



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Subagjo

**MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA
DALAM TEKNOLOGI KATALIS**

3 Februari 2018
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
3 Februari 2018

Profesor Subagjo

**MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA
DALAM TEKNOLOGI KATALIS**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 3 Februari 2018.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak Cipta ada pada penulis

Data katalog dalam terbitan

Subagjo

MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS

Disunting oleh Subagjo

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2018

vi+58 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-6624-11-6

1. Teknik Kimia 1. Subagjo

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, sehingga saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Terima kasih saya sampaikan kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar pada 3 Februari 2018.

Pidato ilmiah saya berjudul “MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS” ini merupakan rekam jejak saya dalam menjalankan tugas sebagai dosen melaksanakan pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dalam bidang Katalis dan Katalisis.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 20 Januari 2018

Subagjo

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
1 PENDAHULUAN	1
2 PERAN KATALIS DALAM REAKSI KIMIA	3
2.1 Sifat Termodinamika Reaksi	4
2.2 Sifat Kinetika Reaksi	4
2.3 Katalis mempercepat Reaksi	5
3 KATALIS HETEROGEN (KATALIS PADAT)	10
3.1 Komponen aktif.....	11
3.1.1 Katalis logam.....	13
3.1.2 Katalis oksida logam	13
3.1.3 Katalis insulator (katalis asam basa)	14
3.2 Penyangga	15
3.3 Promotor.....	16
4 TAHAP REAKSI BERKATALIS PADAT	17
5 PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KATALIS	18
6 KEBUTUHAN KATALIS DI INDONESIA	19
7 PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KATALIS DI ITB	20
7.1 Perjalanan Merintis Kerjasama Dengan Berbagai Industri	22
7.1.1 Pengembangan Katalis Perengkahan Stearin	22
7.1.2 Pengembangan Unit Pembangkit Hipoklorit	23

7.1.3 Pengembangan Adsorben H ₂ S berbasis Besi Oksida	24
7.1.4 Pengembangan Katalis Hydrotreating Nafta	27
7.1.5 Pengembangan Katalis Hydrotreating Diesel	33
7.1.6 Pengembangan Katalis Hidrodeoksigenasi Minyak Nabati	33
7.1.7 Kerjasama dengan Clariant Kujang Katalis	34
7.1.8 Pengembangan Katalis Hidrogenasi Ester-lemak menjadi Alkohol-lemak	35
7.1.9 Pengembangan Proses dan Katalis Fischer Tropsch	36
7.1.10 Pengembangan Katalis Lainnya	36
7.2 Matakuliah Katalis dan Katalisis	37
7.3 Masyarakat Katalisis Indonesia	38
7.4 Penguatan Inovasi, Pengembangan dan Produksi Katalis Merah Putih	40
7.5 Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Katalisis	40
8 PENUTUP	40
9 UCAPAN TERIMA KASIH	41
DAFTAR PUSTAKA	43
CURRICULUM VITAE	47

MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS

1. PENDAHULUAN

Katalis memegang peran sangat penting pada penyelenggaraan dan pengembangan industri kimia. Dewasa ini hampir setiap produk industri kimia dihasilkan melalui proses yang memanfaatkan jasa katalis.

Secara sederhana katalis dapat didefinisikan sebagai zat yang dapat mempercepat dan mengarahkan reaksi. Dengan katalis, reaksi dapat diselenggarakan pada kondisi yang lebih lunak (temperatur dan tekanan rendah) dengan laju dan selektifitas yang tinggi. Kemampuan inilah yang kini menjadi tumpuan harapan manusia untuk memenuhi tuntutan efisiensi waktu, bahan baku, energi, dan pelestarian lingkungan.

Secara sengaja penambahan “senyawa asing untuk melangsungkan reaksi” baru dimulai pada pertengahan abad ke 18 yaitu ketika Roebuck dan yang lain memperkenalkan proses kamar timbal, pada tahun 1746, untuk oksidasi SO₂ menjadi SO₃ dengan penambahan sedikit NO₂. Pada abad ke 19, penelitian tentang penggunaan senyawa asing untuk melangsungkan reaksi makin menarik minat banyak peneliti.

Perkembangan penggunaan senyawa asing tersebut diikuti oleh ahli kimia dari Swedia bernama Jon Jakob Berzelius, yang setelah melengkapi dengan hasil penelitiannya, pada tahun 1836, menyimpulkan bahwa *senyawa-senyawa asing tersebut memiliki kemampuan untuk mengaktifkan*

senyawa-senyawa yang bereaksi, tanpa senyawa asing itu sendiri mengalami perubahan keadaan. Selanjutnya Berzelius mengusulkan istilah **katalisis** untuk peristiwa pengaktifan reaktan tersebut, dan **katalis** untuk senyawa yang memiliki kemampuan mengaktifkan reaktan-reaktan yang bereaksi.

Menyusul definisi yang diberikan oleh Barzelius, pada tahun 1842 Mitscherlich mengusulkan konsep "*contact action*" katalis terhadap reaktan. Gagasan ini merupakan kesimpulan dari hasil-hasil penelitian tentang oksidasi hidrogen dengan katalis logam Pt yang menunjukkan bahwa reaksi dapat berlangsung jika permukaan logam yang digunakan berada pada keadaan murni dan bersih. Hasil ini menunjukkan bahwa, dalam mempengaruhi reaksi, katalis tidak hanya sekedar hadir, tetapi lebih dari itu, harus mengadakan kontak dengan reaktan(-reaktan) yang terlibat reaksi.

Hasil-hasil penelitian berikutnya makin memperjelas peran katalis dalam mempercepat reaksi. Pada tahun 1901 Ostwald memperbaiki definisi yang telah diusulkan Barzelius sebelumnya. Menurut Ostwald katalis adalah zat yang bila dilibatkan dalam reaksi dapat mempercepat reaksi dan tidak tergabung dalam produk reaksi. Setelah melaksanakan studi kinetika berbagai reaksi dan memperhatikan prinsip termodinamika reaksi yang dikemukakan oleh van't Hoff, Ostwald menambahkan beberapa penjelasan berikut ini.

1. Katalis dapat mempercepat reaksi yang menurut hukum termodinamika dapat berlangsung, atau dengan ungkapan lain, katalis tidak dapat menyebabkan berlangsungnya reaksi yang

menurut hukum termodinamika tidak mungkin terjadi.

2. Katalis mempercepat reaksi mencapai kesetimbangan, tetapi tidak mengubah kesetimbangan reaksi. Ini berarti, bahwa untuk reaksi reversibel katalis yang mempercepat reaksi ke kanan juga mempercepat reaksi ke kiri.
3. Untuk reaksi yang berlangsung mengikuti beberapa arah reaksi (reaksi paralel), katalis tertentu hanya mempercepat satu arah reaksi saja.

Definisi katalis menurut Ostwald ini hingga kini masih dapat diterima dan merupakan penjelasan ringkas tentang kemampuan yang dimiliki katalis, yaitu mempercepat dan mengarahkan reaksi untuk mencapai kesetimbangan.

2. PERAN KATALIS DALAM REAKSI KIMIA

Reaksi, pada dasarnya, adalah proses penyusunan (pemutusan dan pembentukan) ikatan atom dalam molekul-molekul reaktan, sehingga diperoleh molekul dengan struktur kimia yang berbeda dari reaktannya. Unjuk kerja reaksi, yaitu konversi dan laju reaksi, ditentukan oleh dua sifat reaksi, yaitu: sifat termodinamika dan sifat kinetika.

Pemahaman kedua sifat ini sangat diperlukan dalam penyelesaian reaksi, terutama dalam kegiatan: perancangan kondisi reaksi, perancangan reaktor, evaluasi unjuk kerja reaktor, dan pengendalian kondisi reaksi.

2.1 Sifat Termodinamika Reaksi.

Sifat termodinamika reaksi, secara kuantitatif, dapat dinyatakan dengan besaran termodinamik: perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) dan entalpi (ΔH) reaksi. Kedua sifat tersebut menentukan perilaku reaksi, yaitu konversi kesetimbangan (konversi maksimum) dan kalor yang dibutuhkan atau dihasilkan reaksi. Konversi maksimum suatu reaksi dapat dijadikan bahan penilaian kelayakan komersial reaksi dan target dalam perancangan dan penyelenggaraan reaksi.

Sifat termodinamika juga memberikan informasi tentang kalor yang dihasilkan atau dibutuhkan reaksi. Informasi ini sangat berguna dalam menentukan jenis, bentuk dan dimensi reaktor serta jenis, bentuk dan ukuran katalis, agar kalor yang dibutuhkan atau dihasilkan oleh reaksi dapat dipenuhi atau diambil secepat dan seefisien mungkin, sehingga operasi dapat dilangsungkan secara cepat, aman dan lancar.

2.2 Sifat Kinetika Reaksi

Sifat kinetika reaksi mengungkapkan hubungan antara kondisi reaksi dengan laju reaksi, dan biasanya dinyatakan dengan persamaan laju reaksi.

Menurut teori kinetika gas, reaksi dapat berlangsung jika terjadi kontak antara molekul reaktan dengan orientasi yang tepat dan energi yang cukup. Dengan demikian, laju reaksi sama dengan jumlah tumbukan yang memenuhi syarat di atas setiap satuan waktu. Secara matematik ungkapan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$r = Z(C_i)f_p f_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

dengan

Z : jumlah tumbukan tiap satuan waktu tiap satuan volum,

C_i : konsentrasi molekul reaktan i.

f_p : faktor kemungkinan tumbukan antar reaktan,

f_o : faktor orientasi tumbukan,

E_a : energi pengaktifan reaksi (selalu bernilai positif),

R : tetapan gas universal,

T : temperatur reaksi

Persamaan di atas mengungkapkan bahwa reaksi dapat dipercepat melalui berbagai cara, yaitu: menaikkan temperatur reaksi (T), menaikkan konsentrasi (C_i) atau tekanan parsial (P_i) reaktan, meningkatkan kemungkinan tumbukan antar reaktan (f_p), meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan (f_o), dan menurunkan energi pengaktifan (E_a).

2.3 Katalis mempercepat Reaksi

Menurut Sabatier katalis dapat mempercepat reaksi karena kemampuannya **berinteraksi dengan paling sedikit satu reaktan untuk menghasilkan senyawa-antara yang sangat aktif**. Interaksi ini akan meningkatkan laju reaksi sebagai akibat dari satu atau beberapa hal berikut ini:

1. terjadi alur reaksi dengan energi pengaktifan (E_a) yang lebih rendah,

2. peningkatan ketepatan orientasi tumbukan (f_o),
3. peningkatan kemungkinan tumbukan antar reaktan (f_p), dan
4. peningkatan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan, sehingga meningkatkan jumlah tumbukan (Z).

Sebagai contoh, berikut ini disajikan hasil penentuan laju hidrogenasi etilena tanpa katalis dan dengan katalis CuO-MgO.

Persamaan laju reaksi tanpa katalis

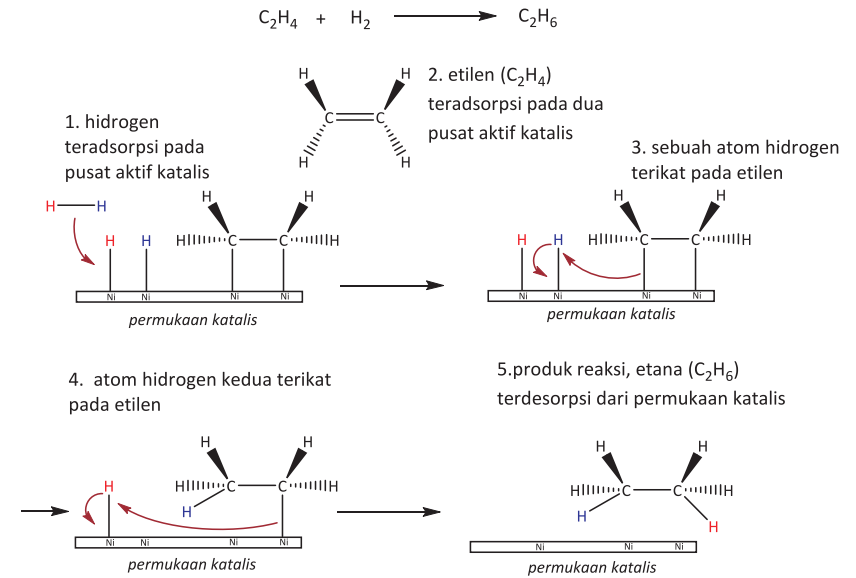
$$r_o = 10^{27} \exp\left(-\frac{43000}{RT}\right) P_{H_2} \quad (2)$$

Persamaan laju reaksi dengan reaksi

$$r_o = 2 \times 10^{27} \exp\left(-\frac{13000}{RT}\right) P_{H_2} \quad (3)$$

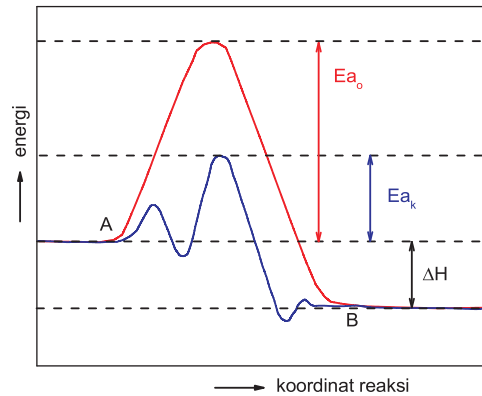
Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis CuO-MgO dapat meningkatkan faktor frekuensi (mencakup Z , f_o dan f_p) dua kali lipat, dan menurunkan energi pengaktifan dari 43 kcal/mol menjadi 13 kcal/mol. Pada temperatur 600 K perbandingan antara laju hidrogenasi berkatalis dan tanpa katalis (r_k/r_o) adalah $1,4 \times 10^{11}$. Peningkatan laju reaksi yang luar biasa besar, dan terutama disebabkan oleh penurunan energi pengaktifan (E_a).

Gambar-gambar di bawah ini menunjukkan contoh hasil interaksi katalis dengan reaktan membentuk senyawa aktif (gambar 1), dan penurunan energi pengaktifan reaksi (gambar 2) akibat interaksi tersebut.



Gambar 1. Hidrogenasi Etilena dengan katalis Nikel

Gambar 1 menunjukkan interaksi hidrogen dan etilena dengan pusat aktif katalis Ni membentuk 2 atom hidrogen teradsorpsi dan etilena teradsorpsi pada dua pusat aktif dengan membentuk ikatan C—Ni hasil pembukaan ikatan rangkap.

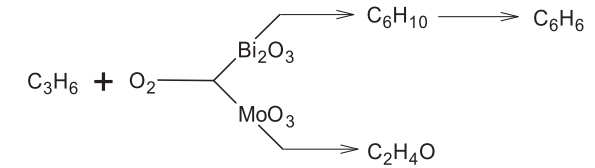


Gambar 2. Interaksi Katalis dan Reaktan mengakibatkan penurunan Energi aktivasi

Gambar 2 mengilustrasikan interaksi katalis dengan reaktan menyebabkan terjadinya alur baru yang terdiri dari tiga tahap reaksi (ditandai dengan adanya tiga puncak) dan mengakibatkan penurunan energi aktivasi reaksi dari E_{a_0} menjadi E_{a_k} .

Senyawa-antara hasil interaksi katalis dan reaktan sangat aktif, sehingga secara cepat dapat mengalami perubahan-perubahan mengikuti tahap reaksi yang berlangsung sampai akhirnya menjadi produk dan meninggalkan katalis kembali pada bentuknya semula. Pembentukan senyawa-antara yang sangat aktif ini memungkinkan penggunaan sejumlah kecil katalis untuk meningkatkan laju reaksi sejumlah besar campuran reaktan.

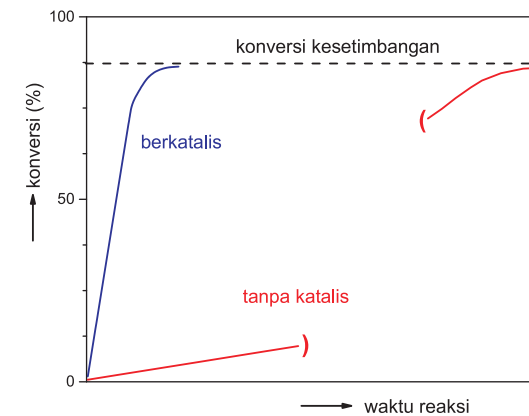
Pada umumnya katalis bersifat spesifik, artinya katalis tertentu hanya mempercepat reaksi tertentu saja.



Gambar 3. Katalis hanya mempercepat satu jalur reaksi saja

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa perbedaan produk tersebut pada Gambar 3 merupakan akibat dari perbedaan senyawa-antara yang terbentuk dan alur reaksi yang diselenggarakan oleh tiap katalis.

Katalis hanya dapat meningkatkan laju reaksi (sifat kinetika), tetapi tidak mempengaruhi sifat termodinamika reaksi, seperti ilustrasi pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Katalis mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan

Keterlibatan katalis dalam reaksi tidak dapat menggeser kesetimbangan reaksi, artinya katalis hanya mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan, atau dengan perkataan lain, katalis selain mempercepat reaksi ke kanan juga mempercepat reaksi ke kiri.

3. KATALIS HETEROGEN (KATALIS PADAT)

Berdasarkan fasa katalis, reaktan dan produk reaksinya, katalis dapat dikelompokkan dalam katalis homogen, yaitu katalis yang berfasa sama dengan fasa campuran reaksinya, dan katalis heterogen yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis homogen pada umumnya memiliki aktivitas dan selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis heterogen, karena setiap molekul-katalis aktif sebagai katalis. Katalis heterogen, yang biasanya berupa padatan, memiliki pusat aktif yang tidak seragam. Tidak semua bagian permukaan padatan dapat berfungsi sebagai pusat aktif, dan tidak semua pusat aktif memiliki keaktifan yang sama. Bahkan pada keadaan yang terburuk, bagian permukaan yang satu dapat meracuni bagian lainnya. Heterogenitas permukaan ini menyebabkan katalis heterogen menjadi kurang efektif dibandingkan dengan katalis homogen.

Sekalipun katalis homogen banyak memiliki keunggulan dibandingkan dengan katalis heterogen, namun katalis heterogen tetap menjadi primadona dalam industri, karena mudah dipisahkan dari campuran reaksinya, dan lebih stabil terhadap perlakuan termal, sehingga jika diperlukan, reaksi dan/atau regenerasi katalis dapat dilakukan pada

temperatur tinggi. Dewasa ini penggunaan katalis padat di industri mencapai sekitar 80%.

Dengan tujuan memudahkan pemisahannya, beberapa katalis homogen ditambatkan di permukaan penyangga padat dan disebut *Heterohomogeneous catalyst* (katalis homogen yang diheterogenkan).

Katalis dibentuk dari komponen-komponen yang dapat menunjang sifat katalis yang diharapkan. Pada dasarnya sifat-sifat katalis yang diharapkan adalah: aktif, selektif, tahan terhadap gangguan (fisika, kimia, termal dan mekanika), dan murah. Selain itu khusus untuk katalis heterogen pada kondisi tertentu dibutuhkan sifat-sifat lain, diantaranya: konduktivitas termal yang tinggi, dan memberikan distribusi aliran yang merata dan hilang tekan (*pressure drop*) yang rendah. Untuk memenuhi sifat-sifat tersebut, umumnya katalis padat dibentuk dari **3 komponen utama**, yaitu: komponen aktif, penyangga (*support*), dan promotor. Tiap komponen, masing-masing atau secara bersama-sama, dapat memberikan sifat-sifat katalis yang diinginkan.

3.1 Komponen aktif

Komponen aktif mengemban fungsi utama katalis, yaitu mempercepat dan mengarahkan reaksi. Oleh karena itu komponen ini harus aktif mengkonversikan reaktan dan selektif pada pembentukan produk yang diinginkan, serta enggan mempromosikan reaksi yang tidak diinginkan.

Komponen aktif katalis padat dapat dikelompokkan berdasarkan sifat

konduktivitas-listriknnya. Pengelompokkan dengan cara ini, sekaligus dapat memilah katalis sesuai dengan tipe reaksi, faktor yang paling berpengaruh (geometri dan elektronik). Tabel 1 berikut ini menampilkan kelompok-kelompok komponen aktif katalis tersebut.

Tabel 1. Pengelompokkan komponen aktif katalis

Kelompok komponen aktif	Konduktor (logam)	Semikonduktor (logam oksida/sulfida)	Insulator (garam dan padatan asam)
Tipe reaksi	Redoks	Redoks	Asam-basa
Kelompok reaksi yang sesuai	Hidrogenasi Dehidrogenasi Hidrogenolisis Oksidasi Reduksi	Oksidasi Reduksi Dehidrogenasi Siklisasi Hidrogenasi	Polimerisasi Isomerisasi Perengkahan Dehidrasi Alkilasi Perpindahan hidrogen Halogenasi Dehalogenasi
Contoh	Fe, Co, Ni, Rh, Pt, Pd, Ru, Cu, Ag, Os	CuO, AgO, NiO, Fe ₃ O ₄ , Cr ₂ O ₃ , MoO ₃ , WO ₃ , CoO ₃ , V ₂ O ₅ , TiO ₂ , ZnO, CdO	lempung alam, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ -Al ₂ O ₃ , zeolit

Dalam praktek sering dijumpai katalis yang difungsikan untuk mempercepat dua jenis reaksi sekaligus, misalnya hidrogenasi dan isomerisasi. Katalis yang mengemban dua fungsi seperti itu disebut katalis dwifungsi (*bifunctional catalyst*). Untuk contoh tersebut katalis

harus mengandung dua komponen aktif, yaitu dari anggota kelompok logam, misal Pt, untuk mempercepat hidrogenasi; dan anggota kelompok padatan asam, misal Al₂O₃ untuk mempercepat proses isomerisasi.

3.1.1 Katalis logam

Katalis logam merupakan katalis yang paling banyak digunakan di industri. Lebih dari 70% reaksi berkatalis melibatkan katalis logam. Logam transisi paling banyak digunakan, karena memiliki orbital d yang tidak terisi penuh. Sifat ini menyebabkan logam transisi mudah berkoordinasi dengan reaktan. Umumnya logam dalam satu golongan (dalam daftar periodik) memiliki keaktifan yang hampir sama, karena memiliki konfigurasi elektron yang sama. Diantara logam-logam transisi, logam golongan VIII sering merupakan katalis yang aktif.

Logam alkali dan alkali tanah sangat mudah terionisasi, sehingga sangat kurang aktif sebagai katalis, tetapi banyak digunakan sebagai promotor. Sedangkan logam tanah jarang (rare earth) sukar diproduksi dalam bentuk logam, karena terlalu reaktif. Dalam bentuk oksidanya logam tanah-jarang sering digunakan sebagai promotor dan kadang-kadang sebagai katalis

3.1.2 Katalis oksida logam

Oksida logam dan sulfida logam bersifat semikonduktor tipe p atau tipe n. Sifat ini menyebabkan pada temperatur yang relatif tinggi dapat menyumbangkan atau menampung elektron yang terlibat reaksi. Seperti

katalis logam, golongan katalis ini banyak digunakan sebagai katalis reaksi redoks (reduksi-oksidasi) tetapi dengan keaktifan yang berbeda. Dalam hal reaksi hidrogenasi, katalis logam lebih aktif, tetapi dalam reaksi oksidasi, termasuk oksidatif dehidrogenasi, oksida logam lebih aktif daripada katalis logam.

3.1.3 Katalis insulator (katalis asam basa)

Katalis ini tidak memiliki kemampuan untuk memindahkan elektron. Oleh karena itu, katalis insulator tidak aktif dalam reaksi redoks, tetapi, karena memiliki pusat asam (baik Bronsted atau Lewis), kelompok insulator umumnya aktif dalam reaksi yang melibatkan senyawa-senyawa karbokation dan karbanion, seperti polimerisasi, perengkahan dan isomerisasi.

Aktivitas dan selektivitas terutama ditentukan oleh jenis pusat asam (Lewis atau Bronsted), jumlah dan kekuatan asam pusat asam katalis. Faktor-faktor di atas dapat diatur dengan mudah pada saat pembuatan katalis. Pada zeolit misalnya, makin tinggi Al/Si makin banyak pusat asam, tetapi makin lemah kekuatannya. Cara-cara lain seperti pertukaran ion, pemanasan dengan kukus dapat juga digunakan untuk mengatur keasaman zeolit.

Zeolit termasuk katalis yang istimewa dalam golongan ini. Selain memiliki pusat asam, pori-pori zeolit berukuran molekul, sehingga dapat digunakan sebagai saringan molekul reaktan, produk maupun senyawa-antara. Sifat ini menyebabkan zeolit lebih spesifik dan dapat digolongkan

dalam katalis yang selektif terhadap bentuk (reaktan, produk maupun senyawa-antara). Ukuran dan dimensi pori sangat menentukan aktivitas dan selektivitas zeolit dan dapat diatur pada saat pembuatannya.

3.2 Penyangga

Pada katalisis heterogen dengan katalis padat, reaksi berlangsung di permukaan katalis. Oleh karena itu, katalis heterogen harus dapat menyediakan permukaan yang luas, biasanya berkisar antara 10-300 m²/gram. Padahal komponen aktif katalis umumnya tidak memiliki permukaan yang luas, sehingga dalam bentuk butiran yang besar (beberapa mm), tidak seluruh pusat aktifnya dapat kontak dengan reaktan. Oleh karena itu, komponen aktif perlu ditebarkan dalam bentuk partikel yang sangat kecil (beberapa nm) di permukaan penyangga berpermukaan luas, dengan tujuan memperluas permukaan kontak antara komponen aktif dan reaktan, tanpa mengurangi aktivitas intrinsik komponen aktif itu sendiri.

Dengan penebaran komponen aktif di permukaan penyangga ini, beberapa keuntungan dapat diraih; terutama adalah:

1. keaktifan katalis per satuan berat komponen aktif meningkat,
2. komponen aktif, yang biasanya mahal, dapat digunakan secara lebih efektif.

Umumnya penyangga dipilih dari jenis padatan berpori, sehingga dalam pemilihan penyangga, ukuran dan distribusi pori harus dipertimbangkan untuk dimanfaatkan. Penyangga dengan pori

berdiameter kecil memiliki permukaan yang luas, tetapi dalam penggunaannya sebagai katalis dapat menghasilkan hambatan difusi reaktan/produk. Sebaliknya, makin besar diameter pori makin kecil luas permukaan padatan. Diameter pori harus dipilih pada nilai yang optimum dan sebaiknya seragam.

Sifat padatan yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan penyangga adalah: keinertan, kekuatan mekanikal, kestabilan termal pada rentang kondisi reaksi dan regenerasi, luas permukaan, porositas, dan harga.

Diantara banyak padatan yang dapat digunakan sebagai penyangga, hanya 3 yang memiliki kombinasi yang baik dari keenam sifat di atas, yaitu alumina, silika dan karbon aktif. Dan dari ketiga padatan itu, alumina adalah padatan yang paling banyak digunakan di industri.

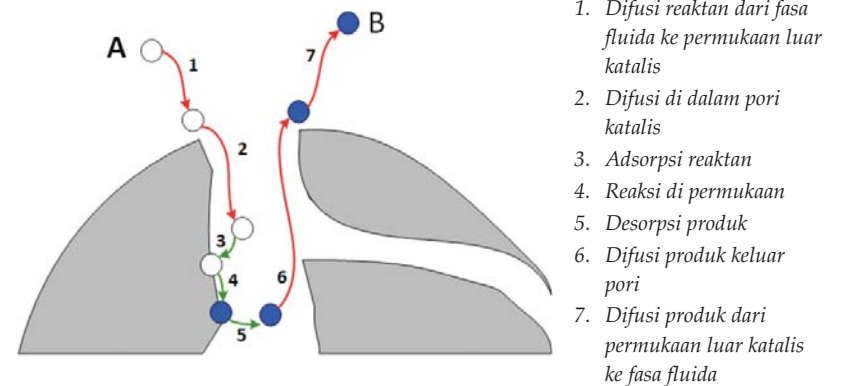
3.3 Promotor

Promotor ditambahkan pada katalis dengan maksud untuk meningkatkan kinerja katalis (aktivitas dan/atau selektivitas dan/atau stabilitas). Lazimnya, promotor ditambahkan dalam jumlah kecil pada saat pembuatan katalis.

Promotor sendiri umumnya tidak aktif, tetapi penambahannya kepada katalis dapat memperbaiki kinerja katalis. Kenyataan ini menunjukkan adanya interaksi secara fisika dan/atau kimia antara promotor dengan komponen lain dalam katalis.

4. TAHAP REAKSI BERKATALIS PADAT

Pada katalis heterogen, situs/pusat aktif reaksi terutama berada di permukaan pori katalis. Reaktan, untuk dapat berinteraksi dengan pusat aktif katalis, harus terlebih dahulu berpindah (berdifusi) dari fasa fluida ke permukaan luar katalis, lalu menyusuri pori menuju ke pusat aktif di permukaan dalam katalis. Secara lengkap tahap kejadian yang berlangsung pada reaksi berkatalis disajikan dalam Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Tahap-tahap reaksi berkatalis

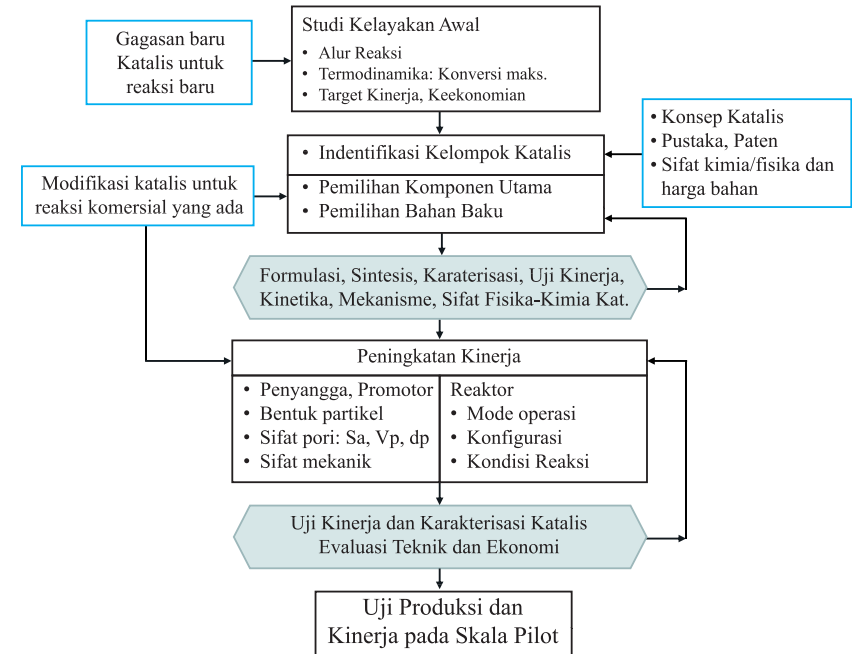
Pada katalis heterogen selain berlangsung kejadian/peristiwa kimia (tahap 3,4, dan 5) juga kejadian/peristiwa fisika (tahap 1,2,6 dan 7). Pada dasarnya tahap-tahap peristiwa fisika (difusi) tersebut menambah hambatan proses secara keseluruhan. Oleh karena itu, dalam praktek, peristiwa fisika diusahakan berlangsung secepat mungkin agar tidak menghambat reaksi.

5. PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KATALIS

Sasaran akhir dan utama penelitian katalis adalah merancang katalis dengan kinerja yang baik: aktif, selektif, stabil dan murah, sehingga dapat digunakan di industri. Penelitian untuk pengembangan katalis industri membutuhkan dana sangat besar dan waktu panjang. Pengembangan metallocene, katalis polimerisasi olefin, membutuhkan dana 3 milyar dolar amerika, dan waktu lebih dari 10 tahun. Meskipun demikian penjualan katalis tersebut pada tahun 2000 di Eropa dapat mencapai 2,5 milyar dolar amerika.

Katalis yang optimum untuk suatu reaksi hampir tidak mungkin diperoleh secara langsung dari satu rangkaian tahap pengembangan katalis, tetapi hampir selalu melalui tahap iterasi yang panjang dari proses sintesis, karakterisasi dan uji kinerja katalis. Sering untuk penjarangan awal saja harus diuji 500-1000 komposisi kandidat katalis. Pada 1910 tim peneliti di bawah pimpinan Mitash berhasil mendapatkan katalis sintesis amoniak (NH_3), setelah menguji sekitar 20.000 kandidat katalis. Saat ini untuk mempercepat penjarangan formula dapat digunakan teknik kombinatorial.

Secara ringkas dan sederhana tahapan pengembangan katalis disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tahap Pengembangan Katalis Industrial

Pada tahap pembuatan skala pilot sering masih perlu dilakukan iterasi proses sintesis-karakterisasi-uji kinerja, untuk meyakinkan pembuatan katalis pada skala lebih besar juga menghasilkan katalis yang memiliki sifat dan kinerja yang baik.

6. KEBUTUHAN KATALIS DI INDONESIA

Saat ini diperkirakan kebutuhan dunia akan katalis mencapai 21 milyar dolar Amerika. Nilai yang tidak terlalu besar, tetapi nilai yang dibangkitkan dengan penggunaan katalis tersebut dapat mencapai 11-15

trilyun dolar Amerika.

Kebutuhan Indonesia juga cukup besar, diperkirakan mencapai 500 juta USD, dan hampir seluruhnya harus diimpor dari luar negeri. Sebagian kecil saja diproduksi di Indonesia dengan lisensi dari luar negeri.

Keistimewaan peran katalis dalam industri menyebabkan banyak negara maju terutama Amerika Serikat selalu berusaha berada di garis terdepan dalam penguasaan ilmu dan teknologi katalisis. Tidak mengherankan saat ini 80% kebutuhan katalis dunia dipasok dari perusahaan-perusahaan asal Amerika Serikat.

Dari seluruh katalis yang digunakan di industri, sebenarnya hanya 40% yang dijual bebas di pasaran, lainnya (60%) diproduksi untuk digunakan sendiri oleh industri pengembangnya. Monopoli penggunaan katalis ini tentu saja dimaksudkan agar pemilik resep dan teknologi katalis dapat tetap unggul dalam persaingan pasar. Kenyataan ini telah mendorong banyak industri dan lembaga negara untuk berusaha mandiri dalam bidang katalis. Demikian pula seharusnya Indonesia.

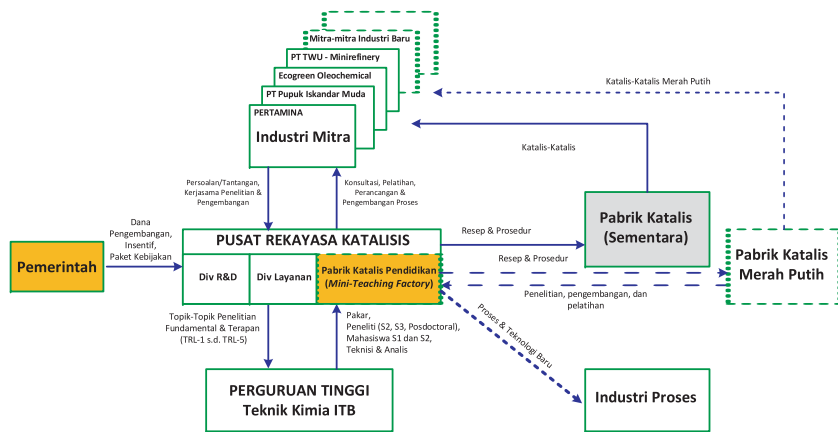
7. PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KATALIS DI ITB

Penguasaan teknologi produksi katalis memiliki nilai sangat strategis bagi ekonomi suatu negara. Pengembangan katalis industrial membutuhkan tim peneliti yang kuat. Oleh karena itu pengembangan katalis di Indonesia saat ini, sebaiknya dilakukan bersama oleh lembaga penelitian, perguruan tinggi dan industri. Penelitian dasar hingga

menghasilkan formula katalis yang baik dilakukan di lembaga penelitian dan/atau perguruan tinggi, sedangkan pengujian kinerja katalis menggunakan reaktor skala pilot dan skala komersial, dilakukan di industri. Selain itu industri juga dapat membantu menyediakan dana dan sarana pengujian, terutama pengujian dalam reaktor komersial. Namun, peluang untuk menemukan industri yang berkenan menjadi pasangan kerjasama bukan merupakan hal yang mudah di Indonesia.

Sejak 1996 Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB (saat itu Laboratorium Konversi Termokimia) telah menerapkan pola kerjasama seperti digambarkan pada Gambar 7. Bersama mitra industri, kami menentukan sasaran penelitian. Penelitian dasar hingga formulasi katalis dilaksanakan di lab Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis (Lab TRK), sedangkan pengujian kinerja katalis dalam skala pilot dan unit demonstrasi dilaksanakan di industri mitra. Penelitian merupakan sarana yang baik untuk mendidik para mahasiswa sebagai calon peneliti, sehingga dalam pengembangan katalis dan teknologi proses, mahasiswa S1, S2 dan S3 selalu dilibatkan.

Produksi katalis dalam skala besar dapat dilakukan di industri mitra atau diproduksi oleh pabrik katalis yang ada. Di Indonesia saat ini hanya ada satu pabrik katalis yaitu PT Clariant Kujang Katalis.



Gambar 7. Skema Kerjasama Pengembangan Katalis dengan Industri

7.1 Perjalanan Merintis Kerjasama Dengan Berbagai Industri

Upaya untuk membangun kerjasama dengan industri sudah kami mulai sejak tahun 1985. Tidak mudah, setelah sepuluh tahun upaya tersebut baru membuahkan hasil. Dengan kerjasama ini diharapkan penelitian untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat berdampak positif pada kegiatan inovasi nasional.

7.1.1 Pengembangan Katalis Perengkahan Stearin

Pada tahun 1983-1987, kami, saya dan Prof. Sudarno Harjo Suparto melakukan pengembangan katalis untuk perengkahan stearin. Saat itu, stearin yang merupakan sisa pabrik minyak goreng belum dimanfaatkan dengan baik. Perengkahan stearin menggunakan katalis zeolit dapat menghasilkan BBM, terutama bensin. Kami menawarkan topik menarik

ini kepada rekan di Pertamina untuk dikembangkan bersama, tetapi ditolak, karena dinilai tidak menguntungkan secara ekonomi. Sayang, dengan penolakan itu, gerak penelitian kami melambat, padahal akhir-akhir ini proses perengkahan minyak nabati untuk menghasilkan “bensin hijau” merupakan alternatif yang sangat menarik.

Meskipun demikian pada periode 1983-1987 itu kami telah belajar melakukan sintesis komponen utama katalis perengkahan, yaitu zeolit Y, zeolit Y yang distabilkan (USY) dan ZSM-5.

7.1.2 Pengembangan Unit Pembangkit Hipoklorit

Pada tahun 1983, kami, saya bersama Dr. Irwan Noezar, Prof. Sudarno dan Prof. Soehadi Reksowardojo, telah mengembangkan Unit Pembangkit Hipoklorit, yaitu alat untuk mengkonversi larutan garam dapur menjadi desinfektan air minum. Konversi dilangsungkan dengan proses elektrolisa menggunakan elektroda yang distabilkan. Dana Penelitiannya diperoleh dari Pemerintah Belanda melalui Poyek JTA-9A yang dipimpin oleh Prof. Soehadi.



Gambar 8. Unit Pembangkit Setempat Hipoklorit

Dalam merancang Unit Pembangkit Hipoklorit untuk dikomersialkan, kami juga dibantu oleh Dr. Imam Buchori Zainuddin dari Jurusan Desain Produk, Fakultas Seni Rupa dan Desain, ITB.

Pada saat itu 64 unit dibeli oleh

Departemen Kehutanan Republik Indonesia untuk desinfeksi air minum di daerah terpencil. Sayang, setelah Menteri Kehutanan diganti, pembelian unit pembangkit hipoklorit terhenti. Beberapa perusahaan air minum, seperti PDAM dan Proyek Ibu Kota Kecamatan, lebih senang menggunakan kaporit impor daripada harus membangkitkan sendiri hipoklorit dari larutan garam dapur.

Pada kedua upaya mencari pasangan kerjasama yang saya kisahkan tadi, kamilah yang berinisiatif membawa topik yang menurut kami sangat bermanfaat bagi kandidat pasangan kerjasama dan juga masyarakat Indonesia, tetapi keduanya gagal. Itulah sebabnya saya selalu menyampaikan bahwa mencari industri pasangan kerjasama penelitian bukanlah pekerjaan yang mudah, bahkan sangat sulit. Harus bertemu pimpinan industri yang militan; dan alhamdulillah saya berkesempatan bertemu dengan pimpinan industri yang di dadanya bertengger garuda.

7.1.3 Pengembangan Adsorben H₂S berbasis Besi Oksida

Pada 1994 kami, saya dan Dr. Tatang Hernas Soerawidjaja, bertemu dengan Ir Kadar Soeradimadja, yang kala itu menjabat sebagai direktur litbang PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM). Beliau memberi tantangan kepada kami untuk mengembangkan adsorben H₂S, yang saat itu harus diimpor dari Amerika dalam jumlah besar. Harganya tidak terlalu mahal, tetapi ongkos angkutnya sangat mahal.

Tantangan kami terima, dan penelitian kami mulai pada 1995, digiatkan oleh mahasiswa S3: Ir. Kamiso Purba MSc. dan dibantu oleh

mahasiswa S2 dan S1. Pada 1999 diperoleh formula adsorben dengan kinerja yang baik, yang memiliki kapasitas 2 kali lipat kapasitas adsorben yang selama ini diimpor oleh PT. PIM. Adsorben berbasis besi oksida tersebut kami beri nama PIMIT-B1. Meskipun demikian, hingga 2007, hasil penelitian ini hanya teronggok sebagai laporan, beberapa publikasi dan sebuah dokumen paten yang masih dalam tahap verifikasi di Departemen HAKI.

Pada 2007, Ir Bambang Sedewo, yang saat itu menjabat sebagai direktur produksi PT. PIM, bekeinginan mewujudkan hasil penelitian ini menjadi pabrik untuk menghasilkan adsorben; dan alhamdulillah pada awal 2010 pabrik PIMIT-B1 berhasil dibangun. Sayang pada saat pabrik sudah bisa berproduksi, PT. PIM mendapat gas yang bersih (hanya mengandung sedikit H₂S), sehingga tidak membutuhkan PIMIT-B1 lagi. Jadi PIMIT-B1 harus dipasarkan ke industri lain, dan tentu tidak mudah. Kepercayaan industri pada produk dalam negeri sangat rendah.



Gambar 9. Pabrik PIMIT-B1 Kapasitas 600 Ton/tahun

Secara cuma-cuma 5 ton PIMIT-B1 pernah diberikan kepada anak perusahaan suatu BUMN untuk pengujian dalam reaktor skala komersial. Meskipun hasilnya sangat memuaskan, tetapi untuk penggunaan tahun berikutnya, perusahaan tersebut tetap membeli produk impor yang biasa digunakan, dan tidak berkenan membeli PIMIT-B1. Jadi untuk memasarkannya, kami harus bertemu dengan pimpinan industri yang militan, yang berdeda merah-putih.



Gambar 10. Unit Desulfurisasi Gas di Medco Lematang yang Menggunakan 15 ton PIMIT-B1

Pada 2013, PT Medco Energy akhirnya menjadi perusahaan pertama yang membeli dan menggunakan 15 ton PIMIT-B1 untuk desulfurisasi gas di Lematang. Hasilnya memuaskan dan hingga 2016 Medco Energy telah

menggunakan 90 ton PIMIT-B1. Mudah-mudahan Medco Energy akan membeli lebih banyak untuk digunakan di lapangan gas yang lain.

7.1.4 Pengembangan Katalis Hydrotreating Nafta

Sejak tahun 2000, saya bersama beberapa teman, diantaranya Dr. IGBN Makertihartha dan Dr. Melia Laniwati, diminta membantu PT. Pertamina untuk melakukan evaluasi dan seleksi katalis *Atmospheric Residue Hydrodemetalization*. Perkenalan selama bekerjasama itu mungkin membuat Ir. Suroso, kala itu tahun 2003, menjabat Manajer Senior Kehandalan dan JPS Direktorat Hilir Pertamina, mengajukan tantangan kepada kami untuk mengembangkan katalis *Naphtha Hydrotreating*. PT. Pertamina menjanjikan untuk menguji katalis hasil pengembangan ini dalam reaktor terkecil di Pertamina bervolume sekitar 5 m^3 .

Tantangan ini kami terima, dan penelitian ini dimulai pada 2004; digiatkan oleh mahasiswa S3, Maria Ulfah, dibantu oleh beberapa mahasiswa S2 dan S1. Formula katalis dengan kinerja yang baik diperoleh pada 2007. Kinerja katalis juga diuji menggunakan reaktor skala pilot (100 g katalis) di R&D Pertamina. Hasilnya menunjukkan katalis hasil pengembangan memiliki aktivitas sedikit lebih tinggi daripada katalis komersial. Oleh teman-teman di Pertamina, katalis ini diberi nama PK 100 HS, dan dijuluki katalis merah putih pertama. Saya sendiri telah menyiapkan nama PITN 100-2T, katalis Pertamina-ITB, untuk Treating Nafta (PITN), dengan komponen aktif nikel molibdenum tanpa promotor (100), berbentuk Trilobe berukuran 2 mm (2T).

Pada awal 2010, bersama R&D Pertamina, kami membangun pabrik katalis berukuran mini dengan kapasitas 50-100 kg/hari, untuk memproduksi 4 ton katalis yang akan digunakan dalam uji coba komersial pertama. Pada 13 Juli 2011 sejumlah 3,6 ton PITN 100-2T diisikan ke dalam reaktor Hydrotreating, di kilang Dumai Pertamina untuk mengolah nafta umpan Platformer.



Gambar 11. PITN 100-2T digunakan di Reaktor NHT RU II Dumai PT Pertamina

Beberapa hari saat start-up kami semua merasa sangat tegang dan khawatir, didalam reaktor komersial PITN 100-2T tidak bekerja sesuai target. Hingga akhirnya saya menerima SMS dari Ir Rachmad Sutontro di Dumai: "Pak Alhamdulillah katalis kita oyee!" Seketika itu ketegangan meledak menjadi kegembiraan.

Setahun berlalu dan pada Juli 2012 katalis dinyatakan terbukti memiliki unjuk kerja yang baik; lebih baik daripada katalis impor yang sebelum ini digunakan pada unit tersebut, tidak saja aktivitasnya, tetapi juga stabilitasnya. Sejak keberhasilan ini, Pertamina memutuskan untuk selalu menggunakan katalis hasil pengembangan ITB-Pertamina untuk proses Hydrotreating, baik untuk nafta, kerosin maupun diesel.

Penelitian di Laboratorium dibalik Sukses PITN 100-2T

Penelitian untuk pengembangan katalis hydrotreating nafta dilaksanakan mengikuti tahapan yang disajikan dalam gambar 6.

Persiapan

Dimulai dengan memilih komponen aktif: Molibdenum-Nikel, Molibdenum-Cobalt atau Wolfram-Nikel. Pemilihan didasarkan pada jenis dan jumlah pengotor yang ingin disingkirkan, aktivitas katalis yang diinginkan, ketersediaan bahan dan harga. Pilihan jatuh pada Molibdenum-Nikel (NiMo). Langkah selanjutnya adalah menentukan kadar masing-masing komponen dalam katalis, dan memilih bahan baku sumber nikel dan molibdenum. Kadar Ni-Mo sebaiknya tidak terlalu tinggi agar murah, mudah pengerjaannya, serta terdispersi baik di permukaan penyangga. Bahan baku harus memiliki kelarutan tinggi dalam air, penanganannya mudah dan harus murah.

Setelah memilih komponen aktif, kemudian memilih penyangga (support); apakah alumina, silika, titania atau silika-alumina. Penyangga harus inert dan memiliki luas permukaan yang besar (200-300 m²/g) agar komponen aktif pada jumlah yang cukup terdispersi baik. Diameter pori penyangga cukup besar (6-8 nm), agar difusi internal tidak menghambat reaksi, dan volum pori yang cukup (0,5-0,6 ml/g) agar deposisi komponen aktif di permukaan penyangga dengan cara impregnasi dapat dilakukan sekali saja. Dari pustaka diperoleh informasi, bahwa gamma alumina berpeluang menjadi penyangga yang sesuai. Persoalan selanjutnya adalah merekayasa pembuatan alumina sehingga memiliki sifat fisik yang memenuhi persyaratan: luas permukaan 200-300 m²/g, diameter pori 6-8 nm dan volum pori 0,5-0,6 ml/g, berkekuatan remuk yang cukup, dan berukuran 1-2 mm.

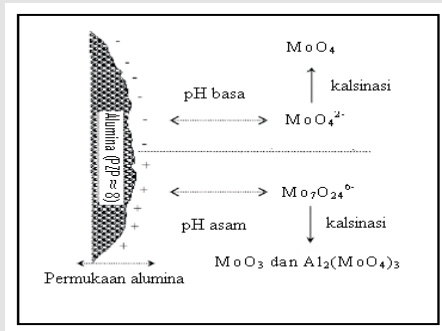
Sintesis Katalis

Sintesis katalis dilakukan dengan cara impregnasi penyangga gamma alumina berbentuk ekstrudat dengan larutan yang mengandung garam Mo dan Ni.

Dimulai dengan pembuatan penyangga gamma alumina dari berbagai bahan baku dan berbagai prosedur. Tiap penyangga yang dihasilkan dikarakterisasi untuk menentukan sifat fisik dan mekaniknya. Penelitian ditujukan untuk mendapatkan resep dan prosedur yang menghasilkan penyangga yang memiliki sifat fisik dan mekanik sesuai keinginan.

Tahap selanjutnya adalah menyiapkan larutan untuk impregnasi. Beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan dalam membuat larutan impregnasi adalah:

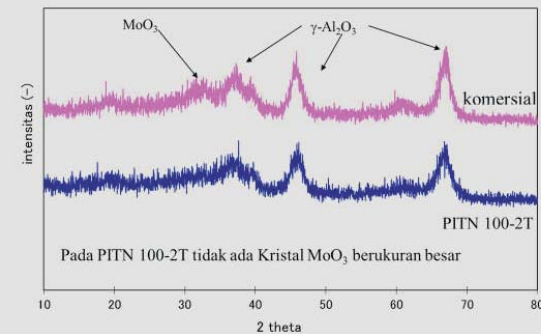
- mengandung garam nikel dan molibdenum setinggi mungkin, agar dengan sekali impregnasi diperoleh katalis dengan kadar komponen aktif yang tinggi,
- memiliki pH > PZC penyangga (point of zero charge alumina). Kontak antara alumina (PZC = 6,8) dengan larutan impregnasi yang bersifat basa menyebabkan permukaannya bermuatan negatif, seperti disajikan pada Gambar 12, dan mengakibatkan interaksi antara anion MoO_4^{2-} dengan Al_2O_3 menjadi lemah. Interaksi yang lemah ini akan menyebabkan transportasi Mo dalam pori penyangga menjadi cepat dan distribusi anion MoO_4^{2-} di permukaan penyangga seragam. Distribusi Mo yang seragam menyebabkan aktivitas katalis menjadi lebih tinggi. Sebaliknya dengan larutan bersifat asam (pH < PZC), terjadi interaksi yang kuat antara $\text{Mo}_2\text{O}_7^{4-}$ dan Al_2O_3 yang bermuatan positif, mengakibatkan transportasi Mo menyusuri pori penyangga lambat dan terbentuk $\text{Al}(\text{OH})_6\text{Mo}_6\text{O}_{18}^{3-}$ di dekat permukaan luar penyangga. Pada proses kalsinasi, $\text{Al}(\text{OH})_6\text{Mo}_6\text{O}_{18}^{3-}$ terkonversi menjadi kristalin MoO_3 dan $\text{Al}_2(\text{MoO}_4)_3$ yang sukar diaktifasi melalui sulfidasi membentuk fasa aktif MoS_2 , akibatnya aktivitas katalis yang dihasilkan rendah.



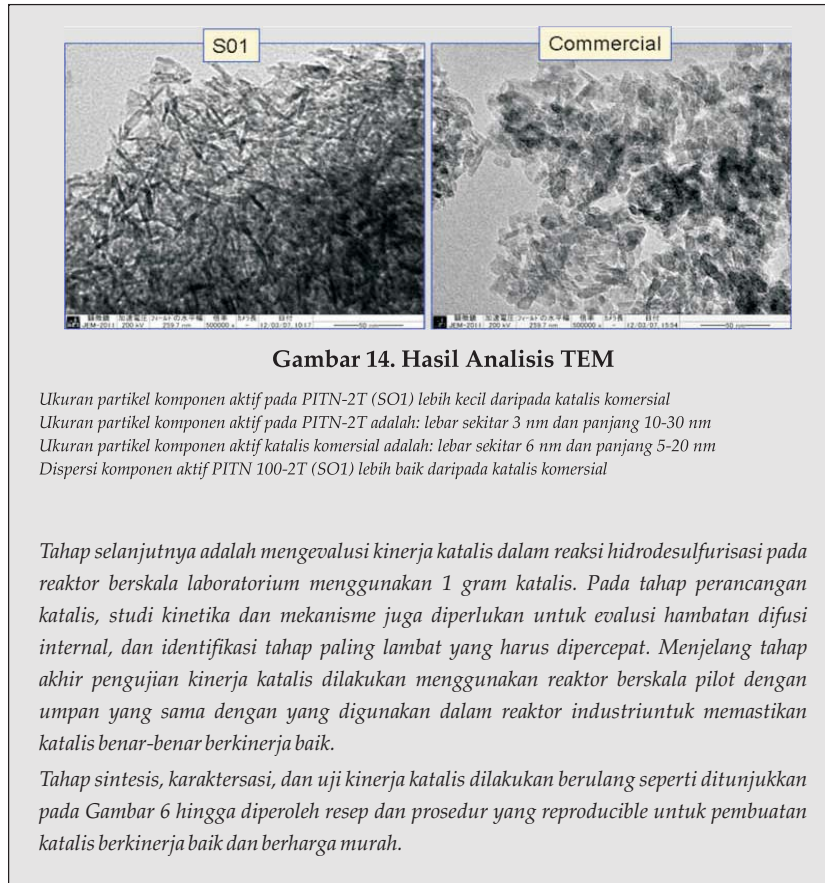
Gambar 12. Interaksi permukaan alumina dengan spesies Mo dalam larutan dengan variasi pH larutan impregnan

Langkah terakhir dalam pembuatan katalis adalah melakukan impregnasi penyangga dengan larutan garam Ni-Mo, pengeringan dan kalsinasi pada temperatur tertentu. Kondisi tiap tahap harus dipelajari agar diperoleh yang optimum untuk menghasilkan katalis dengan kinerja terbaik.

Katalis yang dihasilkan dianalisis menggunakan X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) untuk menentukan kadar Ni dan Mo yang berhasil dideposisikan di permukaan penyangga, dan X-ray diffractometer untuk memastikan Ni-Mo tidak membentuk kristal besar yang sukar diaktifkan, tetapi terdispersi baik di permukaan penyangga alumina. Analisis dengan TEM (transmission electron microscopy) untuk memastikan ukuran kristal Ni-Mo lebih kecil dari 30 nm.



Gambar 13. Hasil analisis XRD Katalis PITN 100-2T dan Katalis Komersial



Sebanyak 6,5 ton katalis PITN 100-2T kemudian digunakan di kilang Cilacap (Nopember 2014), 30 ton di kilang Balongan (Pebruari 2015), dan 11 ton di kilang Balikpapan (Agustus 2017) untuk mengolah nafta umpan Platformer. Sejauh ini PITN 100-2T (PK 100 HS) dinilai bekerja baik pada unit-unit tersebut.

7.1.5 Pengembangan Katalis Hydrotreating Diesel

Pengotor dalam fraksi diesel berukuran lebih besar dan kurang reaktif dibandingkan pengotor nafta. Pengembangan dilakukan dengan modifikasi PITN 100-2T dengan tujuan meningkatkan aktivitas, mempercepat difusi internal, dan tetap menekan harga serendah mungkin. Mengikuti tahap pengembangan seperti pada Gambar 6, setelah 9 bulan bekerja kami berhasil mendapatkan resep dan prosedur pembuatan katalis yang kami inginkan. Dengan menambahkan promotor tertentu yang berharga murah, kami berhasil meningkatkan aktivitas katalis tanpa menambah komponen aktif yang mahal. Selain itu promotor yang sama dapat menaikkan diameter pori, sehingga mengurangi hambatan difusi internal. Untuk lebih mempercepat difusi internal (mengurangi hambatan difusi internal), ukuran partikel katalis juga diperkecil menjadi 1,3 mm. Katalis yang dihasilkan kami beri nama PITD 120-1,3T, artinya katalis Pertamina-ITB untuk Treating Diesel (PITD), berkomponen aktif nikel-molibdenum dan berpromotor tunggal (120), berbentuk Trilobe dan berukuran 1,3 mm (1,3T).

Pada 29 November 2014 sejumlah 8 ton katalis diisikan ke dalam reaktor Diesel Hydrotreating (DHT) kilang Dumai, untuk mengolah bahan baku solar berupa campuran Light Cycle Gasoil (LCGO) dan Heavy Gasoil (HGO). PITD 120-1,3T masih bekerja baik hingga saat ini.

7.1.6 Pengembangan Katalis Hidrodeoksigenasi Minyak Nabati

Pada akhir 2009 SK Energy (perusahaan minyak Korea Selatan)

berniat mengajak Pertamina untuk bekerjasama mengembangkan proses (mencakup katalis) dan teknologi konversi minyak nabati (minyak sawit) menjadi solar/avtur. Keinginan tersebut dibatalkan karena pada 2011 Pertamina bersama Lab. TRK telah berhasil mengembangkan sendiri katalis generasi pertama untuk hidrodoksigenasi minyak nabati. Pada 2015, katalis generasi kedua dengan kinerja yang lebih baik telah pula dikembangkan. Katalis tersebut diberi nama PIDO 130-1,3T, artinya katalis Pertamina-ITB untuk DeOksigenasi, berbasis nikel-molibdenum, berpromotor tunggal, berbentuk Trilobe dan berukuran 1,3 mm.



PIDO 130-1,3T adalah katalis untuk mengkonversi minyak nabati menghasilkan hidrokarbon parafinik. Jika sebagai minyak nabati umpam digunakannya minyak sawit, maka produknya dikenal sebagai diesel hijau dengan bilangan setana yang tinggi sekitar 80, dan jika digunakan minyak inti sawit atau minyak kelapa sebagai umpam, maka produknya adalah kerosin parafinik yang merupakan bahan baku bio-avtur.

7.1.7 Kerjasama dengan Clariant Kujang Katalis

Secara keseluruhan jumlah katalis hydrotreating yang telah diproduksi dan digunakan Pertamina hingga tahun 2017 adalah 130 ton.

Jumlah sebanyak itu tentu tidak dapat diproduksi di pabrik mini yang kami bangun bersama R&D Pertamina. Oleh karena itu R&D Pertamina, menjalin kerjasama dengan pabrik katalis yang ada di Cikampek, yaitu PT. Clariant Kujang Catalyst, untuk memproduksi katalis hasil pengembangan bersama Pertamina-ITB. Diharapkan dalam 3 tahun mendatang pabrik katalis merah putih pertama dapat dibangun di Indonesia. Saat ini Pertamina bekerjasama dengan ITB tengah melakukan studi kelayakan pembangunan pabrik ini.

7.1.8 Pengembangan Katalis Hidrogenasi Ester-lemak menjadi Alkohol-lemak

Pada reuni alumni TK angkatan 81 pada tahun 2010, peserta berbincang-bincang ingin berbuat sesuatu untuk Teknik Kimia-ITB, almamaternya. Ide yang muncul kemudian adalah membantu mantan wali akademiknya, yaitu saya, untuk mengembangkan katalis. Yang menindaklanjuti ide tersebut adalah Dr Erwin Sutanto, yang kala itu menjabat direktur PT. Ecogreen Oleochemical. Pada akhir 2011 kerjasama mulai dijalin dengan tujuan utama mengembangkan katalis hidrogenasi ester lemak menjadi alkohol lemak. Kami sudah berhasil mengembangkan berbagai katalis untuk PT. Ecogreen dengan kinerja yang baik, dan karenanya sangat berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut ke skala komersial.

7.1.9 Pengembangan Proses dan Katalis Fischer Tropsch

Sejak 2006, kami juga mengembangkan katalis untuk proses Fischer Tropsch, yaitu proses yang mengkonversi gas sintesis, campuran CO dan H₂, menjadi BBM. Saya menaksir, proses ini sangat penting untuk segera dikembangkan, karena Indonesia masih cukup kaya dengan gas bumi, batubara, dan terlebih-lebih biomassa yang dapat dikonversi menjadi gas sintesis. Namun kemajuan penelitian kami disini terasa sangat lambat, karena reaksi ini harus dilaksanakan pada tekanan agak tinggi, sekitar 20 atm. Diperlukan biaya yang besar untuk membangun atau membeli unit reaktor bertekanan tinggi. Pada 2012, alumni TK angkatan 77 yang memang banyak memperhatikan almamaternya, menawarkan bantuan dana penelitian. Pucuk dicinta ulam tiba; tentu saja tawaran tersebut kami terima dengan sangat senang hati. Pada saat ini kami telah mendapatkan katalis dengan kinerja yang baik, yaitu katalis berbasis logam besi dengan berbagai promoter, yaitu Zn-Cu-K, dan katalis berbasis Co, yaitu Co-Mn-K/Al₂O₃.

7.1.10 Pengembangan Katalis Lainnya

Saat ini bersama Pertamina dan industri lainnya kami sedang melakukan penelitian dan pengembangan katalis untuk proses-proses:

- Perengkahan katalitik, untuk memenuhi kebutuhan Pertamina yang mencapai 30 ton/hari. Saat ini telah berhasil dikembangkan zeolit Y hirarki yang dapat meningkatkan aktivitas katalis.
- Isomerisasi parafin panjang, yang sangat diperlukan untuk

produksi bio avtur dari minyak nabati. Penelitian ini merupakan yang pertama kali kami menggunakan katalis berbasis logam platina yang sangat mahal, dan merupakan pembelajaran penting, karena banyak katalis industrial berbasis Pt. Penyangga yang digunakan, yaitu ZSM 48 juga telah berhasil disintesis.

- *Hydrotreating* residu, untuk memenuhi kebutuhan Pertamina yang mencapai 450 ton/tahun. Meskipun penelitian ini merupakan kelanjutan dari pengembangan katalis *hydrotreating*, namun tidak mudah untuk segera diselesaikan. Molekul pengotor residu jauh lebih kompleks daripada pengotor dalam diesel. Rekayasa struktur penyangga merupakan persoalan utama yang harus dipecahkan terlebih dahulu.
- Perengkahan katalitik minyak sawit menjadi bensin hijau (*green gasoline*) berangka oktan tinggi. Formula katalis yang berkinerja baik telah berhasil diperoleh. Bersama Dr. Rino Mukti dari prodi Kimia FMIPA ITB telah berhasil dikembangkan dan dipatenkan cara mudah dan sederhana untuk sintesis ZSM-5 yang merupakan komponen utama katalis proses ini.

7.2 Matakuliah Katalis dan Katalisis

Upaya mengembangkan katalis di Indonesia tidak hanya saya tempuh melalui penelitian saja. Pada tahun 1996 saya membuka matakuliah pilihan Katalis dan Katalisis, yang saya tujukan untuk diseminasi pengetahuan tentang katalisis. Sekarang mata kuliah ini telah berevolusi

dengan tersedianya pabrik katalis pendidikan yang dibangun dengan memanfaatkan program penguatan inovasi Kementerian Ristekdikti RI. Saya berharap dengan mengenal lebih baik tentang katalis akan makin banyak generasi muda yang berminat menekuni bidang katalisis, dan suatu saat akan terlibat aktif dalam pengembangan katalis untuk Indonesia. Sejak 5 tahun yang lalu atas saran Ir. Lisminto, alumni TK 77 yang dikenal sebagai provokator militan, dalam setiap kuliah saya sampaikan cerita sukses laboratorium kami dalam pengembangan katalis, dengan maksud agar para peserta kuliah sejak dini memelihara dan membesarkan garuda di dadanya.

7.3 Masyarakat Katalisis Indonesia

Pada awal 2003, saya dan beberapa teman yang sama-sama menyadari pentingnya Indonesia mandiri dalam bidang teknologi proses, berniat untuk mendirikan sebuah asosiasi kepakaran. Melalui proses yang panjang dan diskusi intensif, akhirnya Masyarakat Katalisis Indonesia (MKI) dideklarasikan pada tahun 2004 saat Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo di ITB. MKI dibangun sebagai tempat berhimpunnya pakar-pakar dalam bidang teknik reaksi kimia dan katalisis untuk berkonsolidasi, berdiskusi, melempar ide dan mendorong mimpi untuk mengembangkan teknologi katalisis di Indonesia. MKI diharapkan dapat mengakselerasi pengembangan penelitian dalam bidang katalis dan teknik reaksi kimia, sekaligus dapat menjadi jembatan antara Perguruan Tinggi/Lembaga Penelitian dengan pihak industri sehingga terjadi

penguatan dalam proses inovasi dan hilirisasi hasil-hasil penelitian dalam bidang katalis dan teknik reaksi kimia.

7.4 Penguatan Inovasi, Pengembangan dan Produksi Katalis Merah Putih

Pada tahun 2017 Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB mendapatkan dana pengembangan dari Kementerian Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia untuk menjalankan sebuah program “Penguatan Inovasi, Pengembangan dan Produksi Katalis Merah Putih”. Program ini bertujuan untuk mempercepat inovasi, pengembangan dan produksi katalis melalui pembangunan pabrik katalis pendidikan berskala mini. Pabrik ini bukan hanya dirancang untuk keperluan inovasi, tapi sekaligus sebagai media pendidikan (*teaching industry*). Pabrik katalis pendidikan ini dilengkapi dengan alat produksi katalis berkapasitas 1-5 kg/batch dan sistem reaksi berskala pilot untuk uji kinerja katalis, serta instrumentasi analisis sifat fisiko-kimia katalis.

Melalui pabrik pendidikan ini, inovasi pengajaran dan pendidikan dalam bidang teknik reaksi kimia telah diselenggarakan pada perkuliahan dalam bidang teknik reaksi kimia dan katalisis. Mahasiswa dilibatkan dalam pengembangan katalis skala pilot dengan menggunakan fasilitas *teaching industry*.

Program ini diharapkan dapat berlanjut ke tahun kedua yang difokuskan pada pengembangan beberapa katalis yang telah dikembangkan dalam skala laboratorium di Lab Teknik Reaksi Kimia dan

Katalisis, seperti katalis hydrotreating, katalis produksi diesel hijau, dan hidrogenasi ethyl-hexenal.

7.5 Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Katalisis

Kami di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis sudah lama berkeinginan untuk menegakkan satu Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Katalisis, suatu wadah untuk melaksanakan kegiatan penelitian dasar hingga terapan untuk pengembangan katalis dan teknologi proses. Pusat Rekayasa ini dapat menjadi epi-centrum bagi pengembangan aspek-aspek komersialisasi dan kerekayasaan serta *knowledge management* teknik reaksi kimia dan katalisis. Kami yakin bahwa dengan Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Katalisis ini, kerjasama yang mendukung perkembangan teknologi reaksi kimia dan katalisis yang telah dicapai saat ini akan jauh lebih baik, sehingga pada gilirannya nanti, teknologi proses merah-putih akan menjadi tuan rumah di negeri ini. Saya berharap kali ini ITB berkenan membantu kami untuk mewujudkan cita-cita tersebut.

8. PENUTUP

Akhirnya saya ingin menggarisbawahi beberapa hasil kerjasama kami dengan industri. Hasil utamanya tentu katalis yang berunjuk kerja baik, sehingga dapat digunakan di industri. Hasil yang lain diantaranya adalah: para Sarjana, Magister dan Doktor Teknik Kimia, beberapa publikasi ilmiah, beberapa paten yang menghasilkan royalti bagi ITB, dan beberapa peralatan yang dibeli dari kerjasama dengan industri dan

kemenristekdikti.

Produk yang jauh lebih penting dari semua proses ini adalah timbulnya kepercayaan pihak industri pada kemampuan kami dan Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB, baik dalam konsultasi evaluasi dan seleksi katalis, maupun pengembangan katalis. Saya berharap kepercayaan semacam ini dapat dipertahankan dan mengimbas, meluas kepada sivitas akademik perguruan tinggi dan anak bangsa yang lain.

Hasil yang telah dicapai oleh Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB sebenarnya merupakan buah kerja panjang yang didukung oleh militansi pihak-pihak terkait. Wacana kerjasama A-B-G yang telah lama didengungkan menjadi kenyataan. Kami sangat gembira, bahwa dalam kasus pengembangan katalis ini, kami dapat membawa ITB kembali mengambil perannya sebagai pandu. Suara ITB kembali didengar dan kini komunitas luas menuntut ITB untuk berperan besar, memandu perjalanan industri Katalis Nasional menuju kemandirian. Semoga riak-riak kecil keberhasilan ini dapat membesar dan memicu terjadinya gelombang besar keberhasilan dalam bidang teknologi proses di negeri ini, dan dapat diadopsi oleh bidang-bidang lain untuk menghasilkan perubahan yang sama atau bahkan lebih besar.

9. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini, ijinakan saya untuk menyampaikan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah

memberikan dukungan tak ternilai kepada saya

1. Istri dan anak-anakku yang tercinta,
2. Prof. Saswinadi Sasmojo, guru dan wali akademik saya, yang mengajak saya bergabung menjadi dosen di Jurusan Kimia Teknik ITB pada 1975.
3. Dr. Ir. Tatang Hernas Soerawidjaja, rekan yang selama ini memberikan sumbangan pemikiran hebat nan luar biasa bagi pengembangan teknologi katalis nasional,
4. Prof. Soehadi Reksowardojo (alm), Prof Sudarno Harjosuparto (alm), Dr. Ir. Soepardi Ghazali (alm), Ir. Kamiso Purba, MSc. (alm), guru dan rekan yang telah bekerja keras dalam meletakkan dasar-dasar pengembangan teknologi katalis di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis, hingga akhir hayatnya,
5. Dr. Ir. Melia Laniwati Gunawan, Dr. Ir. IGBN Makertihartha, Dr. Ir. Yogi W. Budi dan Dr. Ir. C. B. Rasrendra, rekan-rekan Lab TRKK yang saat ini bersama-sama membangun dan mengembangkan teknologi katalis nasional,
6. Profesor I. Gede Wenten, yang telah mendorong kuat dan membatu proses pengajuan hingga keluarnya SK Guru Besar,
7. Rekan-rekan di Program Studi Teknik Kimia FTI ITB yang telah bersama-sama mendorong pengembangan teknologi proses tanah air,
8. Ir. Kadar Suradimadja, PT. Pupuk Iskandar Muda, yang telah memberikan inspirasi dan meletakkan tonggak utama kerjasama

- Perguruan Tinggi-Industri dalam pengembangan teknologi katalis nasional,
9. Ir. Suroso Atmomartojo, PT. Pertamina, yang telah membuka pintu pertama bagi kerjasama intensif pengembangan teknologi katalis bagi industri pengolahan minyak,
 10. Rekan-rekan dari PT Pupuk Iskandar Muda, R&D PT Pertamina Persero, PT Ecogreen Oleochemical, PT Clariant Kujang Catalyst, yang selama ini bahu membahu dalam mengaplikasikan hasil penelitian di industri,
 11. Ir. Lisminto, Ir. Bambang Sedewo, Ir. Triharjo Soesilo, Ir. Elvianto Riendra, Dr. Erwin Sutanto, Ir. Rachmad Hardadi, yang telah mengawal dan mendukung secara militan segala usaha kami,
 12. Ditjen Penguatan Inovasi, Kemristekdikti.
 13. Teknisi, mahasiswa, dan alumni Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis yang sangat saya cintai.

DAFTAR PUSTAKA

1. J.T. Richardson, Principles of Catalyst Development, Plenum Press, New York, 1989
2. J. J. Bravo-Suarez, R. V. Chaudhari, B. Subramaniam, Novel Materials for Catalysis and Fuels Processing, ACS Symposium Series; American Chemical Society; Washington DC, 2013
3. Kamiso Purba, Adsorben Berbasis Besi (III) Oksida untuk Penyingkiran Hidrogen Sulfida dari Gas Bumi, Disertasi Doktor Teknik Kimia ITB, 2003

4. Maria Ulfah, Hydrotreating Nafta dengan Katalis NiMo bepenyangga γ -Alumina, Disertasi Doktor Teknik Kimia ITB, 2011
5. Melia Laniwati Gunawan, Subagjo, IGBN Makertiharta, dan Zaky Al Fatoni, Hidrogenasi ester lemak menjadi alkohol lemak menggunakan katalis berbasis tembaga (Cu) pada reaktor batch, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015
6. Subagjo, Catalysts for Liquid Biofuel Production, International Seminar on Chemical Engineering E36 in conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo (STKSR) 2016, October 27th-28th 2016, Bandung, Indonesia
7. Subagjo dkk, Proses Pembuatan Penyangga Katalis Pengolahan Hidro untuk Umpan Minyak Fosil, Minyak Nabati, dan Campurannya, Paten Indonesia No.
8. Grandprix TM Kadja, Rino R Mukti, Subagjo, IGBN Makertiharta, Melia L Gunawan, Budiyanto, Metode Sintesis Zeolit ZSM-5 Berpori Hierarkis Bebas Agen Pencetak Pada Suhu Rendah, Paten Indonesia 2017
9. IGBN Makertiharta, Subagjo, Melia Laniwati Gunawan, Andrew Stefanus, Desain dan Simulasi reaktor FCC untuk produksi bahan bakar hijau : simulasi CFD dan Perancangan reaktor FCC, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015

10. T.H. Soerawidjaja, Menggagas Arah-arrah Penelitian Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis di Indonesia, 2004

CURRICULUM VITAE



Nama : **Prof. Dr. Ir. SUBAGJO**
Tmpt. & tgl. lhr. : Surabaya, 13 Maret 1952
Kel. Keahlian : Perancangan dan Pengembangan Proses Teknik Kimia
Nama Istri : Minarti Subagjo
Nama Anak : 1. Maryam Gustisandi
2. Maryam Dewiandratika
3. Isa Adi Subagjo

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Diplome De Docteur d'Etat (Dr.), bidang Sciences Physiques, Université De Poitiers, France, 1981
- Diplome D'Etudes Approfondies (DEA.), bidang Catalyse, Université De Poitiers, France, 1977
- Insinyur Teknik Kimia (Ir), Institut Teknologi Bandung (ITB), 1975

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

- Staf Pengajar Fakultas Teknologi Industri ITB, 1975-Sekarang
- Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis Fakultas Teknologi Industri ITB, 2000-Sekarang
- Anggota Senat Fakultas Teknologi Industri ITB, 2010-2014
- Ketua Kelompok Keahlian Perancangan dan Pengembangan Proses Teknik Kimia FTI-ITB, 2006-2014.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- CPNS, III/A, 1 Maret 1976
- Penata Muda, III/A, 1 April 1977
- Penata Muda TK 1, III/B, 1 April 1982
- Penata, III/C, 1 April 1986
- Penata TK 1, III/c, 1 April 1984
- Pembina, IV/a, 1 April 1990
- Pembina TK 1, IV/b, 1 April 1995

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya, 1 Maret 1976
- Asisten Ahli, 1 April 1982
- Lektor Muda, 1 April 1984
- Lektor Madya, 1 April 1986
- Lektor, 1 April 1990
- Lektor Kepala Madya, 1 Agustus 1994
- Lektor Kepala, 1 Januari 2001
- Profesor/Guru Besar, 3 November 2016

V. PENGHARGAAN

- Piagam Penghargaan Pengabdian 35 tahun, 2014
- Adhidharma Rekayasa (Emas), Persatuan Insinyur Indonesia, 2012
- Outstanding Chemical Engineering staff "Chemical Engineering Award", APTEKINDO, 2012

- Tanda kehormatan Satyalancana Karya satya 30 tahun, 2010
- Tanda Kehormatan Satyalancana Karya satya 20 tahun, 1999

VI. KEGIATAN PENELITIAN

- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha (ITB); Pengembangan katalis hidrogenasi bersama PT Clariant Kujang Katalis, 2013-sekarang
- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha, Budiyanto (ITB); Penelitian katalis Fluid Catalytic Cracking bersama Research and Development PT Pertamina, 2012-sekarang
- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha (ITB); Penelitian dan pengembangan katalis hidrogenasi senyawa ester berbasis oleochemical bekerja sama dengan PT Ecogreen Oleochemical, 2011-sekarang
- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha (ITB); Penelitian dan pengembangan katalis DHDT (Diesel Hydrotreating) berbasis NiMo bekerja sama dengan PT Pertamina, 2011-sekarang
- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha, Zaky Al Fathony (ITB); Pengembangan Katalis Fischer-Tropsch untuk proses konversi biomassa menjadi BBN (Bahan Bakar Nabati), 2005-sekarang
- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha (ITB); Penelitian dan pengembangan katalis HDO (Hidrodoksigenasi) berbasis NiMo bekerja sama dengan PT Pertamina, 2010-sekarang
- **Subagjo**, Melia Laniwati, IGBN Makertihartha, Maria Ulfah (ITB); Penelitian dan pengembangan katalis NHDT (Naphta

Hydrotreating) berbasis NiMo bekerja sama dengan PT Pertamina, 2003-2008

- Kamiso Purba, Tatang H Soerawidjaja, **Subagjo**, (ITB); Penelitian dan pengembangan adsorben H₂S (hidrogen sulfida) berbasis besi oksida bekerja sama dengan PT Pupuk Iskandar Muda, 1994-2009.
- **Subagjo**, Sudarno H, Irwan Noezar(ITB); Pengembangan sel elektrokimia untuk produksi Sodium Hipoklorit sebagai desinfektan air minum, 1983-1988.
- **Subagjo** dan Sudarno H (ITB);Perengkahan Stearin menjadi Bahan Bakar Minyak, 1983-1987.

VII. PUBLIKASI

1. **Subagjo**, Wulandari, W., Adinata, P. M., Fajrin, A., 2017. "Thermal decomposition of dolomite under CO₂-air atmosphere". AIP Conference Proceedings 1805, 040006.
2. Hadiah F., Soerawidjaja, T. H., **Subagjo**, Prakoso, T., 2017. "Low temperature catalytic-transfer hydrogenation of candlenut oil". International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 7 (3), pp. 843-849, ISSN: 20885334.
3. Ariono D., Aryanti P. T. P., **Subagjo**, S., Wenten, I. G., 2017. "The effect of polymer concentration of flux stability of polysulfone membrane". AIP Conference Proceedings 1788, 030048.
4. Ariono D., Aryanti P. T. P., Hakim, A. N., **Subagjo**, S., Wenten, I. G., 2017. "The effect of polymer concentration of flux stability of polysulfone membrane". AIP Conference Proceedings 1840, 090008.
5. Aryanti, P. T. P., Joscarita, S. R., Wardani, A. K., **Subagjo**, S., Ariono, D. and Wenten, I. G., 2016. "The influence of PEG400 and Acetone on Polysulfone Membrane Morphology and Fouling Behavior". J. Eng. Technol.Sci. Vol. 48, No. 2, Page 135-149.
6. Wenten, I. G., Ariono, D., Khoiruddin, **Subagjo**, 2016. , "The Influence of Polymerization Degree on Morphology and Electrochemical Properties of PVC-Based Heterogeneous Ion-Exchange Membrane", Proceeding International Conference on Chemical Process and Product Engineering (ICCPPE), September 14-15, 2016, Semarang, Indonesia.
7. Ariono, D., Khoiruddin, **Subagjo**, and Wenten, I. G., 2016. "The Effect of Heterogeneity on Ion-Exchange Membrane Properties", Proceedings The 2nd International Conference of Materials Research Society of Indonesia (MRS-ID Meeting), October 24-26, 2016, Bandung, Indonesia.
8. **Subagjo**, 2016. "CATALYSTS FOR LIQUID BIOFUEL PRODUCTION". International Seminar on Chemical Engineeringin conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo (STKSR) 2016 October 27th-28th 2016, Bandung Indonesia.
9. Makertihartha, I. G. B. N., **Subagjo**, Gunawan, M. L., Stefanus, A., 2015. "Desain dan Simulasi reaktor FCC untuk produksi bahan bakar hijau : simulasi CFD dan Perancangan reaktor FCC", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015.
10. Hadiah, F., Soerawidjaja, T. H., **Subagjo**, Prakoso, T., 2015. "Hidrogenasi perpindahan katalitik minyak kemiri sayur dengan

- katalis Ag/Silika 60 A", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015.
11. Gunawan, M. L., **Subagjo**, Makertihartha, I. G. B. N., Fatoni, Z. A., 2015. "Hidrogenasi ester lemak menjadi alkohol lemak menggunakan katalis berbasis tembaga (Cu)", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015.
 12. Hendriyana, Susanto, H., **Subagjo**, 2015. "Penyisihan air dari reaktan metanol untuk proses karbonilasi dengan menggunakan beberapa jenis adsorben", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015.
 13. Wulandari, W., **Subagjo**, Rio, A., Istiadi, P., 2015. "Characterization and Treatment of Dolomites as Raw Material for Producing Magnesium Metal", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2015 (SNTKI) Yogyakarta 12-13 Oktober 2015.
 - 14 **Subagjo**, Prasetya, N., Wenten, I. G., 2015. "Hollow Fiber membrane bioreactor for COD Biodegradation of tapioca wastewater", Journal of membrane science and research, Volume 1, Issue 2, 2015, page 79-84.
 15. Aryanti, P. T. P., **Subagjo**, Ariono, D. and Wenten, I. G., 2015. "Fouling and rejection characteristic of humic substances in polysulfone ultrafiltration membrane", Journal of membrane science and research, Volume 1, Issue 1, 2015, page 41-45. DOI: 10.22079/jmsr.2015.12305.
 16. Maryani E., **Subagjo**, Nuruddin, A., Septawendar, R., Purwasasmita, B. S., 2015. "Effects of Aging and Temperature

- Parameters, Polyethylene Glycol (PEG)/AI Ratios on The Structure Directing Mechanism of γ -Alumina Nanofiber-Based Indonesian Natural Kaolin by Ultrasonic Aging Process", Journal of The Australian Ceramic Society, Vol. 51, NO. 2, 2015, 116-122. ISSN: 0004-881X.
- 17 Budhi, Y. W., Effendy M., Bindar, Y., **Subagjo**, 2015. "Dynamic behaviour of reverse flow reactor for learn methane combustion", Journal of Engineering and Technological Science, Volume 46B, Issue 3, 2015, page 299-317.
 18. Bahrin, D., **Subagjo**, dan Susanto, H., 2015. "Penyusunan Kriteria Pemilihan Proses Flue Gas Desulfurization PLTU - Batubara", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 18 Maret 2015.
 19. Ardy, A., Susanto, H., dan **Subagjo**. "Uji Laboratorium Proses Perengkahan Toluene Dengan Katalis Reformasi Kukus Ni/?-Al₂O₃", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 18 Maret 2015.
 20. Hendriyana, Susanto, H., dan Subagjo. "Kinetika Reduksi Isotermal CuO/ZnO Dalam Penyiapan Katalis Untuk Sintesis Metanol", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 18 Maret 2015.
 21. Rahayu, E. S., Samadhi, T. W., **Subagjo**. 2014. "Development of Hydrocracking Catalyst Support from Kaolin of Indonesian Origin", International Journal, Advanced Material Research Vol.

- 896 (2014) pp 532-536, Trans Tech Publications, Switzerland.
22. **Subagjo**, Makertihartha, I. G. B. N., Gunawan, M. L., Ulfah, M., Evita Emaniatin P., Sutontro, R., Duniani, Z., 2014. "Katalis Pengolahan-Hidro (Hydrotreating) yang Aktif pada Penjenuhan Olefin dan Penyingkiran Nitrogen dalam Umpan Hidrokarbon dan Proses Pembuatannya", Karya Paten bertaraf Nasional tanggal 27 November 2014.
 23. Rahayu, E. S., **Subagjo**, Samadhi, T. W., Gunawan M. L., 2014. "Preparation of a Hydrocracking Catalyst by Combining The Components of Zeolite Y from Kaolin, Amorphous Silica Alumina and NiMo Active Metals", International Seminar of Chemical Engineering in mineral and Materials Processing in Conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2014, Bandung 30-31 Oktober 2014.
 24. Prasetyaningsih, Y., Hendriyana, **Subagjo**, 2014. "Preparation and Testing of Cu/ZnO Catalyst for Methanol Synthesis", International Seminar of Chemical Engineering in mineral and Materials Processing in Conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2014, Bandung 30-31 Oktober 2014.
 25. Budhi, Y. W., Effendy, M., Bindar, Y., and **Subagjo**. 2014. "Dynamic Behaviour or reverse flow reactor for lean methane combustion", J.Eng.Tehcnol.Sci., Vol 46, No. 3, 2014, page 303-321.
 26. **Subagjo**, Budhi, Y. W., Effendy, M., Bindar, Y., 2014. "Homogeneity of Continuum Model of an Unsteady State Fixed Bed Reactor for Lean CH₄ Oxidation", J.Eng.Tehcnol.Sci., Vol 46, No. 2, 2014, page 195-201.
 27. Wonoputri, V., Effendy, M., Budhi, Y. W., Bindar, Y., **Subagjo**, 2013.

- "Determination of Kinetic Parameters for Methane Oxidation over Pt/ γ -Al₂O₃ in a Fixed-Bed Reactor". ITB Journal, Journal of Engineering and Technological Sciences, ISSN: 2337-5779, Vol. 45B No. 2, 2013.
28. Maryani, E., **Subagjo**, Sunendar, B., Nuruddin, A., 2013. "Pengaruh Polietilen Glikol dan Ultrasonik Terhadap Karakteristik -Alumina yang di Ekstraksi dari Kaolin", Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia Volume 22 No. 2 Desember 2013, Akreditasi LIPI No. 461/AU2/P2VII-LIPI/08/2012.
 29. Budhi, Y. W., Sri Baardianti A. M., Wiwin Lukman F., **Subagjo**. 2013. "Forced unsteady state operation of Catalytic CO Oxidation during Cold Start-Up Period", International Seminar on Biorenewable Resources Utilization For Energy and Chemicals 2013, In Conjunction with Chemical Engineering Seminar of Soehadi Reksowardojo 2013, 10-11 October 2013, Bandung.
 30. Rahayu, E. S., **Subagjo**, Samadhi, T. W., Gunawan, M. L., 2013. "Calcined Kaolin Phases as Precursor Synthesis NaY Zeolite", International Seminar on Biorenewable Resources Utilization For Energy and Chemicals 2013, In Conjunction with Chemical Engineering Seminar of Soehadi Reksowardojo 2013, 10-11 October 2013, Bandung.
 31. Effendy, M., Budhi, Y. W., Bindar, Y., **Subagjo**. 2013. "Determination of Model Kinetics for Forced Unsteady State Operation of Catalyst CH₄ Oxidation", International Seminar on Biorenewable Resources Utilization For Energy and Chemicals 2013, In Conjunction with Chemical Engineering Seminar of Soehadi Reksowardojo 2013, 10-11 October 2013, Bandung.

32. Maryani, E., **Subagjo**, Sunendar, B., Nuruddin, A., 2012. "Ekstraksi dan Pemurnian Alumina dari Lempung", Prosiding Seminar Nasional Keramik XI, Bandung, 11 Juli 2012.
33. Wonoputri, V., Effendy, M., Budhi, Y. W. and **Subagjo**, 2012. "Abatement of Fugitive Methane Emission by Catalytic Oxidation: Study on Rate Parameter Estimation", The 5th AUN/SEED- Net Regional Conference on Global Environmet (RCGE) 2012.
34. Gunawan, M. L., **Subagjo**, Mardian, D., Abirawa, A. 2012. "Dekomposisi Tar Hasil Gasifikasi Biomassa melalui Proses Steam Reforming", Prosiding Seminar Nasional SNTKI, 20-22 September 2012.
35. Effendy, M., Phelia, Budhi, Y. W., Bindar, Y., **Subagjo**, 2012. "Pengaruh Reaksi-Difusi Intrapartikel terhadap Kinerja Oksidasi Katalitik Metana pada Reaktor Aliran Bolak-Balik", Prosiding Seminar Nasional SNTKI, 20-22 September 2012.
36. Phelia, Effendy, M., Budhi, Y. W., Bindar, Y., **Subagjo**, 2012. "Oksidasi Katalitik Emisi Metana pada Reaktor Aliran Bolak-Balik", Prosiding Seminar Nasional SNTKI, 20-22 September 2012.
37. Samadhi, T. W., **Subagjo**, Lisamana, K. R., Fuadi, K., 2011. "Preliminary Evaluation of A Base-Extraction Gamma-Al₂O₃ Synthesis Route from Indonesia Kaolin", Journal of Engineering Science ITB Journal, Vol. 43B No. 2, 2011.
38. Samadhi, T. W., **Subagjo**, Lisamana, K. R., Fuadi, K., 2011. "Synthesis of γ -Al₂O₃ catalyst support from Kaolin of Indonesian origin", ITB Journal of Engineering Science.

39. Budhi, Y. W., Noezar, I., Aldiansyah, F., Kemala, P. V., Padama, A. A. B., Kasai, H., **Subagjo**, 2011. "Forced unsteady state operation to improve H₂ permeability through Pd-Ag membrane during start-up", International Journal of Hydrogen Energy.
40. Pramasari, D. dan **Subagjo**, 2011. "Pengembangan Katalis Ni/Al₂O₃ Untuk Steam Reforming Tar Hasil Gasifikasi", Jurnal Teknik Kimia Vol. 10 No. 2 Agustus 2011, 43-53.
41. Ulfah, M., **Subagjo**, Makertihartha, I. G. B. N., Laniwati, M., 2010. "Formulasi Larutan Impregnan Bersifat Basa Berbasis Ni-Mo dan Ni-Mo-P untuk Pembuatan Katalis Hydrotreating", Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010.
42. Mukyi, **Subagjo** dan Susanto, H., 2010. "Perengkahan Toluen Sebagai Senyawa Model Tar Menggunakan Katalis "Steam Reforming" dan Batu Kapur", Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-XVI, UGM, Yogyakarta, Mei, 2010.
43. Agustina, M., **Subagjo** and Susanto, H., 2010. "Laboratorium Experiments on The Use of Locally Available Natural Catalyst for Tar Cracking in Biomass Gasification Plant", International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering, ISFACHE 2010, Denpasar, November 2010.
44. Pramasari, D., Susanto, H. and **Subagjo**., 2010. "Development of Ni/Al₂O₃ Catalyst for Steam Reforming Tar in Biomass Gasification Process", International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering, ISFACHE 2010, Denpasar, November 2010.

45. Ulfah, M., **Subagjo**, Makertihartha, I. G. B. N., Laniwati, M., 2010. "Kinetics of Hydrodesulfurization of Dibenzothiophene Catalyzed by Sulfided NiMo/g-Al₂O₃", International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering, ISFACH E 2010, Denpasar, November 2010.
46. Sedewo, A., **Subagjo**, Prodjo, S. T., Prasetyo, H., 2010. "Adsorben Sulfur Pimitb: Sebuah Pengembangan Produk Dari Hasil Kerjasama antara Industri dan Perguruan Tinggi", Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010.
47. **Subagjo** dan Sutontro, R., 2010. "Produksi Bio Solar dan Bio Kerosin Melalui Hidrodeoksigenasi Minyak Nabati", Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010.
48. Effendy, M., Budhi, Y. W., Bindar, Y. dan **Subagjo**, 2010. "Kehomogenan Model Kontinum Reaktor Unggun Tetap Sistem Tunak dan Tak Tunak Untuk Reaksi Oksidasi CH₄". Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010.