

# Peranan Proses Perengkahan Katalitik untuk Pembuatan Bensin Ramah Lingkungan

Oleh:

A.S Nasution dan E. Jasjfi

## SARI

Sehubungan merosotnya jumlah dan mutu umpan proses perengkahan katalitik maka unjuk kerja katalis harus ditingkatkan dalam upaya mendapatkan produk komponen bensin bermutu tinggi dan produk gas olefin untuk umpan proses pembuatan komponen bensin (alkilat, bensin polimer), dan pembuatan aditif oksigenat pengungkit angka oktana bensin (MTBE).

Proses perengkahan katalik, mutu produknya dan spesifikasi bensin kormisil, di ASEAN serta pengembangan katalis dan factor-faktor operasi yang dapat menurunkan aktivitas katalis disajikan pada masalah ini.

## ABSTRACT

As decreasing quantity and quality of feedstock for catalytic process, thus the performance of catalyst must be increased to get the high quality product of gasoline components and the gas product with high olefin content for production of gasoline components (alylate, polygasoline), and production of octane booster (MTBE).

Catalytic process, product quality and commercial gasoline specifications in ASEAN, and the catalyst development and operating conditions which decrease the catalyst performance are presented in this paper.

## I. PENDAHULUAN

Minyak bumi yang diolah untuk menghasilkan bahan bakar minyak akhir-akhir ini semakin merosot mutunya, baik dilihat dari segi kebutuhan energi untuk pengolahannya maupun dari limbah pencemaran yang dihasilkannya. Minyak bumi yang tersedia cenderung meningkat kadar belerang dan masalah jenisnya. Bersamaan dengan itu, kebutuhan akan bahan bakar ringan (bensin, kerosin, dan solar) yang tampaknya akan tetap lebih tinggi dari pada bahan bakar berat (minyak, bakar) menuntut agar kelebihan produksi residu dimanfaatkan dengan mengolah lebih lanjut residu dengan proses perengkahan termal dan katalitik<sup>(1,2)</sup>.

Sementara itu dunia menuntut bahan bakar yang ramah lingkungan dengan persyaratan yang kian ketat sebagaimana dicontohkan di Amerika Serikat oleh *California Air Resources Board* (CARB), sasaran

Asia Pasifik dan ketentuan *European Commission* yang jauh lebih ketat dari pada yang berlaku di banyak negara ASEAN dewasa ini, termasuk di Indonesia<sup>(3,4)</sup>.

Dalam rangka menerapkan program langit biru, bukan hanya timbel, kadar semua komponen racun dalam gas buang dari kendaraan bermotor harus ditekan, terutama buangan hidrokarbon, gas racun ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ) dan bahan butiran (partikulat).

Komponen bensin adalah campuran hidrokarbon dengan trayek didih 40-220<sup>o</sup> C, terdiri atas komponen dari  $\text{C}_5$  sampai  $\text{C}_{12}$  yang diperoleh dari distilasi minyak bumi dan juga konversi fraksi minyak bumi, antara lain perengkahan, reforming, isomerisasi, alkilasi dan polimerisasi. Untuk membuat bensin ramah lingkungan diperlukan komponen-komponen bermutu tinggi, yaitu antara lain bensin perengkahan katalitik yang persentasenya mencapai

antara 30-40% vol.

Konversi umpan, penambahan katalis baru (*make up catalyst*) dan distribusi produk dari proses perengkahan katalik dipengaruhi oleh berbagai kondisi operasi, antara lain jenis dan mutu dari umpan dan katalis yang dipergunakan. Hidrokarbon poliaromatik umpan dan kotoran umpan (aspalten, senyawa organik logam dan organik non-logam) serta proses regenerasi katalis dapat menurunkan aktivitas katalis.

Bensin ramah lingkungan dari campuran komponen-komponen bensin tersebut harus mempunyai kadar aromatik, olefin, sulfur, tekanan uap dan suhu teruap 90% vol. rendah, dan angka oktana tinggi. Untuk itu komponen bensin perengkahan katalik harus diolah lebih lanjut untuk meningkatkan mutunya.

Proses perengkahan katalik di kalangan minyak Indonesia dan



ASEAN, dan mutu produk komponen bensin perengkahan katalik yang dihasilkan serta spesifikasi bensin komersial di negara ASEAN dan di lain negara disajikan pada makalah ini. Pengembangan katalis dan faktor-faktor operasi yang dapat menurunkan aktivitas katalis, kerusakan katalis pada saat regenerasi katalis dan beberapa hasil penelitian laboratorium tentang katalis perengkahan dibahas juga.

Untuk membuat bensin yang ramah lingkungan diperlukan komponen-komponen bensin agar campuran yang dihasilkan mempunyai kadar aromatik, olefin, sulfur, tekanan uap dan suhu teruap 90% vol. rendah, dan angka oktana tinggi. Untuk itu komposisi komponen bensin perlu dioptimalkan dengan merestrukturisasi kilang dan meningkatkan kapasitas produksi komponen bensin bermutu tinggi antara lain bensin rengkahan katalitik, alkilat dan isomerat.

## II. PROSES PERENKAHAN KATALITIK UNTUK PEMBUATAN BENSIN RAMAH LINGKUNGAN

Sebagai suatu bahan, bensin terdiri atas campuran berbagai jenis fraksi dan komponen bermutu tinggi yang dihasilkan oleh proses-proses katalik.

Sekitar 795 MBPSD total umpan diolah dengan proses katalik untuk produksi 370 MBPSD komponen bensin rengkahan katalitik 23,7% vol, reformat 69,25% vol, isomerat 4,67% vol, alkilat 1,43% vol, dan bensin polimer 0,95% vol. di kilang-kilang minyak ASEAN<sup>(5)</sup>.

### A. Proses Perengkahan Katalitik

Proses perengkahan katalik mengolah umpan distilat vakum dan residu atmosfer menjadi bahan bakar ringan (bensin, kerosin, dan solar) dan produk gas olefin ringan ( $C_3-C_5$ ) dengan bantuan katalik silika-alumina amorf atau zeolit.

Sekitar 290 MBPSD umpan

terdiri atas distilat vakum 44% vol. dan residu atmosfer 56% vol. dengan memakai katalis zeolit pada 11 unit proses perengkahan katalitik di kilang minyak ASEAN. Konversi umpan dari 60 sampai 80% vol. menghasilkan produk rekahan berikut: LPG 11-27% vol, bensin 30-64%, minyak ringan (*light cycle oil*) 9-30% vol. dan minyak berat (*heavy cycle oil*) 5-23% vol. Bensin rekahan katalik mempunyai tekanan uap 6,5-9,5 kpa,  $T_{50} = 95-106^\circ C$ ,  $T_{90} = 147-180^\circ C$ , indeks pengedaran (*drive ability index*) 492-570 $^\circ C$ , RON 88-93, kadar sulfur: 0,02-0,11% berat, kadar aromatik 20-35% vol. dan olefin 15-35% vol<sup>(6)</sup>.

Untuk membuat bensin yang ramah lingkungan diperlukan komponen-komponen bensin agar campuran yang dihasilkan mempunyai kadar aromatik, olefin, sulfur, tekanan uap dan suhu teruap 90% vol. rendah, dan angka oktana tinggi. Pengolah lanjut dari produk bensin rengkahan katalik diperlukan untuk penyesuaian karakteristiknya, yaitu tekanan uap, suhu 90% terdistilasi, kadar aromatika, olefin, dan sulfur<sup>(8)</sup>. Unit fraksionasi dan kolom debutanisasi dapat mengontrol tekanan uap dan menurunkan kadar olefin reaktif ( $C_3-C_5$ ) dan suhu teruap 90% volume ( $T_{90}$ ) dari bensin rengkahan katalik. Isobutana yang dipisahkan pada kolom deisoheksana dipakai sebagai salah satu umpan proses alkilasi dan polimerisasi. Peningkatan konversi umpan proses perengkahan katalik dengan pengoptimalan komposisi katalisnya dapat menaikkan persentase produk isobutana dengan persentase produk bensin tetap.

Unit penghidromurnian dapat menurunkan kadar olefin dan sulfur dari bensin rengkahan katalik. Distilat di atas 90% vol. Terdistilasi (90% plus) dari reformat dan bensin rengkahan katalik yang telah disaturasi hidrokarbon aromatikanya dapat dipakai sebagai komponen distilat

sedang (kerosin dan solar). Penghidromurnian umpan proses perengkahan katalik dapat menaikkan konversi umpan dengan produk bensin berkadar sulfur rendah sampai 40 ppm dari biasanya 150 ppm.

Olefin rendah ( $C_3-C_5$ ) dan isobutana dialkilasi untuk pembuatan komponen bensin alkilat berangka oktana tinggi (RON 93-96), tekanan uap dan *drive ability index* rendah dan bebas dari hidrokarbon tak jenuh (olefin, aromatika). Penambahan kolom deisobutana dan peningkatan konversi umpan dari proses perengkahan katalik akan dapat menaikkan kapasitas alkilat sampai 20% vol. Umpan isobutana dari proses alkilasi ini dapat pula diperoleh dari proses isomerisasi n.butana.

Isolefin ( $C_4-C_5$ ) dan metanol dikonversi menjadi komponen oksigenat metil tersier butil eter (MTBE) dan metil tersier amil eter (TAME) sebagai pengganti pengukit angka oktana bensin (timbel tetra etil, TEL). Isimerisasi olefin rendah dari bagian ringan bensin rengkahan katalik dapat meningkatkan kadar isoolefin ( $C_4-C_4$ ) untuk masa pembuatan aditif tersebut.

Kilang minyak ASEAN mengolah umpan distilat vakum dari residu atmosfer yang mengandung molekul-molekul hidrokarbon besar dan juga kotoran non hidrokarbon dengan kandungan atom-atom logam dan non logam yaitu: nikel 0,4-2,2 ppm, vanadium 0,1-2,5 ppm, sulfur 0,1-3,85% berat, nitrogen 4,5-3,159 ppm dan karbon residu 0,2-3,65% berat. Katalis perengkahan zeolit mempunyai luas permukaan 130-289 m<sup>2</sup>/g dan volume pori 0,3-0,43 cm<sup>3</sup>/g dan penambahan katalis baru (*make up catalyst*) adalah 4,5 dan 18 ton/hari untuk masing-masing pengolahan 127 MBPSD distilat vakum dan 163 MBPSD residu atmosfer. Endapan kokas pada katalis perengkahan bekas adalah dari 4,3 sampai 9,6% berat dari katalis<sup>(6)</sup>. Pengaruh kadar karbon residu umpan pada distribusi produk

perengkahan katalik disajikan pada Tabel 1.

Umpan residu mengandung molekul hidrokarbon besar yang sulit menguap dengan ukuran lebih besar dari pada bukan pori katalis zeolit perengkah sehingga molekul besar tersebut akan direngkah secara termal yang mengarah kepembentukan produk kokas yang menutupi permukaan luar katalis zeolit. Endapan kotoran kokas pada katalis perengkah naik dari 4,5% menjadi 9,5% berat untuk masing-masing umpan distilat vakum dari residu atmosfer.

Sehubungan menurunnya baik jumlah maupun mutu umpan proses perengkahan katalik maka unjuk kerja katalis harus ditingkatkan antara lain: selektivitas kokas, ketahanan terhadap racun logam dan organik nitrogen basa, dan kemampuan untuk merengkah molekul hidrokarbon besar umpan (*bottom cracking*) yang terkonsentrasi di dalam fraksi berat minyak berat.

Struktur pori katalis harus berpotensi mentransfer dengan cepat molekul umpan ke inti aktif di permukaan katalis tersebut tanpa

mendapat rintangan oleh endapan kokas katalis. Kokas hasil kondensi dari produk rekahan olefin dapat diturunkan dengan pemakaian katalis perengkahan berpotensi tinggi tranfer hidrogen ke produk olefen tersebut. Produk rekahan harus dapat berdifusi cepat keluar katalis perengkahan butir baik pada saat *director* maupun diregenerator. Laju defusi molekul di dalam pori katalis diamati sekitar  $1,5-3,0 \cdot 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/ detik.

Katalis perengkahan zeolit mempunyai keunggulan terhadap katalis perengkahan konvensional silika-alumina armof pada distribusi produk yaitu: produbensin dan minyak ringan tinggi dan produk minyak berat plus produk gas C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> rendah (Tabel 2). Produk bensin katalik ini mempunyai angka oktana, kadar parafin dan aromatik tinggi, dan kadar olefin serta sulfur rendah<sup>(7,8)</sup>.

Pengembangan katalis zeolit untuk pembuatan produk bensin bermutu tinggi ditunjukkan untuk mendapatkan suatu komposisi optimal antara jumlah inti aktif per sel zeolit dan jumlah inti alumina terisolasi agar menurunkan perengkahan lanjut produk bensin dan meningkatkan kadar hidrokarbon bercabang tinggi dan aromatik.

Peningkatan kedua jenis hidrokarbon dari bensin zeolitik ini dapat pula meningkatkan angka oktana motor (MON).

Katalis zeolit ZSM 5 mempunyai keunggulan untuk menaikkan perolehan produk olefin rendah (C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub>) dengan perolehan produk samping kokas dan gas hydrogen rendah, kenaikan perolehan produk olefin tersebut adalah hasil rekahan fraksi tengah dari produk bensin berangka oktana rendah, peningkatan kadar isobutilena dari produk olefin rendah dapat dilakukan dengan memakai katalis bertransfer hidrogen rendah pada suhu operasi serendah mungkin. Penyempurnaan struktur zeolit telah meningkatkan unjuk kerja katalis zeolit perengkahan dalam peningkatan perolehan produk rekahan bensin, olefin rendah berkadar isobulitena tinggi<sup>(9,10)</sup>. Selektivitas bensin optimal telah diamati dengan suatu penurunan batas tertentu dari aktifitas katalis baru dengan pemasaran uap pada suatu tingkat tertentu<sup>(11)</sup>.

### B. Deaktivasi Katalis

Umpan fraksi berat minyak bumi mengandung kadar kotoran non-

**Tabel 1**  
**Distribusi produk rengkahan pada berbagai karbon residu umpan**

Karbon residu,	% berat	1,5-2,0	2,5-3,0	3,5-4,0
Konversi,	% vol	82,0	76,8	72,7
C <sub>2</sub> ,	% berat	5,2	5,2	6,2
C <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> ,	% vol	28,0	23,0	20,7
Bensin,	% vol	59,8	58,2	55,0
Minyak ringan	% vol	12,5	15,4	18,0
Minyak berat,	% vol	5,5	7,8	9,3
Kokas,	% berat	6,4	6,9	6,9
Total C <sub>3</sub> +cair	% vol	105,8	104,4	103,0



hidrokarbon tinggi, seperti alfalten, komponen organik yang mengandung non-logam (sulfur, nitrogen dan oksigen) dan logam (Ni, V, Fe, Cu) yang merupakan racun katalis perengkah. kadar logam naik dengan karbon residu umpam <sup>(12)</sup>.

### 1. Komponen Organik Logam

Kotoran komponen organik logam dapat mengendap logamnya pada listrik katalis yang dapat

berfungsi sebagai inti aktif logam. Inti aktif ini membantu reaksi hidrogenasi hidrokarbon umpam menjadi olefin yang berpotensi tinggi untuk pembentukan endapan kokas pada katalis dan juga kenaikan perolehan produk samping gas hidrogen (Tabel 3)<sup>(12)</sup>. Total ekuivalen endapan logam pada katalis adalah:  $14Ni+4V+Fe+Cu$ , ppm, dan jika dicapai jumlah total logam ekuivalen tersebut >1000 ppm, maka katalis telah rusak dan

harus diganti.

Endapan logam baru pada matriks katalis adalah lebih aktif dehidrogenasinya dibandingkan dengan endapan logam katalis yang telah mengalami reaksi oksidasi di dalam regenerator katalis dan reaksi reduksi di dalam reaktor proses perengkahan. Diperkirakan pengulangan penggantian dari suasana oksidasi ke reduksi dalam perjalanan sirkulasi katalis dari regenerator ke reaktor dapat

**Tabel 2**  
Produk rengkahan dari berbagai jenis katalis

		Silika-Alumina Amorf		Zeolit
		Alumina rendah	Alumina tinggi	
Konversi,	% vol	61	68	74
H <sub>2</sub> ,	% berat	0,074	0,072	0,055
C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> ,	% vol	1,6	1,6	1,7
C <sub>3</sub> ,	% vol	8,4	8,2	7,4
C <sub>4</sub> ,	% vol	6,2	7,4	9,4
Bensin,	% berat	50,5	58,0	63,5
Minyak ringan,	% vol	12,0	14,0	13,0
Kokas,	% berat	6,0	6,0	6,0

**Tabel 3**  
Pengaruh metal terhadap distribusi produk

Metal efektif (terhadap Ni),	ppm	180	1130	3500
Distribusi Produk				
Perbandingan H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> ,	-	0,7	3	10,0
Gas SH <sub>4</sub> dan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ,	% berat	5,8	6,6	7,1
Gas C <sub>4</sub> total,	% vol	14	14	13
Bensin,	% vol	61	59	54
Kokas,	% berat	2,4	3,1	7,3



mempengaruhi tingkat oksidasi dari logam atau mengakibatkan sintering yang menurunkan luas permukaan. Suatu penumpukan logam dapat terjadi lebih mudah pada katalis perengkah bubuk dari pada katalis perengkah bentuk butir besar yang menurunkan luas permukaan cukup besar oleh atrisi (pengikisan).

Penurunan potensi pembentukan endapan kokas pada permukaan katalis untuk peningkatan selektivita kokas katalis dapat di lakukan antara lain penonaktifan peranan reaksi dehidrogenasi dari endapan logam tersebut dengan bantuan suatu katalis bermatrik khusus yang memungkinkan terbentuknya suatu integrasi antara logam dan katalis perengkah.

Pada umumnya, selektifitas kokas katalis ini dapat dipengaruhi berbagai jenis faktor, antara lain: disain katalis, waktu kontak, luas permukaan katalis, volume pori katalis, perbandingan aktivitas antara katalis zeolit dan matriks, dan ukuran unit sel zeolit. Pengembangan katalis menunjukkan kontribusi matriks dari katalis pada selektivitas kokas cukup penting dalam perengkahan umpan residu, khususnya yang mengandung kadar kotoran logam tinggi. Katalis zeolit mempunyai ketahanan lebih tinggi terhadap racun logam dibandingkan dengan ketahanan katalis silika-alumina amorf<sup>(14)</sup>.

Kotoran logam dapat menutupi pori sehingga efektivitas pemanfaatan luas permukaan pori akan menurun. Penutupan pori oleh logam tersebut dapat berlangsung baik secara terdispersi secara merata sepanjang pori (keracunan pori homogen) seperti logam nikel, maupun terdispersi logam hanya pada mulut pori saja (keracunan pori heterogen) seperti logam vanadium<sup>(13)</sup>. Keracunan pori heterogen dapat menurunkan efektivitas pori lebih besar dari pada yang diberikan oleh keracunan pori homogen<sup>(13)</sup>.

Kotoran logam vanadium pada

matriks katalis dapat berubah menjadi asam vanadat pada saat regerasi katalis bersuhu tinggi dalam media campuran udara-uap air. Asam vanadat ini dapat merusak tekstur katalis zeolit yang mengakibatkan menurunnya baik luas permukaan pori katalis maupun keasamannya. Untuk penetralan asam vanadat tersebut, promotor katalis harus diberikan yaitu bahan bersifat basa seperti logam alkali tanah (Mg, Ca, Sr, Ba), alumina, fosfor, dan barium titanat.

Endapan logam natrium pada matrik katalis dapat merusak kestabilan tekstur katalis yang mengakibatkan penurunan baik luas permukaan maupun keasaman katalis. Kadar kotoran logam natrium dari bahan baku katalis perengkahan perlu pula dijaga, karena kandungan 2.000 ppm logam natrium pada katalis dapat merusak unjuk kerja katalis perengkah. Kotoran logam natrium pada katalis tidak mempunyai aktivitas dehidrogenasi hidrokarbon umpan seperti pada logam nikel dan vanadium tersebut. Pertukaran kationik logam natrium dengan logam alkali tanah bervalensi tiga dapat menurunkan kadar logam natrium dan sekaligus peningkatan stabilitas zeolit pada media tiap bersuhu tinggi<sup>(13)</sup>.

## 2. Komponen Organik Non-Logam

Kotoran organik nitrogen bersifat basa dapat menetralisasi inti aktif asam dari katalis perengkah dan perolehan dan angka oktana produk bensin akan menurun. Pengaruh basa organik ini akan hilang pada saat pembakaran endapan kokas katalis di dalam regenerator<sup>(12,13)</sup>. Katalis zeolit tidak terlalu sensitife pada racun organik nitrogen basa dibanding dengan katalis silika-alumina amorf<sup>(13)</sup>.

Kotoran organik sulfur dapat merusak katalis silika-alumina amorf dengan terbentuknya besi sulfida antara kandungan kotoran logam besi katalis silika-alumina amorf tersebut dan kotoran organik sulfur yang akan

mengendap di dalam struktur katalis tersebut. Katalis zeolit mempunyai toleransi tinggi pada kotoran organik sulfur<sup>(13)</sup>.

## III. KESIMPULAN

Sebagai suatu bahan bakar bensin yang ramah lingkungan haruslah berkomporsi komponen bensin yang baik yang terdiri dari berbagai jenis komponen bermutu tinggi yang dihasilkan oleh katalitik. Untuk itu kilang-kilang minyak di ASEAN, termasuk di Indonesia, masih perlu melakukan rekonfigurasi dengan meningkatkan kapasitas produksi bensin rengkahan katalitik, alkilat, isomerat dan bensin polimer.

Sehubungan dengan menurunnya baik jumlah maupun mutu umpan proses perengkahan katalitik, maka unjuk kerja katalis perengkah harus ditingkatkan dengan penyempurnaan struktur zeolit dan matriks katalis. Proses perengkahan katalitik ini di samping untuk pembuatan komponen bensin bermutu tinggi menghasilkan juga produk olefin rendah yang dipakai umpan proses-proses alkilasi, polimerisasi, dan pembuatan aditif oksigenat pengungkit angka oktana bensin. Untuk peningkatan bahan baku proses alkilasi dan pembuatan aditif oksigenat, perlu juga dikembangkan proses isomerisasi n.butilena.

## KEPUSTAKAAN

1. John R. Doshier, Jack T. Carney, Sulfur Increases Seen Mostly in Heavy Fraction of Lower Quality Crudes, Oil and Gas Journal, July 29, pp.57-76.
2. Robert, J. Beck, Oil Supply Increases Due in 1996's Second Half, Oil and Gas Journal July 29, pp. 57-76.
3. News, California Refineries Face Hurdle in Federal State RFG Rules, Oil and Gas Journal, October 10, 1994, pp. 23-28.
4. Special Report, Fuel Quality Stan-



- dards for Year 2000, Proposed by the European Commission, Fuels and Lubricants International, October 1996, vol. 2, No. 12, pp. 10-11.
5. A.S. Nasution, and E. Jasjfi, 1997 Updated Data on Refining Processes in Asean, 6th ASCOPE Refining workshop, October 19-20, 1997, Cebu, Philippines.
  6. A.S. Nasution, and E. Jasjfi, November 1995, Production of Gasoline and Impact of More Stringent Specifications on Catalyst performance, 4<sup>th</sup> ASCOPE Refining Workshop, Thailand.
  7. Richard A. Corbett, 1988, Restructuring Advanced Technology Mark Catalyst Activity, Oil and Gas Journal, Nov. 14, , pp. 83-9.
  8. Anne K. Rhodes, Oct. 10, 1994, FCC Units Benefit From Recent Catalyst Advancements, Oil and Gas Journal, pp.41-48.
  9. Avoiding Excessive RFCCU Catalyst Deactivation, Improving Catalyst Accessibility, Hydrocarbon Asia, pp.66-76.
  10. Badoni R.P., Uma Shanker and Kumar, Y, 1997, FCC as Mother Unit for Octane Enhancers and Petrochemicals, paper presented at ASCOPE'97 Conference, Jakarta, Nov.24-27.
  11. A.S. Nasution dan A. Gafar, 1987, Pengujian Aktivitas Katalis Perengkahan Silika-Alumina dengan Umpan Fraksi Berat minyak bumi, Seminar Pemanfaatan Zeolit, PPTM Bandung.
  12. Paul B. Venjoto and E. Thomas Habib, Jr, 1979, Fluid Catalyst Cracking with Zeolite Catalyst, Marcel Dekker, Inc, New York, pp.70-76.
  13. B. Delmon and G.F. Froment, Catalyst Deactivation, 1980. Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam, pp. 545-569.
  14. NN, 1997, The Role of Fluid Catalyst Cracking in the 21st Century, Fuel Technology & Management, 4<sup>th</sup> Quarter. •