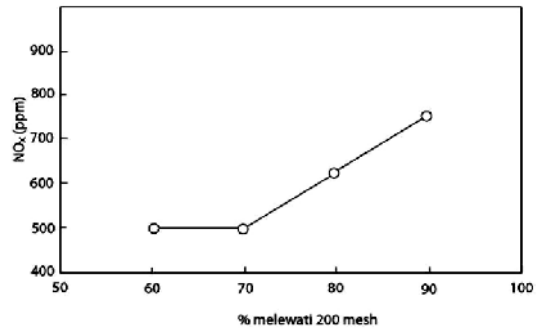
$$NO_x = 340 + 835 (N_2/1,5) + 20(VM/40)(NO/3200) - 395(FC/60)(NO/3200) \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

- N<sub>2</sub> : konsentrasi nitrogen (%)
- VM : zat terbang (%)
- FC : karbon padat (ppm)
- NO : oksida nitrogen (ppm)

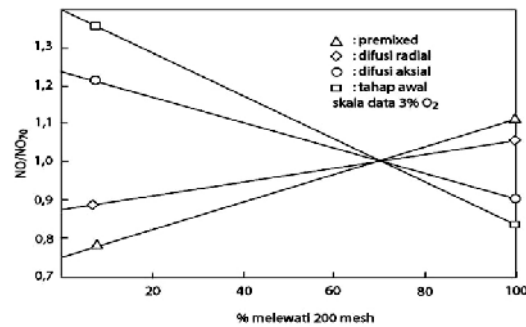
Peningkatan kehalusan butir batubara secara umum akan meningkatkan emisi NO<sub>x</sub> pada kondisi pembakaran awal. Tetapi dalam kondisi pembakaran lanjut peningkatan kehalusan butir dapat menurunkan emisi gas NO<sub>x</sub>. Hal ini disebabkan oleh terjadinya peningkatan masukan dan konversi lebih tinggi dari senyawa nitrogen menjadi bahan bakar

teroksidasi pada pembakaran bersih. Pada pembakaran lanjut masukan diperkecil dan terjadi peningkatan kondisi reduksi. Alasan tersebut didukung dari data bahwa konversi zat terbang nitrogen lebih tinggi dibandingkan TAR nitrogen.<sup>7</sup>



Gambar 2. Hubungan kehalusan terhadap emisi NO<sub>x</sub>

Besar kecilnya pengaruh kehalusan bergantung stoikiometri dari kondisi pencampuran pada daerah penyalaan.<sup>8</sup> Pada Gambar 2 diperlihatkan hubungan antara kehalusan dan emisi NO<sub>x</sub> untuk beberapa jenis penyalaan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan kehalusan butir melewati 200 mesh dari 60% menjadi 70% tidak memberi pengaruh signifikan pada peningkatan emisi NO<sub>x</sub>. Tetapi peningkatan kehalusan butir > 200 mesh dari 70% menjadi 80% mengakibatkan terjadinya peningkatan emisi dari 500 hingga 630 ppm.



Gambar 3. Hubungan kehalusan terhadap emisi NO<sub>x</sub> pada burner putar

Berdasarkan Gb. 3 sebagai acuan dapat dibuat persamaan empiris pada pembakaran dengan burner putar bahwa pengaruh kehalusan butir pada emisi gas NO<sub>x</sub> seperti pada persamaan 2:<sup>5,6</sup>

$$NO/NO_{70} = 0,8 + 0,003 (\% < 200 \text{ mesh}) \dots \dots (2)$$

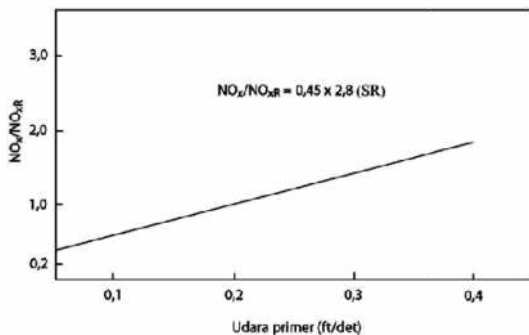
dengan:  
 NO : emisi yang diperkirakan  
 NO<sub>70</sub> : emisi standar (500 ppm) 70% melewati 200 mesh

Sebagai contoh, untuk kehalusan butir batubara 70% melewati 200 mesh maka emisi diperkirakan sekitar 572 ppm. Berdasarkan hasil pengukuran emisinya adalah 566 ppm.

*Desain dan operasi burner*

Pengaruh burner pada pembentukan emisi NO<sub>x</sub> sebenarnya tergantung dari konsentrasi oksigen pada daerah penyalaaan, temperatur penyalaaan dan waktu tunggu.<sup>9</sup> Kondisi tersebut juga tergantung dari jenis burner yang dipergunakan. Beberapa tipe burner yang dipakai pada pembakaran batubara antara lain: burner putar, burner penyalaaan tangensial, burner siklon, burner turbin dan burner penyalaaan melengkung. Dewasa ini di industri termasuk industri tekstil di sekitar Jawa Barat terdapat dua tipe burner pembakaran yang paling banyak dipergunakan yaitu tipe burner putar dan burner pembakaran tangensial, sedangkan burner tipe lain seperti tipe siklon dan tipe turbo masih jarang dipergunakan.

Pembentukan emisi gas NO<sub>x</sub> pada burner putar dipengaruhi oleh desain dan operasi pembakaran pada burner. Operasi boiler menentukan bentuk nyala api yang sangat berpengaruh terhadap pembentukan NO<sub>x</sub>.<sup>9,10</sup> Hubungan udara primer stoikiometri pada emisi NO<sub>x</sub> dapat diperkirakan seperti pada Gambar 4.

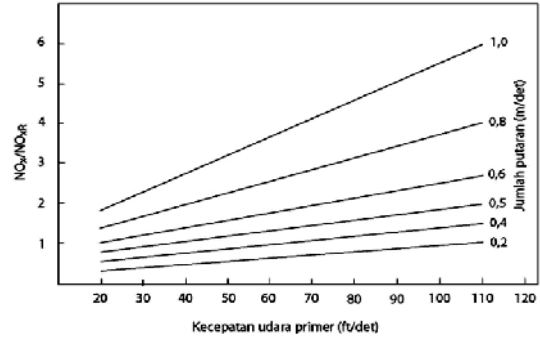


**Gambar 4. Pengaruh udara primer terhadap emisi oksida nitrogen (Acuan belerang: SR = 0,5)**

Kecepatan udara primer stoikiometri mempengaruhi emisi NO<sub>x</sub> melalui dua mekanisme, yaitu: i). kecepatan udara primer, kecepatan udara sekunder dan jumlah putaran menentukan geometri dan tipe penyalaaan; ii). kecepatan udara primer menentukan waktu tunggu penyalaaan sebagai fungsi dari kecepatan udara primer dan geometri burner.<sup>10</sup>

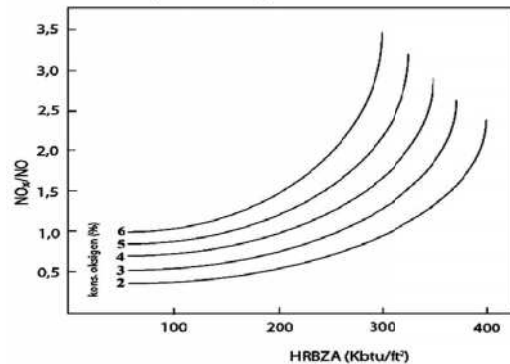
Mekanisme pertama yang menjelaskan hubungan antara kecepatan udara primer, jumlah putaran burner dan emisi NO<sub>x</sub> diperlihatkan pada Gambar 5.

Mekanisme kedua pengaruh kecepatan udara primer terhadap waktu tunggu penyalaaan dapat diperkirakan melalui perkiraan waktu tunggu api sebagai fungsi dari kecepatan udara primer dan geometri burner. Emisi oksida nitrogen menunjukkan fungsi dari jumlah putaran yang kompleks dan tipe api. Beberapa burner putaran dengan pola resirkulasi tertutup menunjukkan bahwa oksida nitrogen meningkat pada jumlah putaran 0,3 – 1,0. Kemudian jumlah putaran di atas 1,0 maka emisi NO<sub>x</sub> cenderung menurun.



**Gambar 5. Hubungan udara primer dan jumlah putaran terhadap emisi udara nitrogen**

Mekanisme pembakaran pada burner putar berbeda dengan penyalaaan tangensial, sehingga memerlukan pendekatan penanganan yang berbeda. Pada penyalaaan tangensial, bahan bakar minyak diinjeksikan di setiap sudut boiler pada posisi tangensial ke arah lingkaran pada pusat boiler. Udara disemprotkan di atas dan di bawah nozzle minyak tanpa berputar. Sistem injeksi ini mendukung nyala api yang stabil di daerah burner. Untuk penyalaaan tangensial normal, tingkat oksida nitrogen dikendalikan oleh jumlah dan udara lebih di daerah burner. Waktu tinggal api dapat diperkirakan dari volume dibagi oleh gas buang pada temperatur api tertentu.<sup>11</sup> Temperatur api dapat dinormalisasi oleh rasio lepas udara burner yaitu sesuai standar 200.000 btu/ft<sup>2</sup>. Hubungan antara NO<sub>x</sub> dengan pelepasan udara burner dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 6. Pengaruh HRBZA dan konsentrasi oksigen pada pembentukan emisi NO<sub>x</sub> (Acuan: 3% O<sub>2</sub> = 200 Kbtu/ft<sup>2</sup>.hr)**

*Desain dan operasi boiler*

Pengaruh desain dan operasi boiler pada pembentukan emisi  $\text{NO}_x$  dapat dijelaskan melalui dua variabel kondisi. Pertama, pengaruh konsentrasi oksigen di daerah burner dan kedua, profil temperatur – waktu di luar daerah penyalaaan. Pengaruh variabel konsentrasi oksigen terhadap pembentukan emisi  $\text{NO}_x$  dapat dilihat pada Gambar 6. Pengaruh kondisi temperatur – waktu pada boiler dikaitkan dengan proses pelepasan panas pada daerah burner/ *heat release boiler zone area* (HRBZA).<sup>12</sup> HRBZA adalah panas hilang (btu) dibagi oleh luas dari dinding pada daerah burner ditambah 3000 mm di atas daerah burner ditambah daerah datar yang berseberangan dengan daerah burner.

Trend yang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi oksigen dan rasio HRBZA berbanding lurus terhadap peningkatan emisi  $\text{NO}_x$  pada proses pembakaran boiler. Desain konsentrasi oksigen dan rasio HRBZA optimal perlu dieksplorasi untuk memperoleh suatu kondisi operasional boiler yang ideal bagi proses dengan meminimasi emisi  $\text{NO}_x$ .

**KESIMPULAN**

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Karakteristik batubara yang berpengaruh pada pembentukan emisi gas oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) adalah: kandungan nitrogen, zat terbang (*volatile matter*) dan kehalusan butir. Semakin tinggi kandungan nitrogen dan zat terbang pada batubara maka semakin tinggi oksida nitrogen yang dihasilkan.
2. Penggunaan batubara bubuk dengan rentang kehalusan butir 65% – 70% melalui 200 mesh relatif tidak berpengaruh pada peningkatan emisi oksida nitrogen, sedangkan batubara bubuk dengan rentang kehalusan 80% – 87% melalui 200 mesh menghasilkan peningkatan oksida nitrogen cukup signifikan yaitu dari 550 ppm menjadi 630 ppm.

3. Jumlah putaran burner mempengaruhi pembentukan emisi oksida nitrogen, pada jumlah putaran antara 0,3 – 1,0 dapat meningkatkan emisi  $\text{NO}_x$ , tetapi pada jumlah putaran di atas 1,0 cenderung menurun.
4. Konsentrasi oksigen dan pelepasan panas pada daerah burner berbanding lurus pada pembentukan emisi  $\text{NO}_x$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

- 1 Rismayani, S., (1997), *Pencemaran udara dari industri tekstil, pencegahan dan penanggulangannya*, Arena Tekstil No. 27.
- 2 Sugiyana, D. & Wahyudi, T., (2008), *Tinjauan teknik pengukuran dan analisis emisi pencemar udara di industri tekstil*, Arena Tekstil Vol.23 No.2.
- 3 Tanzis, R., (2007), *Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) batubara di industri tekstil*, Arena Tekstil Vol.22 No.2.
- 4 Miller, B.G, (2005), *Coal Energy System*, Elsevier Academic Press, San Fransisco.
- 5 Pohl, J.H. and Dusatco, G.C., (1989), *Estimates of  $\text{NO}_x$  formation in utility boilers*, ASME Fossil Fuels Combustion Symposium, Houston.
- 6 Afonso, R. & Consatho, G., (1997), *Measurement of  $\text{NO}_x$  emission from coal boilers*, New England Power Westborough MA, USA.
- 7 Mitchell, S.C., (1998),  *$\text{NO}_x$  in pulverized coal combustion*, IEA Coal Research, London.
- 8 Davidson, R.M., (2000), *How coal properties influence emmissions*, IEA Coal Research, London.
- 9 Wu, Z., (2002),  *$\text{NO}_x$  control for pulverized coal fired power stations*, IEA Coal Research, London.
- 10 Lawn, C.J., (1999), *Principles of combustion engineering for boilers*, Academic Press, London.
- 11 Fiveland, W.A. & Latham, C.E., (2002), *Use numerical modelling in the design of low  $\text{NO}_x$  burner for utility boilers*. IEA Coal Research, London.
- 12 Schuell, U., Kaess, M. & Brodbek, H., (1989), *Experimental and numerical investigation of  $\text{NO}_x$  for nation and its basic interdependencies on pulverized coal flame characteristics*, University of Stuttgart, Stuttgart.