



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Mikrajuddin Abdullah

**SEDIKIT SUMBANGAN
BAGI ILMU PENGETAHUAN
DALAM BIDANG FISIKA NANOMATERIAL**

30 September 2011
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
30 September 2011

Profesor Mikrajuddin Abdullah

**SUMBANGAN
BAGI ILMU PENGETAHUAN
DALAM BIDANG FISIKA NANOMATERIAL**



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: SUMBANGAN BAGI ILMU PENGETAHUAN DALAM BIDANG
FISIKA NANOMATERIAL
Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,
tanggal 30 September 2011.

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

Mikrajuddin Abdullah

**SUMBANGAN BAGI ILMU PENGETAHUAN DALAM BIDANG
FISIKA NANOMATERIAL**

Disunting oleh Mikrajuddin Abdullah

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2011

vi+68 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-31-2

1. Fisika Nanomaterial 1. Mikrajuddin Abdullah

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang penulis panjatkan atas rahmat yang telah dilimpahkanNya sehingga naskah ini dapat diselesaikan. Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung atas kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan pidato ilmiah pada hari ini, Jum'at tanggal 30 September 2011.

Sesuai dengan bidang ilmu yang penulis tekuni, pidato ilmiah yang berjudul "SUMBANGAN BAGI ILMU PENGETAHUAN DALAM BIDANG FISIKA NANOMATERIAL" akan membahas beberapa kontribusi penulis dalam bidang ini. Capaian-capaian ini mudah-mudahan bermanfaat bagi siapa saja: dosen, mahasiswa, atau mahasiswa yang melakukan kegiatan-kegiatan serupa. Semoga apa yang telah penulis lakukan dalam ketiga darma tersebut dapat memberikan kontribusi kepada masyarakat.

Bandung, 15 September 2011

Mikrajuddin Abdullah

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. KONTRIBUSI BAGI ILMU PENGETAHUAN	2
2.1. Teori Perekat Konduktif	2
2.2. Teori Penyatuan Hambatan Kontak	9
2.3. Teori Perkolasi Ganda	12
2.4. Penyatuan Teori Dua Jenis Komposit	16
2.5. Nanopartikel yang Mengandung Poros Teratur	19
2.6. Memerangkap Nanopartikel	23
2.7. Memanfaatkan Barang Buangan	28
2.8. Melanggar Hukum Perbandingan Reaksi Kimia	30
2.9. Mengimpikan Display sekaligus Baterai	32
2.10. Mengadopsi Teori Fenomena Lain	34
2.11. Riset di Tanah Air	35
3. BEBERAPA RINTISAN	41
3.1. Merintis Jurnal Nanosains & Nanoteknologi	41
3.2. Merintis Jurnal Pengajaran Fisika Sekolah Menengah	42
3.3. Merintis Simposium Nano	43
3.4. Menulis Buku Sains dan Fisika Sekolah Dasar dan Menengah	44

3.5. Membangun Mikra Academy	45
4. PENUTUP	46
UCAPAN TERIMA KASIH	48
DAFTAR PUSTAKA	51
CURRICULUM VITAE	53

SUMBANGAN BAGI ILMU PENGETAHUAN DALAM BIDANG FISIKA NANOMATERIAL

1. PENDAHULUAN

Pada tulisan ini saya akan memaparkan sedikit pencapaian saya sebagai dosen dan sebagai peneliti dalam bidang ilmu pengetahuan, khususnya bidang fisika nanomaterial. Kontribusi signifikan saya terasa ketika memulai program doktor di Hiroshima University, Jepang, tahun 1998. Fasilitas yang sangat memadai memungkinkan saya melakukan riset secara optimal.

Sekembali ke tanah air saya berusaha bertahan pada kegiatan riset, walaupun tidak bisa seoptimal apa yang dilakukan ketika masih di luar. Saya menyadari, banyak keterbatasan yang kita miliki yang menyebabkan kita “hanya bisa berjalan lambat” dalam riset. Namun, “berjalan lambat” masih jauh lebih baik daripada tidak bergerak sama sekali. Dengan usaha yang cukup lama, akhirnya saya mulai bisa memberikan kontribusi dalam bidang riset seperti yang dilakukan peneliti di negara lain, walaupun dalam kuantitas/jumlah lebih kecil.

Isi tulisan ini adalah hasil-hasil yang saya capai saat mengambil program, doktor, post doctoral, serta setelah kembali ke tanah air serta dampak dari riset bagi perkembangan ilmu. Dampak riset saya maknai sebagai berapa kali makalah-makalah yang saya hasilkan dirujuk oleh para peneliti di seluruh dunia. Saya menemukan ada beberapa karya yang

memberi dampak berarti bagi perkembangan ilmu dan beberapa lainnya belum memberikan dampak. Namun, yang lebih penting dari semua itu adalah bagaimana kita terus berkarya tanpa henti. Bisa jadi suatu karya yang saat ini tidak memiliki dampak, dalam beberapa tahun mendatang menghasilkan revolusi dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

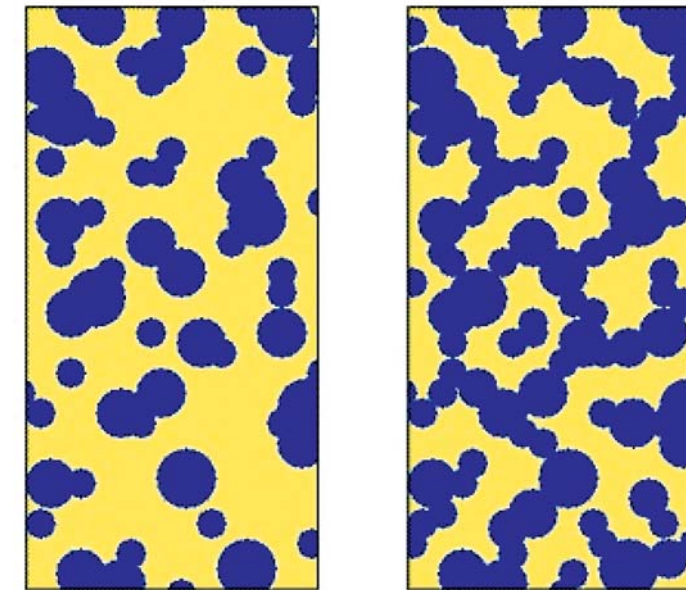
2. KONTRIBUSI BAGI ILMU PENGETAHUAN

2.1. Teori Perekat Konduktif

Rangkaian kontribusi saya dalam bidang ilmu pengetahuan dimulai ketika saya menjadi Research Student di Hiroshima University, Jepang dibawah bimbingan Prof. Kikuo Okuyama dan bertemu dengan Prof. Frank G. Shi dari University of California, Irvine, USA saat beliau berkunjung ke Hiroshima University, pada pertengahan 1998. Prof. Shi adalah kolega supervisor saya.

Prof. Shi menyodorkan ke saya satu masalah yang masih dijumpai pada sifat kelistrikan komposit polimer yang mengandung partikel-partikel kecil logam. Material ini sering disebut perekat konduktif (*conductive adhesive*). Polimer sendiri adalah perekat (lem) yang tidak menghantarkan listrik (isolator), sedangkan logam adalah konduktor (menghantarkan listrik). Ketika partikel-partikel kecil logam disebar ke dalam polimer maka terbentuk komposit. Jika jumlah partikel logam yang disebar terlalu sedikit maka komposit tersebut tidak menghantarkan

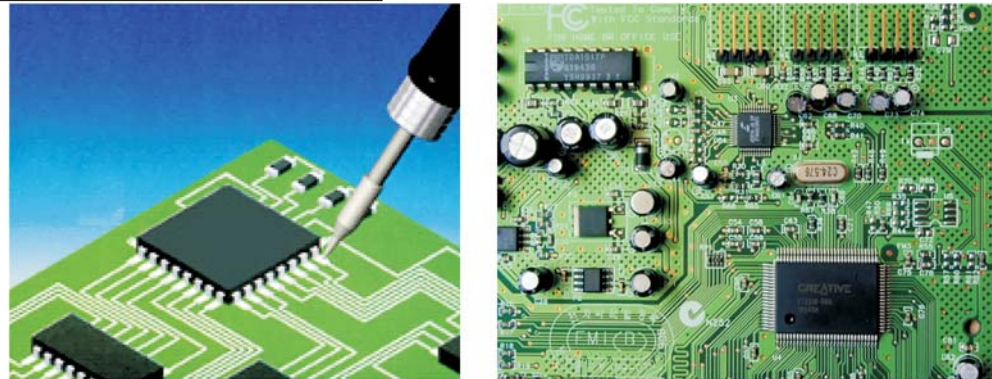
listrik. Namun, jika jumlah partikel logam diperbanyak, maka secara tiba-tiba partikel-partikel tersebut membentuk persambungan satu dengan lainnya dari satu ujung komposit ke ujung lainnya (Gambar 1). Oleh karena itu, komposit tiba-tiba dapat mengantarkan listrik. Jika jumlah partikel logam terus diperbanyak maka persambungan partikel-partikel logam tetap terjadi dan komposit tetap menjadi pengantar listrik.



Gambar 1: (kiri) Jika jumlah partikel logam terlalu sedikit maka tidak terbentuk persambungan kontinu antar partikel. (kanan) Persambungan kontinu terjadi jika jumlah partikel logam yang disebar ke dalam polimer cukup banyak (Gambar dimodifikasi dari: <http://tda.com>).

Jumlah minimum partikel logam yang disebar ke dalam polimer agar komposit menghantarkan listrik disebut ambang perkolasi. Dengan perkataan lain, jika jumlah partikel logam berada di bawah ambang

perkolasi maka komposit tidak mengantarkan listrik (bersifat isolator). Tetapi, jika jumlah partikel logam lebih banyak dari ambang perkolasi maka komposit menjadi konduktor (mengantarkan listrik).



Gambar 2: (a) Cara lama menyambung IC ke PCB adalah dengan penyolderan (Gambar bersumber dari: <http://howardelectronics.com>), (b) Kaki IC yang makin rapat menyebabkan makin sulit disambung ke PCB melalui penyolderan (Gambar bersumber dari: <http://reatechnologies.com>)

Aplikasi utama perekat konduktif adalah untuk menempel komponen-komponen elektronik, seperti IC, pada PCB (*printed circuit board*). PCB adalah jalur-jalur listrik pada sebuah papan. Ketika komponen-komponen elektronik dipasang pada PCB maka komponen-komponen tersebut tersambung secara listrik sehingga berfungsi sebagai satu alat elektronik. Pada teknologi sebelumnya, IC ditempelkan di PCB menggunakan solder (Gbr. 2(a)). Namun kendala yang muncul adalah ketika penyolderan dilakukan maka cairan timah yang meleleh membentuk titik-titik cairan yang ukurannya tertentu. Dengan

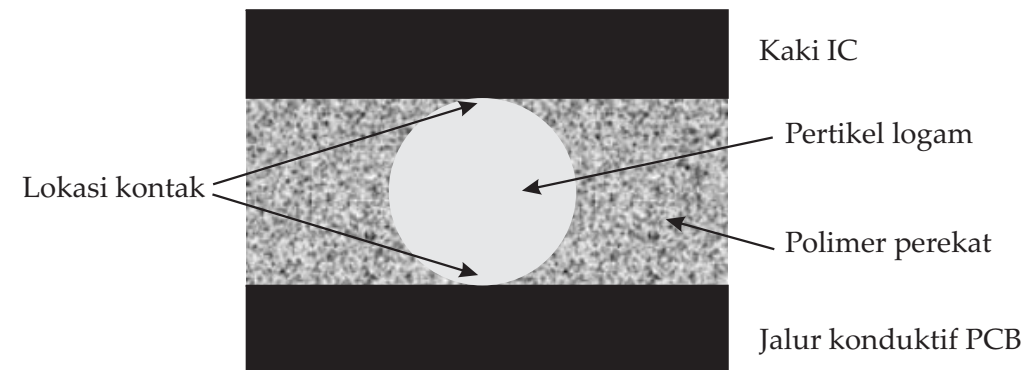
berkembangnya teknologi pembuatan IC di mana jarak antar kaki IC makin rapat (Gbr. 2(b)) maka ukuran cairan timah solder sudah lebih besar daripada jarak antar kaki IC. Akibatnya, ketika penyolderan dilakukan, bisa terjadi dua kaki IC tersambung oleh cairan solder.

Dengan meningkatnya performa IC yang menuntut jumlah kaki yang makin banyak maka pada IC-IC terbaru kaki-kaki dibuat juga di sisi bawah karena ruang di sekeliling IC tidak lagi cukup untuk menampung semua kaki. Kaki-kaki yang berada di sisi bawah tidak bisa disambung dengan teknik penyolderan biasa karena tidak tampak saat IC diletakkan di atas PCB.

Masalah-masalah di atas dipecahkan dengan menggunakan perekat konduktif. Partikel-partikel logam yang disebar di dalam polimer perekat berfungsi sebagai penyambung kaki IC dengan jalur konduktif PCB. Sisi atas PCB dan sisi bawah IC diolesi dengan perekat konduktif lalu keduanya ditempelkan pada posisi yang tepat. Dengan memberikan tekanan dan pemanasan maka IC akan tertempel kuat pada PCB.

Salah satu faktor yang penting diperhatikan dalam penyambungan IC dengan PCB adalah hambatan listrik pada persambungan. Hambatan tersebut harus sekecil mungkin untuk mereduksi munculnya panas. Makin besar hambatan maka makin besar panas yang dihasilkan saat dialiri arus listrik. Panas yang terlampau tinggi dapat merusak IC. Ketika polimer konduktif digunakan maka yang berperan sebagai penyambung IC dan PCB adalah partikel logam. Kalau diasumsikan partikel logam

berbentuk bola maka persambungan antara partikel logam dengan kaki IC maupun partikel logam dengan PCB hanya berupa persinggungan bola yang ukurannya sangat kecil (Gambar 3).



Gambar 3: Kontak antara partikel logam, kaki IC dan jalur konduktif PCB.

Teori yang dikembangkan peneliti sebelumnya membuktikan bahwa makin kecil luas kontak antar dua logam yang bersambungan maka makin besar hambatan yang dihasilkan. Hambatan pada persambungan antara dua logam disebut hambatan kontak atau hambatan konstiksi. Besarnya hambatan tersebut pertama kali diturunkan secara teoritik oleh Holm yang memenuhi persamaan [Holm, 1967]

$$R = \frac{\rho}{D} \quad (1)$$

dengan ρ disebut hambatan jenis logam dan D adalah diameter kontak.

Para ahli mengamati sedikit ketidak sesuaian antara hasil pengamatan dan hasil perhitungan hambatan pada persambungan IC dan PCB. Ketika

menempelkan IC pada PCB disertai pemberian sedikit tekanan maka pada lokasi kontak antara partikel logam dengan PCB atau partikel logam dengan kaki IC muncul sedikit deformasi yang menyebabkan permukaan bola berubah menjadi rata pada lokasi kontak. Besarnya ukuran kontak bergantung pada ukuran partikel serta tekanan yang diberikan. Sedikit perbedaan antara hasil pengamatan dan perhitungan teoritik muncul ketika tekanan yang diberikan pada IC diubah-ubah. Prof. Shi meminta saya untuk mencari solusi atas perbedaan tersebut.

Saya memulai dengan menelusuri bagaimana teori yang mengaitkan antara hambatan kontak dan gaya tekan dibangun. Saya mengidentifikasi bahwa teori tersebut diturunkan atas asumsi bahwa partikel-partikel yang disebar dalam polimer memiliki ukuran yang sama. Asumsi ini berimplikasi bahwa menempelkan IC pada PCB dengan pemberian tekanan menyebabkan ukuran kontak yang terjadi pada semua partikel sama. *Saya kira asumsi ini tidak tepat.* Saya berkeyakinan bahwa hampir tidak mungkin membuat partikel dalam ukuran sangat kecil yang memiliki ukuran persis sama, apa pun metode pembuatan yang digunakan. Dan memang demikian, semua partikel yang dibuat para peneliti memiliki ukuran yang bervariasi.

Atas keyakinan bahwa tidak mungkin membuat partikel yang memiliki ukuran yang persis sama, maka saya mencoba membangun ulang persamaan yang mengaitkan antara tekanan dan hambatan pada persambungan dua logam. *Saya mengusulkan bahwa partikel yang disebar*

dalam perekat memiliki distribusi ukuran. Ketika polimer konduktif digunakan untuk menempel IC dan PCB maka sebagian partikel (yang berukuran besar) mengalami deformasi besar sehingga menghasilkan ukuran kontak besar. Partikel-partikel lebih kecil menghasilkan ukuran kontak kecil. Dan partikel yang lebih kecil lagi tidak menghasilkan kontak atau tidak sanggup menyambung IC dan PCB (diameter partikel lebih kecil daripada jarak kaki IC dan PCB). Dengan asumsi ini kami berhasil mendapatkan rumus baru yang mengaitkan antara gaya tekan dan hambatan kontak. Tabel 1 memperlihatkan perbandingan antara rumus lama yang digunakan para peneliti sebelumnya dan rumus yang kami dapatkan dengan asumsi bahwa ukuran partikel tidak seragam.

Tabel 1: Perbandingan antara rumus (dengan asumsi ukuran partikel seragam) dan rumus baru (dengan asumsi ukuran partikel tidak seragam)

Besaran fisis	Rumus Lama	Rumus Baru
Hambatan kontak	$R = \frac{\rho}{\pi\sqrt{R^2 - W^2}}$	$R = \frac{\rho}{N\pi} \frac{1}{\int_W^\infty \sqrt{r^2 - W^2} f(r) dr}$
Gaya plastis	$F = \pi H(R^2 - W^2)$	$F = N\pi H \int_W^\infty (r^2 - W^2) f(r) dr$
Gaya elastis	$F = \left(\frac{\pi}{2,43}\right)^{3/2} E(R^2 - W^2)^{3/2} \frac{E}{R}$	$F = N \left(\frac{\pi}{2,43}\right)^{3/2} E \int_W^\infty \frac{(r^2 - W^2)^{3/2}}{r} f(r) dr$

Makna huruf-huruf dalam Tabel 1 adalah R : jari-jari partikel jika dianggap berukuran seragam, W : setengah jarak antara kaki IC dan PCB,

F : gaya tekan pada IC ketika ditempelkan pada PCB, H : kekerasan partikel (*particle hardness*), E : modulus elastisitas partikel, ρ : tahanan jenis partikel, N : jumlah partikel yang berada antara satu kaki IC dengan PCB, $f(r)$: fungsi distribusi ukuran partikel yang kami usulkan dalam persamaan baru.

Teori yang kami bangun dapat menjelaskan dengan baik sejumlah data pengamatan sebelumnya. Teori tersebut kami publikasi dalam jurnal internasional: **Materials Science in Semiconductor Processing**, Volume 2, halaman 263-269 tahun 1999 dengan judul “*Electrical Conduction of Anisotropic Conductive Adhesives: Effect of Size Distribution of Conducting Filler Particles*”. Makalah tersebut telah dirujuk oleh banyak peneliti. Hingga awal September 2011, makalah tersebut telah dirujuk dalam 37 makalah di jurnal internasional yang terbit sesudahnya. Ini adalah nilai sitasi yang cukup tinggi yang mengindikasikan bahwa hasil yang kami peroleh mendapat pengakuan yang baik dari kalangan peneliti dunia.

2.2. Teori Penyatuan Hambatan Kontak

Ada dua teori tentang hambatan kontak antara konduktor. Teori pertama dikenalkan oleh Holm untuk kontak yang diameternya jauh lebih besar daripada jalan bebas rata-rata elektron dalam konduktor tersebut [Holm, 1967]. Teori kedua diusulkan oleh Sharvin untuk kontak yang diameternya lebih kecil dari jalan bebas rata-rata elektron dalam konduktor [Sharvin, 1965]. Hambatan kontak menurut Holm memenuhi persamaan (1) sedangkan hambatan kontak menurut Sharvin memenuhi

persamaan [Sharvin, 1965],

$$R_s = \frac{4p_F}{N e^2 D^2} \quad (2)$$

dengan p_F adalah momentum Fermi untuk elektron dalam konduktor dan e adalah muatan elektron. Tampak bahwa hambatan kontak Holm berbanding terbalik dengan diameter kontak sedangkan hambatan kontak Sharvin berbanding terbalik dengan kuadrat diameter kontak.

Pertanyaan yang muncul di kepala saya saat itu adalah, dua teori tersebut menjelaskan fenomena yang sama, yaitu hambatan kontak antar logam. Namun dua teori memiliki sifat yang sangat berbeda. Adakah satu rumus tunggal yang dapat menjelaskan hambatan kontak untuk semua ukuran kontak: baik untuk diameter yang lebih besar daripada jalan bebas rata-rata elektron maupun diameter yang kecil? Dengan perkataan lain, adakah rumus tunggal untuk hambatan kontak di mana rumus tersebut menjadi sama dengan rumus Holm jika diameter kontak besar dan menjadi sama dengan rumus Sharvin jika diameter kontak kecil?

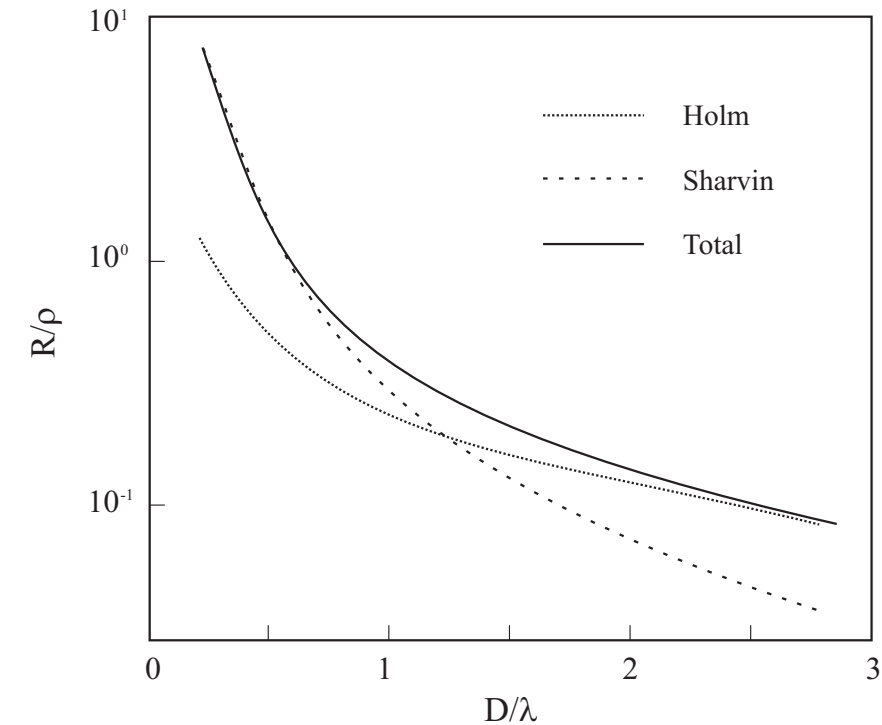
Keinginan untuk menjawab pertanyaan di atas menuntut saya menurunkan ulang rumus hambatan kontak. Pada akhirnya akhirnya saya mendapatkan rumus umum untuk hambatan kontak sebagai berikut [Mikrajuddin dkk, 1999a],

$$R = \frac{\rho}{D} G(D, \lambda) \quad (3)$$

dengan

$$G(D, \lambda) = \frac{\lambda}{D} \int_0^{\infty} e^{-2(\lambda/D)x} \frac{\sin x}{x} dx \quad (4)$$

dan λ adalah jalan bebas rata-rata elektron dalam konduktor.



Gambar 4: Kurva-kurva hambatan kontak yang diperoleh dari rumus Holm (persamaan (1)), rumus Sharvin (persamaan (2)), dan rumus umum atau total (persamaan (3)) [Mikrajuddin dkk, 1999a].

Gambar 4 adalah kurva rumus Holm, Sharvin dan rumus umum yang kami peroleh (persamaan (3)). Tampak jelas bahwa rumus umum yang kami peroleh persis sama dengan prediksi Sharvin untuk ukuran kontak kecil dan persis sama dengan prediksi Holm untuk ukuran kontak besar. Hasil riset ini telah kami publikasikan di jurnal internasional: **Materials**

Science in Semiconductor Processing, Volume 2, halaman 321-327 tahun 1999 dengan judul “*Size-dependent Electrical Constriction Resistance for Contact of Arbitrary Size: from Sharvin to Holm Limits*”. Makalah tersebut telah dirujuk oleh banyak peneliti. Hingga awal September 2011, makalah tersebut telah dirujuk dalam 27 makalah di jurnal internasional yang terbit sesudahnya. Ini juga adalah nilai sitasi yang cukup tinggi yang mengindikasikan bahwa hasil yang kami peroleh mendapat pengakuan yang baik dari kalangan peneliti dunia.

2.3. Teori Perkolasi Ganda

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, ketika partikel-partikel kecil logam didistribusikan di dalam polimer isolator maka mula-mula konduktivitas campuran (komposit) sangat rendah (sama dengan konduktivitas polimer). Ketika jumlah partikel logam yang didistribusikan ditingkatkan terus-menerus maka pada suatu nilai tertentu konduktivitas campuran meningkat secara tiba-tiba ke nilai yang mendekati konduktivitas partikel logam. Ketika jumlah partikel logam dinaikkan lagi maka konduktivitas tidak lagi berubah.

Jumlah partikel logam yang didistribusikan ketika terjadi perubahan konduktivitas secara tiba-tiba disebut ambang perkolasi. Di ambang perkolasi, partikel-partikel logam mulai membentuk koneksi yang kontinu (jembatan-jembatan) dari satu sisi komposit ke sisi lainnya dan jembatan inilah tempat arus listrik mengalir.

Keberadaan ambang perkolasi telah lama dibahas para peneliti sebelumnya dan telah banyak teori yang dibangun untuk menjelaskan fenomena tersebut. Nilai ambang perkolasi dapat berbeda untuk komposit yang berbeda. Secara teori, ambang perkolasi bergantung pada keteraturan partikel-partikel dalam komposit. Konduktivitas komposit yang diramalkan oleh teori sebelumnya ditentukan oleh konduktivitas yang dimiliki partikel logam, konduktivitas yang dimiliki polimer, dan fraksi volum masing-masing komponen.

Saya mencoba melihat mekanisme munculnya konduktivitas pada komposit dari sudut pandang yang berbeda. Menurut saya, seharusnya konduktivitas komposit tidak ditentukan oleh konduktivitas logam maupun konduktivitas polimer tetapi ditentukan oleh konduktivitas kontak antar komponen-komponen dalam komposit. Ketika partikel logam tersebar di dalam komposit maka terbentuk sejumlah kontak: kontak antar partikel logam yang bersentuhan, kontak antara permukaan partikel logam dan polimer dan kontak antar polimer itu sendiri. Jadi, ada tiga macam kontak yang terbentuk dan tiap-tiap kontak memiliki konduktivitas sendiri yang berbeda dengan konduktivitas logam maupun polimer.

Karena kontak antar partikel logam menciptakan luas kontak yang kecil, maka berdasarkan rumus Holm (persamaan (1)) atau Sharvin (persamaan (2)), atau rumus umum (persamaan (3)), hambatan kontak membesar atau konduktivitas kontak mengecil. Meskipun terjadi

jembatan logam sepanjang polimer (kandungan logam di atas ambang perkolasi), konduktivitas efektif komposit kira-kira sama dengan konduktivitas kontak antar partikel logam, bukan sama dengan konduktivitas logam seperti yang diramalkan oleh peneliti sebelumnya.

Dari semua konduktivitas kontak di atas, yang paling besar nilainya adalah konduktivitas kontak antar partikel logam. Nilainya sedikit lebih kecil daripada konduktivitas logam itu sendiri jika terbentuk kontak yang baik. Namun, tidak ada jaminan terbentuk kontak yang baik (secara listrik) meskipun dua partikel bersentuhan. Bisa saja pada lokasi kontak terbentuk film polimer yang kuat atau terbentuk semacam korosi sehingga konduktivitas kontak lebih kecil daripada konduktivitas kontak murni antar partikel logam. Jadi, teori umum yang dibangun harus mempertimbangkan empat macam konduktivitas kontak: kontak yang sempurna antar partikel logam dengan nilai konduktivitas terbesar, kontak yang tidak sempurna antar partikel logam dengan nilai konduktivitas lebih kecil, kontak antara partikel logam dengan polimer dengan konduktivitas jauh lebih kecil, dan kontak antar polimer dengan polimer dengan konduktivitas mendekati nol.

Kami akhirnya berhasil membangun ulang tentang teori tentang konduktivitas komposit dan memprediksi keberadaan dua ambang perkolasi di dalam komposit. Perkolsi pertama terjadi ketika partikel-partikel dalam logam tepat membentuk jembatan kontinu dari satu sisi polimer ke sisi lainnya. Namun karena sebagian kontak merupakan

kontak sempurna dan sebagian lainnya merupakan kontak tidak sempurna maka nilai konduktivitas efektif kira-kira sama dengan konduktivitas kontak tidak sempurna antar partikel. Ketika jumlah partikel diperbanyak lagi maka jumlah kontak yang sempurna maupun tidak sempurna makin banyak. Pada suatu saat terjadi persambungan kontinu kontak-kontak sempurna antar partikel dan konduktivitas naik lagi secara tiba-tiba. Ini adalah ambang perkolasi kedua.

Jadi, kalau fraksi partikel logam diubah dari terkecil ke besar kita peroleh: mula-mula konduktivitas komposit sama dengan konduktivitas polimer. Pada ambang perkolasi pertama, konduktivitas naik tiba-tiba sama dengan konduktivitas kontak tidak sempurna antar partikel dan pada ambang perkolasi kedua konduktivitas naik tiba-tiba sama dengan konduktivitas kontak sempurna antar partikel.

Teori tentang ambang perkolasi ganda yang kami usulkan akhirnya banyak diikuti oleh peneliti sesudahnya. Teori ini telah kita publikasikan di jurnal internasional: **Materials Science in Semiconductor Processing**, Volume 2, halaman 309-319 tahun 1999 dengan judul "*Onset of Electrical Conduction in Isotropic Conductive Adhesives: a General Theory*". Hingga awal September 2011, makalah tersebut telah dirujuk dalam 28 makalah di jurnal internasional yang terbit sesudahnya. Ini juga adalah nilai sitasi yang cukup tinggi yang mengindikasikan bahwa hasil yang kami peroleh mendapat pengakuan yang baik dari kalangan peneliti dunia.

2.4. Penyatuan Teori dua Jenis Komposit Komposit

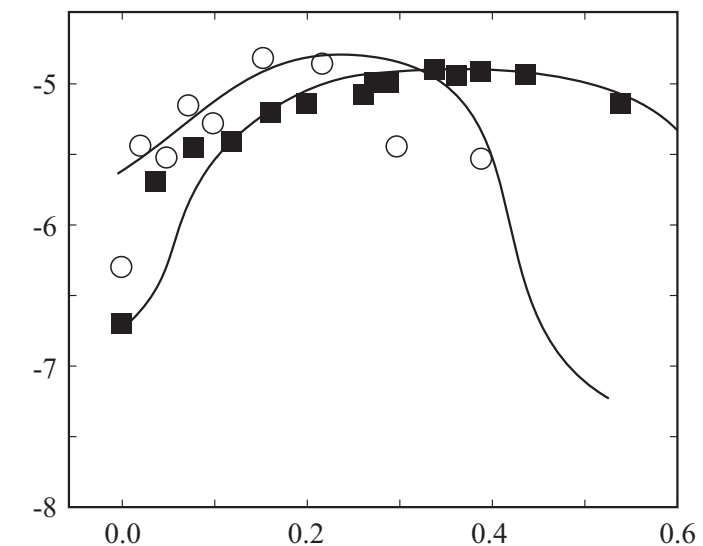
Pada akhir tahun 90-an ada dua macam komposit konduktif yang banyak dikaji para peneliti. Komposit pertama dibuat dengan mendispersi partikel-partikel kecil logam ke dalam polimer isolator. Seperti kita bahas di atas, ketika kandungan partikel logam diperbesar maka mula-mula konduktivitas efektif sama dengan konduktivitas isolator dan membesar menjadi kira-kira sama konduktivitas kontak antar partikel logam ketika jumlah logam yang didispersi di atas ambang perkolasi.

Komposit kedua adalah elektrolit padat (*solid electrolyte*) yang mengandung partikel-partikel kecil isolator. Ketika jumlah partikel yang dimasukkan terlampaui sedikit maka konduktivitas efektif kira-kira sama dengan konduktivitas elektrolit. Jika jumlah partikel dinaikkan maka konduktivitas komposit meningkat namun jika jumlah partikel terlampaui besar maka konduktivitas kembali menurun.

Ada pengamatan lain yang menarik yang diperlihatkan komposit elektrolit padat yang mengandung partikel isolator. Pada suhu rendah, konduktivitas mula-mulai naik dengan meningkatnya kandungan partikel dan pada akhirnya turun kembali ketika kandungan partikel cukup besar. Namun pada suhu tinggi, konduktivitas langsung menurun dengan penambahan partikel isolator.

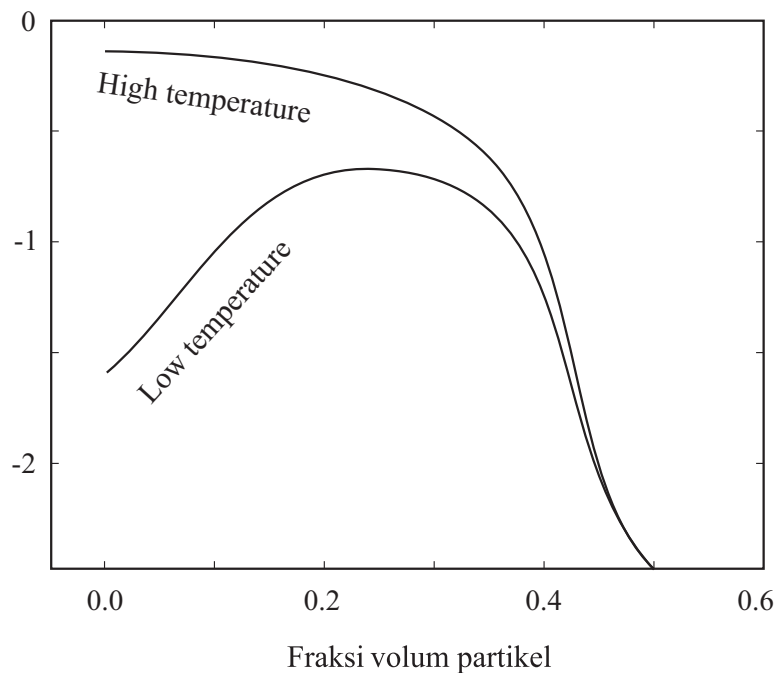
Para ahli sebelumnya telah membangun sejumlah teori untuk menjelaskan mekanisme pembentukan konduktivitas listrik pada

masing-masing komposit di atas. Namun, teori untuk dua jenis komposit di atas tidak berkaitan satu dengan lainnya. Dengan perkataan lain, kedua dipandang sebagai dua jenis komposit yang berbeda. Sebaliknya saya melihat kedua jenis komposit di atas dari sisi yang berbeda. Seperti pada teori yang kami usulkan sebelumnya, sebenarnya yang berperan penting dalam pembentukan konduktivitas komposit bukan konduktivitas partikel dan polimer itu sendiri tetapi konduktivitas kontak yang terbentuk di dalamnya. Dengan cara pandang demikian ada peluang untuk membangun satu teori untuk dua jenis komposit di atas. Kami akhirnya mendapat persamaan umum untuk konduktivitas dua macam komposit di atas yang sesuai dengan data pengamatan.



Gambar 5: Perbandingan antara data pengamatan (simbol) dengan prediksi teori yang kami bangun [Mikrajuddin dkk, 1999b]. (segi empat) Elektrolit LiI yang mengandung partikel Al_2O_3 [Liang, 1973] dan (lingkaran) untuk elektrolit AgI yang mengandung partikel TiO_2 [Furusawa dkk, 1991].

Gambar 5 adalah perbandingan antara teori yang kami kembangkan dengan hasil eksperimen untuk elektrolit padat yang mengandung partikel isolator [Liang, 1973; Furuawa, 1991]. Terdapat kesesuaian yang baik antara hasil pengamatan dan prediksi teori yang kita usulkan.



Gambar 6: Prediksi konduktivitas elektrolit padat yang mengandung partikel isolator sebagai fungsi kandungan partikel pada suhu tinggi dan suhu rendah [Mikrajuddin dkk, 1999b].

Gambar 6 adalah prediksi dari teori yang kami kembangkan untuk polimer elektrolit yang mengandung partikel isolator pada suhu rendah dan suhu tinggi. Kurva yang diperoleh persis sama dengan perubahan konduktivitas hasil pengukuran yang dilaporkan para peneliti sebelumnya.

Hasil pekerjaan ini kita publikasikan di jurnal internasional: **Journal of the Electrochemical Society**, Volume 147, nomr 8, halaman 3157-3167 tahun 2000 dengan judul: “*Electrical Conduction in Insulator Particle-Solid-State Ionic and Conducting Particle-Insulator Matrix Composites: a Unified Theory*”. Makalah ini telah dirujuk dalam 17 makalah internasional oleh para peneliti seluruh dunia.

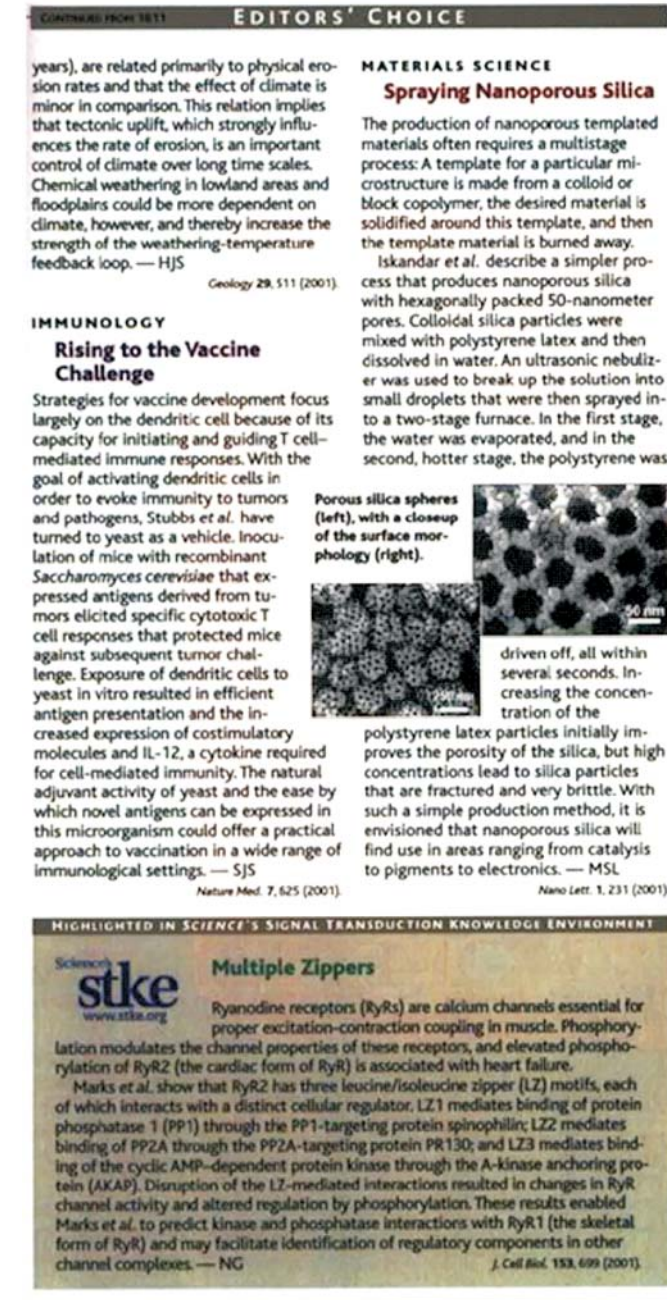
2.5. Nanopartikel yang Mengandung Poros Teratur

Saya melakukan riset kolaborasi dengan Dr. Ferry Iskandar sejak tahun 2001. Dr. Ferry Iskandar sekarang adalah dosen baru di Kelompok Keahlian Fisika Material Elektronik, FMIPA ITB (satu kelompok dengan saya). Kami masuk program doktor di Hiroshima University tahun 1998 dengan pembimbing yang sama, Prof. Kikuo Okuyama. Dr. Ferry Iskandar adalah dosen ITB dengan jumlah publikasi internasional terbanyak (lebih dari 90 buah) dan jumlah sitasi lebih dari 1000 (nilai yang amat tinggi bagi peneliti Indonesia).

Ketika mengembangkan reaktor spray tahun 2001, Dr. Ferry (saat itu belum doktor) secara “iseng” mencoba mencampur koloid silika dan koloid polistiren dengan berbagai variasi dan memanaskan dalam reaktor spray ultrasonik. Hasil yang diperoleh berupa bubuk-bubuk berwarna putih. Ketika bubuk tersebut diamati dengan SEM (*scanning electron microscope*), tanpa terduga muncul gambar-gambar yang indah. Diamati bola-bola yang mengandung poros yang sangat teratur. Dr. Ferry

memperlihatkan gambar tersebut ke saya, karena kebetulan kami berada di satu ruangan di lantai 2 gedung A4 Fakultas Teknik Universitas Hiroshima. Saya melihat ada potensi untuk membuat makalah dari hasil “tak sengaja ini”.

Saya menyarankan Dr. Ferry mengambil lagi sejumlah data dengan bervariasi fraksi silika dan polystirene. Setelah data kami kira cukup, saya menuliskan makalahnya. Makalahnya sendiri tidak terlalu panjang. Setelah makalah selesai, kami berdua berdiskusi dengan supervisor kami, Prof. Okuyama tentang makalah tersebut, agar bisa segera disubmit. Ada sedikit keraguan pada Prof. Okuyama, apakah makalah tersebut sudah layak untuk disubmit atau tidak. Akhirnya kami nekad mensubmit makalah tersebut. Kebetulan saat ini ada jurnal baru yang diterbitkan oleh *The American Chemical Society*, yaitu **Nano Letters**. Kami akhirnya memutuskan untuk mensubmit ke **Nano Letters**. Tanpa terduga, kami mendapat respons yang cepat dengan permintaan revisi kecil. Akhirnya makalah tersebut terbit di **Nano Letters**, Volume 1, nomor 5, halaman 231-234 tahun 2001 dengan judul: “*In Situ Production of Spherical Silica Particles Containing Self-organized Mesoporous*”.



Gambar 7: Makalah kami muncul dalam Editors' Choice majalah Science tanggal 1 Juni 2001.

Beberapa minggu setelah makalah ini terbit di **Nano Letters**, kami dikontak oleh editor majalah **Science**. Editor meminta kami mengirimkan satu gambar kualitas tinggi tentang partikel tersebut. Ternyata makalah kami dimasukkan dalam **Editor's Choice** majalah Science bulan Juni 2011 (Gambar 7). Ini berarti makalah tersebut mendapat apresiasi yang baik dari majalah **Science**. Dan kita ketahui majalah **Science** diakui para ilmuwan sebagai salah satu majalah ilmiah terbaik dunia di samping **Nature**. Riset ini juga mendapat penghargaan dan **NEDO, Jepang** sebagai **NEDO Highlight for the Future** tahun 2003.

Kelanjutan dari makalah pertama ini, kami kembali membuat makalah kedua. Dr. Ferry melakukan eksperimen sedangkan saya berperan menulis makalah dan memasukkan teori fisika untuk menerangkan hasil pengamatan tersebut. Pada makalah kedua kami tekankan pada bagaimana mengontrol ukuran poros serta keteraturan poros. Kami juga mengontrol ukuran partikel yang dihasilkan serta mengontrol bentuk partikel. Makalah kedua juga diterbitkan di **Nano Letters**, Volume 2, nomor 4, halaman 389-392 tahun 2002 dengan judul: "*Controllability of Pore Size and Porosity on Self-Organized Porous Silica Particles*". Makalah kedua ini juga mendapat apresiasi yang baik dari para peneliti dunia dengan jumlah rujukan 49 kali.

Kemudian kami lanjutkan dengan makalah ketiga yang berupa penjelasan teori yang lebih mendalam tentang mekanisme pembentukan partikel dengan poros yang tersusun teratur tersebut. Makalah ketiga

terbit di **AICHE Journal**, Volume 20, nomor 17, halaman 2583-2593 tahun 2004 dengan judul: "*Self-Organization Kinetics of Mesoporous Nanostructured Particles*". Untuk membangun teori ini kami bekerja sama dengan kolega dari Polandia. Makalah ketiga ini tidak sesukses dua makalah sebelumnya karena hanya disitasi sebanyak 12 kali.

2.6. Memerangkap Nanopartikel

Setelah berhasil membuat nanopartikel ZnO yang memancarkan pendaran biru sampai kuning ketika disinari dengan cahaya ultra ungu, kami menghadapi masalah dengan perubahan warna yang begitu cepat ketika ZnO disintesis dalam media cairan (koloid). Hal serupa dialami juga oleh para peneliti lain. Ketika baru disintesis, partikel tersebut memancarkan warna biru. Namun dengan seketika warna berubah menjadi hijau dan terakhir menjadi kekuningan. Dan selanjutnya warna menjadi redup. Penyebabnya adalah ukuran partikel yang membesar dengan cepat jika dibiarkan dalam media cairan. Pertumbuhan ukuran tersebut disebabkan dua faktor: makin banyaknya jumlah ion dari cairan yang menempel pada partikel yang telah terbentuk atau penggabungan sejumlah partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar (aglomerasi).

Untuk nanopartikel ZnO, warna pendaran bergantung pada ukuran partikel. Partikel yang berukuran sangat kecil (di bawah 3 nanometer) memancarkan pendaran biru. Partikel dengan ukuran sekitar 3 – 5 nm memancarkan pendaran hijau, sedangkan yang berukuran di atas 6 nm

memancarkan pendaran kekuning-kuningan.

Bagaimana cara menghentikan pertumbuhan ukuran partikel secara cepat? Saya teringat pada reaktor spray yang dibangun Dr. Ferry Iskandar. Reaktor spray pada dasarnya berfungsi memanaskan material dalam waktu yang sangat cepat. Lama pemanasan bisa kurang dari satu detik. Saya berpikir mungkin kita bisa memerangkap nanopartikel ZnO di antara partikel silika dengan menggunakan reaktor spray. Koloid ZnO yang baru saja dibuat dan berukuran sangat kecil dengan segera dicampur dengan koloid silika kemudian dimasukkan ke dalam reaktor spray. Dalam waktu beberapa detik, didapatkan partikel bulat dengan ukuran beberapa mikrometer. Partikel bulat tersebut merupakan gumpalan partikel-partikel nano silika yang menjepit partikel-partikel ZnO. Karena partikel gumpalan (*granular*) yang dihasilkan sudah padat dan berbentuk bubuk maka tidak terjadi lagi pertumbuhan ukuran partikel ZnO.

Kenapa kita menggunakan partikel silika sebagai penjepit partikel ZnO? Jawabannya adalah karena silika (kaca) merupakan medium transparan. Kehadiran silika tidak mempengaruhi warna yang dipancarkan partikel ZnO. Pada percobaan pertama saya mengamati bahwa warna yang dipancarkan bubuk tersebut tidak berubah meskipun sudah disimpan selama satu bulan. Bubuk yang semula memancarkan warna biru terus memancarkan warna biru hingga satu bulan pengamatan. Berbeda sekali dengan ZnO yang dihasilkan dalam medium fasa cair di mana hanya dalam hitungan jam warna sudah berubah dari

biru ke kekuning-kuningan.

Kemudian saya mencoba mengatur umur ZnO yang dihasilkan. Umur menentukan ukuran partikel. ZnO dengan umur yang berbeda-beda dicampur dengan koloid silika kemudian dispray. Harapannya adalah kita mendapatkan partikel gumpalan yang mengandung partikel ZnO dengan ukuran yang berbeda-beda. Dengan demikian kita mendapatkan bubuk dengan warna berbeda-beda. Saya berhasil melakukan identifikasi sifat tersebut. Karakterisasi lain juga dilakukan untuk membuktikan bahwa kami benar-benar berhasil memerangkap nanopartikel ZnO di antara nanopartikel silika.

Dr. Ferry Iskandar yang sangat ahli mengoperasikan SEM saya minta tolong untuk mengambil foto SEM bubuk yang dihasilkan. Akhirnya kami peroleh data yang cukup lengkap yang saya lanjutkan dengan penulisan makalah. Setelah makalah selesai, kami menghadap supervisor, Prof. Kikuo Okuyama untuk mendiskusikan submit paper tersebut. Tanpa diduga, Prof. Okuyama marah besar, entah atas alasan apa. Sampai mengatakan makalah tersebut “tidak bermutu”. Kami menghentikan niat mensubmit makalah tersebut. Saya tidak mengerti apa alasan kemarahan tersebut. Dugaan saya adalah Prof. Okuyama tidak mengharapkan saya bekerja dengan spray, tetapi cukup di komposit. Namun saya “nyelonong” mengerjakan topik spray tanpa terlebih dahulu mendiskusikan dengan beliau. Namun akhirnya beliau setuju untuk mensubmit makalah tersebut.

Pertama kami mengirim ke **Applied Physics Letters**, namun ditolak. Tetapi editor menyarankan kami mengirim ke **Journal of Applied Physics** dengan revisi minor. Makalah tersebut akhirnya terbit di **Journal of Applied Physics**, Volume 89, nomor 11, halaman 6431-6434 tahun 2001 dengan judul: *“Stable Luminescence of Zinc Oxide Quantum Dots in Silica Nanoparticles Matrix Prepared by the Combined Sol-Gel and Spray Drying Methods”*. Tanpa kami duga, makalah tersebut mendapat sitasi yang luar biasa dari para peneliti dunia. Makalah kami merupakan salah satu terobosan dalam memerangkap nanopartikel untuk mempertahankan ukuran dan sejumlah sifat fisis lain. Hingga awal September 2011 makalah tersebut telah disitasi 47 kali oleh para peneliti seluruh dunia.

Sebagai kelanjutan riset memerangkap nanopartikel ZnO dalam matriks silika, saya melakukan riset lebih lanjut. Semula saya memerangkap ZnO dengan menggunakan nanopartikel silika yang berasal dari koloid silika. Selanjutnya saya menggunakan sumber silika cair sebagai media pemerangkap sehingga ZnO seperti berada dalam bola-bola kaca silika yang bersifat kontinu. Ukuran bola-bola silika adalah beberapa mikro hingga puluhan mikrometer. Namun ZnO di dalamnya memiliki ukuran nanometer. Hasil pekerjaan ini kami publikasikan di jurnal internasional: **Optical Materials**, Volume 26, Nomor 1, halaman 298-305 tahun 2004 dengan judul: *“Synthesis of ZnO/SiO₂ Nanocomposites Emitting Specific Luminescence Colors”*. Makalah ini pun saya anggap sangat sukses dengan indikasi jumlah sitasi yang mencapai 39 kali oleh berbagai

peneliti di seluruh dunia. Makalah ini masuk dalam daftar **Top 25 The Hottest Articles** tahun 2004 dengan menempati posisi 17, seperti diilustrasikan di Gbr 8.

Top 25 Hottest Articles
Physics and Astronomy > Optical Materials
October to December 2004

RSS Blog This! Print Show condensed

- Preparation, characterization and optical properties of nanostructured ZnO thin films**
Optical Materials, Volume 27, Issue 2, November 2004, Pages 217-220
Zhang, L.Z.;Tang, G.-Q.
Cited by Scopus (22)
- Complex-shaped three-dimensional microstructures and photonic crystals generated in a polysiloxane polymer by two-photon microstereolithography**
Optical Materials, Volume 27, Issue 3, December 2004, Pages 359-364
Cited by Scopus (37)
- Structure and optical properties of Mg^xZn^{1-x}O nanoparticles prepared by sol-gel method**
Optical Materials, Volume 27, Issue 1, October 2004, Pages 1-5
Ning, G.-h.;Zhao, X.-p.;Li, J.
- Synthesis of ZnO/SiO₂ nanocomposites emitting specific luminescence colors**
Optical Materials, Volume 26, Issue 1, June 2004, Pages 95-100
Abdullah, M.;Shibamoto, S.;Okuyama, K.
Cited by Scopus (39)
- Infrared-to-green up-conversion in Er³⁺, Yb³⁺-doped monoclinic KGd(WO₄)₂ single crystals**
Optical Materials, Volume 27, Issue 3, December 2004, Pages 475-479
Cited by Scopus (20)
- Influence of Yb³⁺ and Ce³⁺ codoping on fluorescence characteristics of Er³⁺-doped fluoride glass under 980 nm excitation**
Optical Materials, Volume 27, Issue 2, November 2004, Pages 337-342
Nagamatsu, K.;Nagaoka, S.;Higashihata, M.;Vasa, N.J.;Meng, Z.;Buddhudu, S.;Okada, T.;Kubota, Y.;Nishimura, N.;Teshima, T.
Cited by Scopus (17)

Gambar 8: Makalah kami masuk urutan 17 dalam daftar Top 25 Hottest Articles selama Oktober – Desember 2004 dari makalah-makalah yang terbit dalam *Optical Materials*.

Dua pekerjaan kami di atas memotivasi para meneliti melakukan riset pemerangkapan berbagai macam nanopartikel pada berbagai macam media yang tidak terbatas hanya pada ZnO dan silika. Yang kami lakukan adalah merintis jalan yang selanjutnya diikuti oleh peneliti lain untuk diterapkan pada material yang berbeda-beda.

2.7. Memanfaatkan Barang Buangan

Saya teringat ketika kami semua mahasiswa Prof. Okuyama membersihkan laboratorium tahun 2001. Salah satu laboratorium utama kelompok ini adalah gedung F2 yang berada di seberang jalan gedung utama Fakultas Teknik, Hiroshima University. Ketika membersihkan “sampah” yang ada di gedung tersebut, saya menemukan sisa-sisa koloid polistirene dalam beberapa botol kecil. Isinya tidak penuh karena sebagian sudah digunakan oleh orang sebelumnya. Koloid ini berada dalam barang-barang bekas yang akan dibuang. Harga koloid yang merupakan buatan *Japan Synthetic Rubber* ini sangat mahal. Saya berpikir mau diapakan koloid tersebut?

Akhirnya saya “iseng” mengencerkan koloid tersebut dengan air dan meneteskan di atas kaca preparat mikroskop dan dikeringkan di atas *hot plate*. Kemudian saya coba amati dengan SEM. Saya mendapatkan susunan yang sangat teratur dari bola-bola polimer tersebut dalam pola segi enam (*hexagonal*). Ini berarti telah terjadi proses *self-organization* partikel-partikel polistiren. Lalu akan diapakan susunan yang teratur ini?

Akhirnya muncullah ide untuk membuat susunan teratur dari partikel logam ukuran nanometer serta susunan teratur dari cangkang logam. Idennya sebagai berikut. Koloid dengan susunan teratur tersebut saya lapisi dengan logam menggunakan metode *sputtering*. Metode *sputtering* memang biasa digunakan untuk melapisi sampel agar tampak lebih jelas di bawah mikroskop elektron. Namun lama pelapisan umumnya hanya beberapa detik. Sebaliknya, saya melapisi susunan teratur bola polimer tersebut beberapa menit sehingga lapisan logam di permukaannya sangat tebal.

Bola polimer yang dilapisi logam tersebut kemudian dipanaskan pada suhu sekitar 500 °C. Akibatnya, bola polimer menguap (dekomposisi) sedangkan lapisan logam di permukaannya bertahan. Ini akibat titik leleh logam lebih tinggi daripada suhu dekomposisi polimer. Polimer yang terdekomposisi meninggalkan ruang kosong dan akhirnya kita dapatkan cangkang logam yang tersusun secara teratur.

Saya kemudian menaikkan suhu pemanasan hingga 900 °C. Setelah polimer terdekomposisi meninggalkan cangkang logam pada suhu sekitar 500 °C, cangkang logam kemudian mencair pada suhu mendekati 900 °C. Cairan tersebut akhirnya menetes di atas substrat membentuk bola-bola logam yang tersusun secara teratur. Jadi dengan cara ini kita bisa membuat cangkang logam atau bola logam dengan susunan teratur.

Sekali lagi saya minta Dr. Ferry Iskandar mengambil foto SEM yang bagus. Dari hasil ini saya tulis makalah dan mensubmit ke **Advanced**

Materials, salah satu jurnal ilmiah bergengsi di bidang material. Kami mendapat sejumlah komentar dari reviewer, termasuk kekurangan data pengukuran sifat fisis. Setelah melengkapi data yang disarankan reviewer akhirnya makalah tersebut terbit di **Advanced Materials**, Volume 14, nomor 12, halaman 930-933 tahun 2002 dengan judul: “*Single Route for Producing Organized Metallic Domes, Dots, and Pores by Colloidal Templating and Over Sputtering*”. Makalah tersebut mendapat sitasi yang cukup tinggi pula dengan jumlah sitasi 23.

Pelajaran yang sangat berharga yang saya petik di sini adalah dengan kreativitas kita dapat melakukan riset yang cukup baik meskipun dengan memanfaatkan barang-barang sisa. Setelah memikirkan dengan seksama, “barang yang harus dibuang” tersebut bisa kami manfaatkan untuk menghasilkan makalah yang cukup baik. Ini berarti, kesuksesan dari riset tidak hanya ditentukan oleh fasilitas, dana, dan sebagainya. Tetapi kesuksesan riset sangat ditentukan oleh inovasi dan kreativitas. Alat canggih dan dana besar menjadi tidak bermakna manakala kreativitas tidak ada. Sebaliknya alat sederhana dan dana kecil bisa menghasilkan riset bermutu ketika inovasi dan kreativitas muncul.

2.8. Melanggar Hukum Perbandingan Reaksi Kimia

Beberapa makalah saya didasarkan pada prinsip yang cukup sederhana. Jika kita mereaksikan sumber Na dan sumber Cl secara terkontrol dengan perbandingan molar 1:1 dan reaksi dibiarkan

berlangsung lama maka kita bisa mendapatkan kristal NaCl yang sempurna dan berukuran besar. Sama dengan ketika kita membuat bangunan besar, bagus, dan kuat, maka kita perlu melakukan perhitungan secara teliti bahan-bahan yang digunakan serta mengontrol proses pencampuran dengan teliti pula. Sebaliknya, jika kita ingin membuat bangunan asal-asalan dan cepat hancur berkeping-keping, kita langgar saja aturan yang ada. Misalkan campurkan bahan yang menyimpang dari seharusnya, satu bahan jauh lebih banyak dan yang lain. Hasilnya bisa jadi bukan bangunan yang kita peroleh tetapi kepingan-kepingan kecil benda yang gagal menjadi bangunan besar. Nah dari sinilah ide muncul.

Material nano dapat dikatakan sebagai keping-kepingan kecil material. Material nano bukanlah bangunan besar (kristal besar). Material nano dapat dikatakan sebagai material yang tidak sempat tumbuh besar atau material ukuran kerdil. Oleh karena itu, mungkin material ukuran nanometer dapat dibuat dengan mencampur *precursor* (zat pereaksi) dengan komposisi yang menyimpang dari seharusnya sehingga pertumbuhan kristal menjadi terganggu dan yang tersisa hanyalah material-material kecil.

Saya mencoba hipotesis ini dengan membuat partikel ZnO menggunakan precursor *zinc acetate* dan litium hidroksida. Material ZnO dapat dibuat dengan baik menggunakan perbandingan molar 1:1. Tetapi saya coba buat dengan perbandingan hingga 1:10 (satu bagian *zinc acetate* dan 10 bagian litium hidroksida). Perbandingan ini benar-benar

melanggar aturan reaksi kimia. Dan hasilnya ternyata luar biasa. Nanopartikel ZnO dengan ukuran sangat kecil dapat diperoleh. Kenapa demikian?

Karena litium hidroksida sangat banyak maka hanya sebagian litium hidroksida yang bereaksi dengan *zinc acetate*. Litium hidroksida yang tersisa menjadi matriks pembungkus nanopartikel ZnO yang baru saja tumbuh sehingga antara partikel ZnO satu dengan ZnO lain tidak dapat bertemu untuk membentuk partikel yang lebih besar. Bisa dikatakan yang kita peroleh adalah nanopartikel ZnO terpisah yang tertanam dalam matriks litium hidroksida.

Hasil riset ini kami publikasikan dalam **Jurnal of Physical Chemistry B**, Volume 107, nomor 9, halaman 1957-1961 tahun 2003 dengan judul: "*In Situ Synthesis of Polymer Nanocomposite Electrolytes Emitting a High Luminescence With a Tunable Wavelength*". Hasil ini mendapat apresiasi yang baik dari para peneliti yang ditandai dengan jumlah sitasi hingga 40 (awal September 2011).

2.9. Mengimpikan Display sekaligus Baterai

Nanokomposit polimer elektrolit adalah polimer elektrolit yang mengandung nanopartikel non konduktor. Material ini banyak dipakai sebagai bahan elektrolit dalam baterai litium generasi baru. Partikel yang banyak digunakan para peneliti adalah partikel isolator seperti karbon, silika, alumina, dan lain-lain. Saya mencoba mengganti partikel tersebut

dengan nanopartikel semikonduktor luminisens, yaitu ZnO. Kenapa ZnO? Karena ZnO memancarkan pendaran hijau sampai kekuning-kuningan. Dengan demikian nanokomposit polimer elektrolit yang kami buat dapat memancarkan warna sehingga kita mendapatkan dua fungsi sekaligus. Sifat konduktif dapat diaplikasikan sebagai baterai dan sifat pendaran warna dapat diaplikasikan sebagai display.

Dari situ saya mengimpikan membuat display yang sekaligus berfungsi sebagai baterai. Atau membuat baterai yang dapat diketahui kondisinya berdasarkan pendaran warna yang dihasilkan. Asumsi saya adalah jika baterai sudah lama dipakai maka sifat kimia atau fisis elektrolit yang ada di dalamnya akan berubah. Karena elektrolit tersebut mengandung nanopartikel yang memendarkan cahaya, maka cahaya yang melewati elektrolit mengalami perubahan intensitas atau warna. Berdasarkan perubahan cahaya yang lewat tersebut kita dapat simpulkan kondisi baterai yang bersangkutan.

Ide ini benar-benar saya tulis dalam makalah saya yang diterbitkan di **Advanced Functional Materials**, Volum 13, nomor 10, halaman 800-804 tahun 2003 dengan judul: "*Generating Blue and Red Luminescence from ZnO/Poly(Ethylene Glycol) Nanocomposites Prepared Using an Insitu Method*". Rupanya ide ini diamini oleh banyak peneliti di seluruh dunia yang ditandai sitasi yang sangat tinggi. Hingga awal September 2011, jumlah sitasi mencapai 78. Ini adalah paper tersukses kedua yang saya hasilkan, setelah paper pertama bersama Dr. Ferry Iskandar yang terbit di **Nano**

Letters tahun 2001 dengan sitasi 95.

2.10. Mengadopsi Teori Fenomena Lain

Saya bersyukur mengambil bidang fisika sehingga memiliki kemampuan analitik dan modeling yang memadai. Kemampuan ini banyak saya gunakan dalam riset saya. Ketika saya ingin memecahkan masalah fisika yang saya hadapi, kadang saya belajar teori yang ada di masalah lain dan mencari analogi yang tepat sehingga teori tersebut dapat diterapkan ke persoalan yang ingin saya pecahkan. Saya punya beberapa pengalaman di sini. Salah satu contohnya adalah ketika menyelesaikan beberapa pengamatan sifat kelistrik silikon berpori.

Dalam usaha ini saya “meminjam” teori pembentukan gel dari monomer-monomer untuk diterapkan dalam menjelaskan sifat kelistrikan silikon berpori. Bagaimana caranya? Saya memodelkan silikon berpori sebagai untaian bola-bola silikon (nanopartikel silikon) yang sambung menyambung membentuk jaringan acak. Bola-bola silikon tersebut ada yang bersifat konduktif dan ada yang bersifat isolatif. Makin tinggi suhu silikon maka makin banyak bola-bola yang bersifat konduktif. Untuk menerapkan teori pembentukan gel polimer, saya menganalogikan bola silikon konduktif sebagai monomer yang digunakan saat pembuatan gel. Makin tinggi suhu silikon berarti makin banyak bola silikon konduktif dan ini identik dengan makin banyak monomer yang digunakan dalam pembuatan gel.

Pada proses pembentukan gel, sebagian monomer membentuk polimer pendek, sebagian membentuk polimer panjang, sebagian membentuk jaringan tak berhingga, bahkan sebagian tetap sebagai monomer terpisah. Dengan asumsi yang sama, bola silikon konduktif sebagian membentuk persambungan pendek, sebagian membentuk persambungan panjang, sebagian membentuk persambungan tak berhingga, dan sebagian muncul sebagai bola terisolasi (tidak berkontak dengan bola konduktif lainnya). Dengan model ini tampak bahwa bola silikon konduktif sama statusnya dengan monomer ada pembentukan gel. Oleh karena itu tidak salah jika kita menggunakan teori pembentukan gel (jaringan tak berhingga monomer) untuk memprediksi pembentukan jaringan tak berhingga bola silikon konduktif.

Dari kajian ini kami mempublikasikan satu makalah di **Europhysics Letters**, Volume 54, nomor 2, halaman 234-240 tahun 2001 dengan judul: “*Temperature-dependent Electrical Conduction in Porous Silicon: non-Arrhenius Behavior*”. Dan yang menarik adalah, makalah ini menjadi **Top 8 makalah yang paling banyak diunduh** sepanjang tahun 2007 dari semua makalah yang diterbitkan di **Europhysics Letters**. Data ini muncul tahun 2008 dalam situs IOP (*Institut of Physics*) yang menerbitkan jurnal tersebut.

2.11. Riset di Tanah Air

Yang sering menjadi problem dalam kelanjutan riset adalah saat kembali ke tanah air setelah menyelesaikan studi di luar negeri. Banyak

masalah yang kadang tidak siap dihadapi, seperti minimnya fasilitas, kurangnya dukungan dana, dan kurangnya penghargaan pada orang yang bekerja pada bidang riset. Diperlukan semangat besar untuk konsisten dalam kegiatan riset agar tetap bisa memberikan kontribusi.

Saya kembali ke tanah air pertengahan 2004. Hal pertama yang saya pikirkan adalah bagaimana melanjutkan riset di bidang nanomaterial di ITB yang belum memiliki fasilitas pendukung yang memadai. Saya merasa bersyukur ketika mengambil program doktor dan *post doctoral* di Hiroshima University melakukan riset hanya dengan peralatan sederhana. Memang banyak fasilitas riset canggih di sana, tetapi saya memilih menggunakan fasilitas sederhana, bahkan membuat alat-alat riset sendiri. Kemampuan ini yang menjadi modal besar saya mengembangkan riset nano di Indonesia dari kondisi nol.

Saya mulai membangun **Laboratorium Sintesis dan Fungsionalisasi Nanomaterial** di gedung Fisika dan mencoba melengkapi laboratorium dengan peralatan yang sangat sederhana yang dibuat sendiri. Sebagian bahan eksperimen awal dikirim oleh mantan supervisor di Jepang, Prof. Kikuo Okuyama. Sebagian peralatan saya beli dengan menyisihkan dana penelitian yang diperoleh dari ITB dan institusi lain. Pengukuran dilakukan dengan mengirim sampel ke instansi lain yang memiliki fasilitas yang diperlukan.

Saya menyadari bahwa tidak mungkin kita berlomba riset dengan peneliti-peneliti di luar negeri yang didukung dengan dana dan fasilitas

yang jauh lebih baik. Tidak mungkin kita berlomba dalam riset topik-topik terkini (*frontier*) dengan mereka, karena pasti kita kalah. Dan memang kita tidak harus melakukan riset topik yang sama dengan mereka karena kepentingan kita dan mereka berbeda. Mereka melakukan riset topik *frontier* karena mungkin Negara atau industri mereka akan menggunakan hasil itu. Namun, topik tersebut belum tentu diperlukan oleh Negara atau industri di kita. Saya berpendapat, akan lebih baik kita melakukan riset yang bisa dimanfaatkan oleh bangsa atau industri kita.

Ada dua jenis riset yang saya pilih dan saya tidak peduli apakah riset tersebut dianggap ketinggalan jaman atau tidak canggih. Saya memilih riset yang diharapkan dapat memecahkan permasalahan bangsa dan riset yang dapat dilakukan dengan dana dan fasilitas terbatas. Saya percaya bangsa ini tidak melulu membutuhkan riset-riset canggih. Riset tentang air, lingkungan, energi, pangan, dan sebagainya masih merupakan riset yang sangat penting untuk memecahkan permasalahan bangsa ini.

Sebagai ilmuwan, kita pun menginginkan hasil riset kita dapat diterbitkan di jurnal-jurnal ilmiah internasional. Karena tidak dapat dipungkiri bahwa salah satu ciri ilmuwan adalah menghasilkan karya ilmiah yang original. Yang menjadi pertanyaan adalah dapatkan riset dengan peralatan sederhana, dana terbatas, dan tidak canggih menghasilkan makalah untuk jurnal internasional. Saya kira ini tantangan.

Saya akhirnya menyadari, dengan memilih topik yang tepat, menarik,

walaupun sederhana, bisa juga kita menghasilkan makalah untuk publikasi internasional. Yang saya tekankan adalah, meskipun percobaan yang dilakukan sederhana, namun jika kita gabung dengan teori yang bagus untuk menjelaskan hasil percobaan tersebut maka makalah kita menjadi sangat bagus. Beberapa makalah yang saya terbitkan didasarkan pada pendekatan tersebut. Contohnya adalah makalah yang terbit di **International Journal of Chemical reactor Engineering**, **Journal of Materials Cycles and Waste Management**, dan **Environment Progress** adalah contoh makalah yang dihasilkan dari percobaan sederhana. Kemudian kita bangun teori untuk menjelaskan hasil percobaan tersebut. Kesesuaian antara hasil percobaan dan teori merupakan salah satu kekuatan makalah tersebut.

Saya teringat salah satu makalah yang diterbitkan di majalah prestisius **Nature** oleh Deegan, dkk [Deegan dkk, 1997]. Makalah tersebut hanya membahas pembentukan pola cincin dari tetes kopi yang jatuh pada permukaan gelas. Tidak ada alat canggih yang diperlukan dalam riset ini. Namun yang bersangkutan menggunakan teori sederhana yang diadopsi dari teori difusi dan kelistrikan untuk menjelaskan fenomena pembentukan kerak berbentuk cincin tersebut. Pendekatan riset seperti ini perlu kita pilih untuk mengatasi keterbatasan. Kita tidak terlalu bergantung pada fasilitas dan dana besar, karena dengan fasilitas minim dan dana terbatas, kita akan bisa menghasilkan karya-karya yang signifikan.

Berkaitan dengan permasalahan yang dihadapi bangsa, saya fokuskan riset pada pengembangan sel surya murah serta pengolahan air polusi menjadi air jernih menggunakan energi matahari. Saya memiliki cita-cita membangun sel surya yang berukuran besar dengan harga sangat murah dan dibuat dengan metode yang sederhana. Saya menfokuskan pada metode penyemprotan (*spray*). Kami membuat sel surya seperti mengecat tembok atau papan. Negara kita memiliki pancaran matahari sepanjang tahun dengan arah hampir tegak lurus. Kita diberikan energi gratis oleh Yang Maha Kuasa, dan yang diminta dari kita adalah melakukan riset untuk membuat alat penangkap energi tersebut.

Akan lebih baik jika kita mampu membuat sel surya sendiri dengan metode yang kita kembangkan sendiri dan menggunakan bahan baku yang kita miliki. Jika ini dilakukan maka kita akan memiliki keunggulan dan tidak akan bergantung pada Negara lain.

Usaha kami ke arah ini sudah membuahkan hasil yang cukup baik. Terakhir, prototipe sel surya yang kami buat telah mencapai efisiensi konversi energi matahari ke energi listrik sekitar 4%. Memang nilai efisiensi ini masih lebih kecil daripada efisiensi sel surya yang dijual di pasaran sekitar 10-15%. Namun, jika dibandingkan di sisi harga, maka sel surya yang kami buat jauh lebih ekonomis. Riset lebih mendalam terus kami lakukan untuk meningkatkan efisiensi tersebut. Jika kita mampu menghasilkan efisiensi mendekati 10% maka kita melakukan revolusi pembuatan sel surya dan pemanfaatan energi matahari. Kita tidak akan

mengalami krisis energi. Kita dapat meninggalkan sumber energi fosil dan energi tak terbarukan lainnya.

Kami melakukan riset dengan dukungan dana riset atau pun tanpa dukungan dana riset. Dalam kondisi tanpa dukungan dana riset, kami menggunakan dana-dana dari sumber lain, termasuk pemanfaatan sisa dana riset topik lain.

Riset lain yang kami lakukan adalah menjernihkan air dengan energi matahari. Seperti disebutkan sebelumnya, energi matahari kita peroleh secara gratis. Baik riset tentang sel surya maupun penjernihan air, kata kuncinya adalah bagaimana menemukan material yang dapat menangkap energi matahari sebanyak-banyaknya.

Riset penjernihan air dengan energi matahari kita lakukan dengan mencari material fotokatalis yang dapat menyerap energi matahari secara efisien (sebanyak-banyaknya). Penyerapan tersebut menyebabkan material menjadi aktif dan melepaskan partikel-partikel yang dapat menghancurkan unsur-unsur polutan di air secara perlahan-lahan. Memang prosesnya relatif lambat, namun yang kita lakukan hanyalah menjemur air tersebut di bawah sinar matahari dan dalam waktu beberapa hari air menjadi jernih. Di sini tidak ada energi lain yang digunakan dalam proses kecuali sinar matahari itu sendiri. Riset ini telah terbukti berkali-kali dalam skala laboratorium. Yang kami lakukan sekarang adalah melakukan *scaling up* mendekati skala riil di lapangan. Jika ini sukses maka kita akan melakukan revolusi dalam teknologi

pengolahan air.

Selama mengembangkan riset ditinjau air, saya banyak bekerja sama dengan Prof. Khairurrijal dari KK yang sama. Kerja sama yang sangat konstruktif tersebut memungkinkan kami mencapai hasil-hasil yang berarti.

3. BEBERAPA RINTISAN

3.1. Merintis Jurnal Nanosains & Nanoteknologi

Untuk mendesiminasikan hasil riset para peneliti tanah air dalam bidang nanosains dan nanoteknologi, pada tahun 2008 kami merintis penerbitan **Jurnal Nanosains & Nanoteknologi** (<http://ijp.fi.itb.ac.id/index.php/nano>). Jurnal dengan ISSN 1979-0880 terbit dua kali setahun pada bulan Februari dan Juli. Terbitan pertama pada Februari 2008. Pada tahun 2008 dan 2009 jurnal tersebut terbit dalam bahasa Indonesia dan Inggris dan sejak tahun 2010 makalah hanya diterbitkan dalam bahasa Inggris. Langkah ini diambil seiring makin dikenalnya jurnal tersebut dan sudah mulai datang kiriman makalah dari para peneliti di luar negeri.

Seiring dengan perkembangan penerbitan, kami juga mendaftarkan jurnal tersebut ke beberapa database ilmiah internasional sehingga jurnal makin dikenal oleh kalangan pembaca di seluruh dunia. Implikasi lain masuknya jurnal tersebut ke data base internasional adalah terdapatnya jurnal tersebut di beberapa perpustakaan institusi besar dunia.

Di tahap awal penerbitan kami mengalami masalah yang sebenarnya klasik. Karena jurnal tersebut belum terakreditasi maka sangat sulit mendapatkan kiriman makalah dari para peneliti. Jurnal yang belum terakreditasi memiliki angka kredit yang rendah yaitu **10**. Para penulis lebih melirik jurnal yang terakreditasi dengan angka kredit **25**. Akibatnya, kami yang merintis jurnal tersebut harus melakukan segala cara untuk membuat jurnal tersebut tetap terbit. Salah satu yang ditempuh adalah “mengorbankan” makalah kami yang sebenarnya dapat diterbitkan di jurnal terakreditasi untuk diterbitkan di **Jurnal Nanosain & Nanoteknologi**. Akibatnya, banyak makalah di jurnal ini yang bersumber dari kami sendiri. Dan ini terpaksa dilakukan agar jurnal tidak mati suri dan kami terpaksa “merugi” kalau hanya menghitung angka kredit. Pada akhirnya kami menyadari bahwa “berkorban” adalah kata kunci merintis sesuatu.

3.2. Merintis Jurnal Pengajaran Fisika Sekolah Menengah

Sebagai seorang pendidik yang juga memiliki tanggung jawab pendidikan sesuai dengan amanat Tri Darma Perguruan Tinggi, kami juga merintis jurnal pengajaran tahun 2009. Jurnal tersebut dinamai **Jurnal Pengajaran Fisika Sekolah Menengah** (<http://ijp.fi.itb.ac.id/index.php/jpfsm>) dan terbit empat kali setahun. Kami menyadari bahwa banyak teman kita yang memiliki pengalaman atau “temuan” yang penting ketika mengajar. Tidak ada salahnya temuan tersebut disharing ke pengajar lain

maupun ke guru-guru SMA agar mereka dapat menerapkan dalam kegiatan pengajaran mereka. Inilah yang menjadi tujuan pembentukan jurnal ini.

3.3. Merintis Simposium Nano

Pada tahun 2008 kami merintis simposium nasional bidang nano sains dan nanoteknologi. Kami memberanikan diri mengadakan simposium tersebut dengan persiapan terbatas dan tanpa dukungan sponsor. Biasanya para sponsor “sangat pelit” mendukung kegiatan-kegiatan yang diadakan jurusan Fisika. Mungkin ini sudah “takdir” jurusan-jurusan sains. Tapi kami tidak peduli. Kami tetap menjalankan simposium atau seminar tanpa melibatkan sponsor. Seminar pertama tanggal 9 Juni 2008 di hotel Karangsetra Bandung. Sebagian peserta berasal dari luar negeri. Saya kira simposium ini yang cukup sukses walaupun ada sedikit defisit anggaran karena hanya mengandalkan biaya pendaftaran peserta.

Simposium kedua dilaksanakan 3 Juni 2009 dan bertempat di Universitas Islam Bandung (Unisba). Kami melaksanakan di Unisba karena kami disediakan tempat gratis (tidak perlu membayar sewa ruangan). Berarti kami sedikit tertolong dari segi biaya. Pembicara dari luar negeri juga datang dalam simposium ini.

Pada tahun 2010, kami mengubah simposium tersebut menjadi simposium internasional dengan nama **Nanosciencmce and Nanotechnology Symposium 2010** dan dilaksanakan di ITB tanggal 16

Juni 2010. Pada simposium 2008 dan 2009, makalah-makalah peserta kami terbitkan di **Jurnal Nanosains & Nanoteknologi**. Namun, pada symposium 2010, makalah tersebut kami terbitkan di **Conference Proceedings of the American Institute of Physivs, USA** sehingga karya para peserta dikenal lebih luas oleh masyarakat internasional. Penerbitan tersebut juga menambah record publikasi ilmiah ITB yang tercatat di database internasional. Karena sifatnya internasional dan diterbitkan di Proceedings internasional, banyak peserta dari luar negeri yang berpartisipasi dalam simposium tersebut.

Simposium keempat dilaksanakan di Bali tanggal 23-25 September 2011. Kami memilih Bali karena lebih kondusif bagi peserta internasional dibandingkan dengan Bandung. Dan memang benar, sekitar setengah peserta berasal dari luar negeri.

Di sini pun tidak ada sponsor yang terlibat. Kami pernah mengajukan sponsorship namun ditolak. Tapi kami bisa mengatakan pada para sponsor, kami bisa jalan tanpa kehadiran anda. Kami melakukan subsidi silang dengan menerapkan tarif tinggi pada peserta asing dan tarif lebih rendah pada peserta dalam negeri. Itu sebabnya, banyaknya peserta asing yang ikut merupakan keuntungan.

3.4. Menulis Buku Sains dan Fisika Sekolah Dasar dan Menengah

Di samping melakukan riset bidang ilmu baru, saya juga melakukan “pekerjaan selingan” dengan menulis buku sains dan fisika untuk siswa

sekolah dasar, sekolah menengah, dan untuk perguruan tinggi. Hingga saat ini saya sudah menulis 34 buku. Buku-buku fisika sekolah menengah (SMP dan SMA) diterbitkan oleh ESIS (grup penerbit Erlangga) dan buku lainnya diterbitkan oleh penerbit-penerbit lain.

Menulis buku kadang sangat melelahkan dan bisa sangat membosankan karena kita melakukan hal yang sama secara terus-menerus. Saya menyelesaikan penulisan buku Fisika SMP selama 6 tahun. Buku-buku fisika SMA saya selesaikan dalam waktu 3 tahun. Selama selang waktu itu kita belum mendapatkan imbalan apa-apa, kecuali menulis dan menulis. Tapi rasa bahagia saya alami ketika semuanya rampung dikerjakan. Dan saya merasa menjadi orang yang sangat bermakna manakala melihat orang lain membaca buku yang saya tulis.

3.5. Membangun Mikra Academy

Mikra Academy (www.mikrajuddin.net) adalah pekerjaan lain yang saya lakukan untuk membantu para guru fisika. Saya menyediakan sejumlah bahan ajar fisika dalam bentuk file presentasi yang dapat diunduh secara gratis oleh para guru. Para guru juga dipersilahkan menambah atau mengurangi isi file tersebut sesuai dengan kebutuhan. Saya juga menerima kiriman bahan dari para guru untuk disimpan dalam website tersebut. Harapannya adalah bahan-bahan tersebut dapat bermanfaat bagi guru-guru lainnya.

Apa yang saya lakukan mungkin merupakan hal-hal yang sepele bagi

sebagian orang. Tetapi saya memiliki keyakinan bahwa hal-hal yang menurut kita sepele, remeh-temeh bagi sebagian orang bisa jadi merupakan solusi bagi persoalan besar yang dihadapi orang lain. Tidak ada ilmu yang sia-sia, seremeh apa pun ilmu itu. Dan para penemu ilmu menjadi pahlawan bagi para pemakai ilmu, meskipun ilmu itu sepele.

4. PENUTUP

Tidak pernah terbayang oleh saya ketika masih di sekolah dasar dan sekolah menengah akan menjadi guru besar di Perguruan tinggi ternama di negeri ini. Saat mendekati lulus SD di Dompus dan saat duduk di bangku SMP di Dompus juga saya sangat mengagumi Habibie sebagai ahli pembuat pesawat. Habibie adalah sosok luar biasa bagi kami anak sekolah di daerah. Apalagi saat ini, IPTN telah berhasil membuat pesawat CN235 dan sedang menyelesaikan pesawat N250. Saya begitu terkesima melihat penerbangan perdana CN235 dan N250. Muncul keinginan kuat saya untuk menjadi seperti Habibie.

Keinginan menjadi seperti Habibie begitu menggebu ketika akan lulus SMP. Untuk meraih mimpi tersebut saya harus kuliah di ITB. Namun saya menyadari bahwa kalau saya meneruskan SMA di Dompus, hampir tidak mungkin saya kuliah di ITB. Belum ada dalam sejarah siswa dari Dompus yang diterima di ITB. Salah satu pilihan yang memberikan peluang adalah saya harus melanjutkan sekolah di Mataram, Lombok.

Walaupun sangat sedikit dan tidak selalu ada tiap tahun, namun masih ada siswa sari SMA Mataram yang diterima di ITB. Akhirnya saya mengikuti test di SMA Mataram dan diterima. Saya meninggalkan Dompus sejak lulus SMP dan kost di Mataram selama SMA.

Saat SMA di Mataram, saya mengagumi Albert Einstein. Ahli Fisika luar biasa ini begitu membuat saya terkesima. Saya membayangkan betapa bangganya jika bisa menemukan teori fisika seperti Einstein. Keinginan luar biasa ini memacu saya belajar fisika jauh melampaui apa yang dilakukan teman-teman SMA saya. Dan Alhamdulillah, pada akhirnya saya diterima di Jurusan Fisika ITB melalui jalur PMDK (penelusuran minat dan kemampuan). Pada saat itu saya merupakan satu-satunya siswa NTB yang diterima di ITB. Begitu sulitnya bagi kami dari daerah untuk masuk ke perguruan tinggi ini.

Selama kuliah di ITB tidak ada yang luar biasa yang saya raih. Saya menyelesaikan S1 dalam waktu yang sedikit lebih lambat. S2 juga saya selesaikan dalam waktu yang sedikit lebih lama pula. S1 dan S2 saya selesaikan tanpa predikat Cum Laude. Saat melamar sebagai dosen saya tidak membayangkan akan menjadi guru besar. Menjadi dosen ITB pun sudah merupakan prestasi luar biasa bagi saya.

Saya merasa baru menghasilkan karya yang baik sejak menjadi mahasiswa doktor di Hirohima University, Jepang tahun 1998. Sejak saat itu hingga sekarang saya masih bisa menghasilkan karya-karya yang memang seharusnya dilakukan oleh seorang dosen dan peneliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang luar biasa ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Pimpinan dan Anggota Majelis Guru Besar ITB atas kehormatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan pidato ilmiah di hadapan hadirin sekalian.

Saya menjadi seperti ini tentu tidak lepas dari peranan para guru dan pendidik yang berjasa besar memberikan pendidikan dan pengajaran dengan tulus ikhlas ketika saya bersekolah di SDN 6 Dompu, SMPN 1 Dompu, dan SMAN 1 Mataram.

Ucapan terima kasih secara khusus saya sampaikan kepada pembimbing saya selama menyelesaikan S1 dan S2 di Fisika ITB yang telah memberikan rasa haus pada ilmu, yaitu Prof. Tjia May On. Karir riset saya mulai terasa signifikan ketika saya menimba ilmu di Hiroshima University, Japan. Oleh karena itu terima kasih yang besar juga saya sampaikan kepada supervisor saya Prof. Kikuo Okuyama.

Ucapan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang sebesar-besarnya saya sampaikan khusus kepada guru-guru saya: Prof. M. Barmawi, Prof. Hariadi P. Supangkat, Prof. Waloejo Loeksmanto, Prof. Sukirno (alm.), Dr. Sutrisno, Prof. Lilik Hendradjaya, Prof. Freddy P. Zen, Prof. P. Silaban, dan Prof. The Houw Liong.

Terima kasih juga saya sampaikan pada Prof. Frank G. Shi dari Henry

Samueli School of Engineering, University of California, Irvine, USA yang benar-benar “memompa” semangat saya di awal-awal program doktor di Hiroshima University untuk berkarya sebanyak-banyaknya. Terima kasih juga atas penerimaannya yang hangat selama saya berkunjung ke UCI tahun 1999.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Wuled Lenggoro dari Hiroshima University (sekarang di Tokyo University of Agriculture and Technology) atas kerja sama riset yang luar biasa selama di Hiroshima.

Kepada Prof. Lilik Hendrajaya dan Prof. Freddy P. Zen yang telah memberikan rekomendasi atas pengajuan guru besar saya, saya sampaikan terima kasih sebesar-besarnya.

Terima kasih pada pimpinan FMIPA sebelumnya dan saat ini atas suasana kondusif yang memungkinkan kita bekerja secara nyaman di fakultas maupun di prodi. Terima kasih pada Prof. Pudji Astuti (mantan dekan FMIPA) dan Prof. Umar Fauzi (dekan MIPA) serta seluruh jajarannya. Terima kasih juga saya sampaikan para pimpinan Program Studi Fisika, Dr. Abdul Waris beserta para pengurus di Prodi Fisika. Tak juga lupa kepada seluruh dosen dan karyawan di FMIPA ITB yang tidak henti-hentinya memberi dukungan.

Terima kasih juga kepada rekan-rekan Prof. Toto Winata, Prof. Khairurrijal, Dr. Euis Sustini, Dr. Pepen Arifin, Dr. Maman Budiman, Dr. Yudi Darma, Dr. Ferry Iskandar, dan Dr. Fatimah A. Noor atas kebersamaan dalam memajukan KK Fisika Material Elektronik, FMIPA

ITB sehingga banyak hasil-hasil besar yang telah kita raih.

Kepada rekan di Lembaga Pengkajian Pendidikan, Penelitian, dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP4) ITB saya sampaikan penghargaan luar biasa atas kerja samanya. Terima kasih kepada Prof. Bambang T. Riyano, Prof. Sri Widiyantoro, Dr. Hermawan K. Dipojono, Dr. Ahmad Muchlis, Dr. Drajad Irianto, dan Dr. Asep K. Permana serta sekretaris LP4.

Terima kasih secara khusus juga saya sampaikan kepada saudara Syarifuddin dari penerbit ESIS Jakarta. Saya percaya kerjasama kita selama ini telah memberikan sedikit sumbangan dalam mencerdaskan bangsa, khususnya dalam penyediaan buku ajar untuk siswa-siswi sekolah menengah.

Terima kasih yang tulus atas kasih sayang, dukungan dan doa tiada akhir dari orang tua tercinta H. Abdullah Hasan (alm) dan Hj. Siti Habibah. Mudah-mudahan rahmat dan ampunan Allah selalu tercurah pada Ayahanda dan Ibunda berdua. Terima kasih juga saya sampaikan pada Ayah dan Ibu Mertua H. M. Saleh H. Hasan dan Hj. Fatimah atas dukungan, doa, dan nasehat yang sangat berguna bagi kami dalam mengarungi hidup ini.

Terima kasih atas segala dukungan dan perhatian saya sampaikan kepada kakak dan adik: Lutfi, Sumarni, Hakim, Sahrir, Farid (alm), Siti Faridah, Siti Fatimah, Khairuddin, dan Awaluddin. Kepada kakak dan adik ipar saya (Nurkasnah, Sirajuddin, Sri Endang Wahyuningsih, Raisatul Wahidah, dan Eka Susilawati), saya ucapkan terima kasih pula

atas segala dukungan. Untuk adik sepupu saya yang selalu hadir pada saat saya perlukan, M. Sahril Akbar, saya sampaikan terima kasih sebesar-besarnya.

Di balik keberhasilan seorang laki-laki, ada dua wanita hebat di belakangnya. Dia adalah ibu dan istri. Kepada istriku, Sri Rumiati, tidak ada lagi kata-kata yang bisa diutarakan untuk mengungkapkan pengabdianmu yang tulus dalam membangun rumah tangga. Suka dan duka telah kita lewati bersama dan Alhamdulillah kita masih tegar menjalani hidup dengan penuh keikhlasan dan rasa syukur. Kepada anak-anakku, Shafira Khairunnisa, Fathan Akbar, dan Ardi Khalifah, kalian menjadi pendorong semangat dan pembangkit motivasi papa untuk bekerja dan mengabdikan. Papa begitu bahagia dengan kalian semua.

DAFTAR PUSTAKA

- [Holm, 1967] R. Holm, *Electric Contacts*, Springer-Verlag, Berlin (1967).
- [Sharvin, 1965] Y.V. Sharvin, *Sov. Phys. JETP* **21**, (1965) p. 655.
- [Mikrajuddin dkk, 1999a] Mikrajuddin, F.G. Shi, H. K. Kim, and K. Okuyama, *Mater. Sci. Semicond. Process.* **2**, (1999), pp. 321-327.
- [Liang, 1973] C.C. Liang, *J. Electrochem. Soc.* **120**, (1973), p. 1289.
- [Furusawa dkk, 1991] S. Furusawa, S. Miyaoka, and Y. Ishibashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **60**, (1991), p. 1666.
- [Mikrajuddin dkk, 1999b] Mikrajuddin, F. G. Shi, S. Chungpaibonpatana, K. Okuyama, C. Davidson, and J.M. Adams, *Mater. Sci. Semicond.*

Process, **2**, (1999), p. 309.

[Deegan dkk, 1997] R. D. Deegan, O. Bakajin, T. F. Dupont, G. Huber, S. R. Nagel, T. A. Witten, *Nature* **389** (1997), pp. 827–829

CURRICULUM VITAE



Nama : **MIKRAJUDDIN ABDULLAH**

Tempat/tgl. lahir : Dompu, 18 Oktober 1968

Alamat Kantor : Gedung Fisika, FMIPA ITB
Jl. Ganesa 10, Bandung 40132

Pekerjaan : Staf Pengajar FMIPA ITB

Bidang Keahlian : Fisika Nanomaterial

Nama Istri : Sri Rumiyati

Nama Anak : 1. Shafira Khairunnisa

2. Fathan Akbar

3. Ardi Khalifah

1. RIWAYAT PENDIDIKAN:

- Sarjana Fisika, ITB, Bandung, 1992
- Magister Fisika, ITB, Bandung, 1995
- Doctor of Engineering, Hiroshima Univ., Jepang, 2002

2. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya, 1993
- Lektor Kepala, 2007
- Guru Besar, 2010

3. RIWAYAT PENUGASAN DI ITB

- Staf Pengajar FMIPA ITB, 1994 - sekarang

- Ketua Kelompok Keahlian Fisika Material Elektronik, FMIPA ITB, 2010 – sekarang
- Sekretaris Senat FMIPA ITB, Februari 2011-sekarang
- Sekretaris bidang Penelitian pada Lembaga Pengkajian Pendidikan, Penelitian, dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP4) ITB, Januari 2010 – sekarang
- Anggota, Ketua, dan Wakil Ketua beberapa Tim *Ad Hoc* di ITB

4. PENGHARGAAN

- Juara 1 Dosen Berprestasi tingkat Nasional tahun 2010
- Satyalencana Karya Satya 10 tahun Presiden RI tahun 2010

5. HIBAH PENELITIAN

- 1) Investigator, Hibah Doktor Unggulan (Outstanding Doctoral Fellowship) Research Grant, Research on Supercapacitors Based on Nanoporous Carbon of Coconut Shell, (Investigator: PI: Khairurrijal), 2010-2012.
- 2) Investigator, Hibah Riset & Inovasi KK ITB Research Grant, Research on Development of an Instrument for Characterizing Ferroelectric Materials, (PI: Khairurrijal), 2011.
- 3) Investigator, Hibah Asahi Glass Foundation Research Grant, Research on Modeling of High Speed MOS Capacitors with High-K Dielectrics, (PI: Khairurrijal), 2011.
- 4) Principal Investigator, Hibah Riset & Inovasi KK ITB Research Grant, Research on Development of Reusable Water Filter Using Nanoparticle TiO₂, 2011.
- 5) Principal Investigator, Hibah Pascasarjana Research Grant,

Research on Fabrication of BCNO Phosphor Material for Application of White LED, 2011.

- 6) Investigator, Hibah Riset KK ITB Research Grant, Research on Supercapacitors Based on Nanoporous Carbon of Coconut Shell, (PI: Khairurrijal), 2010.
- 7) Principal Investigator, Hibah Program Pengabdian kepada Masyarakat Research Grant, Peningkatan Daya Saing Industri Keramik Lokal, 2010.
- 8) Principal Investigator, Insentif Buku Teks DP2M, Karakterisasi Nanomaterial: Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data, ISBN: 978-602-97181-0-2, Penerbit: CV Rezeki Putera, Bandung, 2010.
- 9) Principal Investigator, Asahi Glass Research Grant, Development of Solar Cell using Wide Absorption Band Nanoparticles, 2010.
- 10) Principal Investigator, Hibah Riset Strategis Nasional ITB Research Grant, Research on Development of Wide Area Solar Cell Using Spray Method of Wide Absorption Spectra Titanium Dioxide as Active Material, 2010.
- 11) Investigator, Hibah Fundamental Research Grant, Research on Simulation of Fabrication of Nanofibers Using Electrospinning Technique, (PI: Khairurrijal), 2009-2010.
- 12) Investigator, Hibah Kompetitif Penelitian Kerjasama Internasional dalam Rangka Publikasi Internasional Research Grant, Research on Simulation of Fabrication of Nanofibers Using Electrospinning Technique, (PI: Khairurrijal), 2009.
- 13) Principal Investigator, Riset KK ITB Research Grant, Research on Development of Spray Pyrolysis/Spray Drying Reactor and Synthesis of High Specific Surface Area Cu/ZnO/Al₂O₃ Particles

for Conversion of Methanol into Hydrogen, 2009.

- 14) Visiting Researcher, Department of Chemical Engineering, Hiroshima University, Japan, Research on Synthesis of Luminescence Nanoparticles (Host: Prof. K. Okuyama 2007).
- 15) Principal Investigator, Program Hibah Kompetensi Research Grant, Research on Development of Nanomaterials-Based Ceramics to Improve Competitiveness of Domestic Ceramic Industries, 2008-2010.
- 16) Principal Investigator, Riset Unggulan KK ITB Research Grant, Development of Ultrasonic Steam Reformed for Conversion of Methanol into Hydrogen for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC), 2008.
- 17) Principal Investigator, TWAS Research Grant, Lumiscent Nano Ink, 2008
- 18) Investigator, Program Insentif Kementrian Negara Riset dan Teknologi Research Grant, Research on Nanocarbon for Super Capacitor, (PI: Khairurrijal), 2007-2008.
- 19) Principal Investigator, Riset Unggulan KK ITB Research Grant, Research on Synthesis and Characterization of Nano-catalyst for Conversion of Methanol into Hydrogen for Direct Methanol Fuel Cell (DMFC), 2007.
- 20) Investigator, Community-Supported Research Grant, Research on I-V Meter for Characterizing Metal-Oxide-Semiconductor Devices, (PI: Khairurrijal), 2005-2006.
- 21) Principal Investigator, Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange Research Grant, Research on Synthesis of Luminescent Nanoparticles Emitting Ultraviolet Light for

Decomposing Organic Pollutants in Water/Air, 2005-2006.

6. PUBLIKASI

1. V. A. Isnaeni, O. Arutanti, E. Sustini, H. Aliah, Khairurrijal, and **M. Abdullah**, "A Novel System for Producing Photocatalytic Titanium Dioxide-coated Fibers for Decomposing Organic Pollutants in Water", **Environmental Progress & Sustainable Energy** (in press, 2011).
2. Masturi, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "High Compressive Strength of Home Waste and Polyvinyl Acetate Composites Containing Silica Nanoparticle Filler", **Journal of Materials Cycles and Waste Management** (in press, 2011).
3. E. Widiatmoko, Widayani, M. Budiman, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "A Simple Spectrophotometer Using Common Materials and a Digital Camera", **Physics Education**, Vol. 46, No. 3 (May 2011), pp. 332-339.
4. Khairurrijal, **M. Abdullah**, and M. Budiman, "Home-Made PIC 16F877 Microcontroller-Based Temperature Control System for Learning Automatic Control", **Computer Applications in Engineering Education**, Vol. 19, No. 1 (March 2011), pp. 10-17
5. F. A. Noor, **M. Abdullah**, Sukirno, and Khairurrijal, "Comparison of Electron Transmittances and Tunneling Currents in an Anisotropic $TiN_x/HfO_2/SiO_2/p-Si(100)$ Metal-Oxide-Semiconductor (MOS) Capacitor Calculated Using Exponential- and Airy-Wavefunction Approaches and a Transfer Matrix Method", **Journal of Semiconductors**, Vol. 31, No. 12 (Dec 2010), pp. 124002-1 – 124002-5.

6. F. A. Noor, **M. Abdullah**, Sukirno, and Khairurrijal, "Analysis of Electron Direct Tunneling Current through Very-Thin Gate Oxides in MOS Capacitors with the Parallel-Perpendicular Kinetic Energy Components and Anisotropic Masses", **Brazilian Journal of Physics**, Vol. **40**, No. 4 (Dec 2010), pp. 404–407.
7. F. A. Noor, **M. Abdullah**, Sukirno, Khairurrijal, A. Ohta, and S. Miyazaki, "Electron and Hole Components of Tunneling Currents through an Interfacial Oxide-High-k Gate Stack in Metal-Oxide-Semiconductor Capacitors", **Journal of Applied Physics**, Vol. **108**, No. 9 (Nov 2010), pp. 093711-1–093711-5.
8. **M. Abdullah**, Khairurrijal, B. W. Nuryadin, and E. Sustini, "Synthesis of Oxide Particles using a Polymer-Assisted Spray Pyrolysis Reactor, and a Percolation Explanation of Particle Separation", **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, Vol. **8** (2010), pp. A96.
9. A. Priatama, **M. Abdullah**, Khairurrijal, and H. Mahfudz, "Fabrication of Microporous Water Filter Using Titanium Dioxide Particles, Silica Particles, and Polyethylene Glycol", **ITB Journal of Engineering Science**, Vol. **42**, No. 1 (May 2010), pp. 39-52.
10. **M. Abdullah**, Khairurrijal, F. A. Noor, A. R. Marully, and M. Sanny, "Design of Steam Reforming Reactor for Converting Methanol into Hydrogen Using an Ultrasonic Nebulizer as Liquid Feeder and Polymer Liquid Processed CuO/ZnO/Al₂O₃ Particles as Catalyst", **Journal of Sustainable Energy and Environment**, Vol. **1** (Jan-Mar 2010), No. 1, pp. 11-15.
11. Khairurrijal, F. A. Noor, **M. Abdullah**, Sukirno, and S. Miyazaki, "Theoretical Study on Leakage Current in MOS with High-K Dielectric Stack: Effects of In-plane-Longitudinal Kinetic Energy Coupling and Anisotropic Masses", **Transactions of the Materials Research Society of Japan**, Vol. **34** (June 2009), pp. 291-295.
12. Astuti, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "Synthesis of Luminescent Ink from Europium-Doped Y₂O₃ Dispersed in Polyvinyl Alcohol Solution", **Advances in OptoElectronics**, Vol. **2009** (June 2009), Article ID 918351, pp. 1-8.
13. L. Hasanah, **M. Abdullah**, Sukirno, T. Winata, and Khairurrijal, "Model of Tunneling Current in an Anisotropic Si/Si_{1-x}Ge_x/Si Heterostructure with Nanometer-thick Barrier Including Effect of Parallel-Perpendicular Kinetic Energy Coupling", **Semiconductor Science and Technology**, Vol. **23**, No. 12 (December 2008), pp. 125024-1-125024-6.
14. **M. Abdullah**, Khairurrijal, A. Waris, W. Sutrisno, I. Nurhasanah, and A. S. Vioktalamo, "An Ultraviolet Phosphor from Submicrometer-sized Particles of Gadolinium-doped Yttrium Oxide Prepared by a Polymer Heating Process", **Powder Technology**, Vol. **183**, No. 2 (April 2008), pp. 297-303.
15. M.M. Munir, F. Iskandar, K.M. Yun, K. Okuyama, and **M. Abdullah**, "Optical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Nanofibers Prepared by Electrospinning", **Nanotechnology**, Vol. **19**, No. 4, (2008), art. No. 145603
16. **M. Abdullah**, Khairurrijal, F. Iskandar, and K. Okuyama, "Chapter 9. Semiconductor Nanoparticle-Polymer Nanocomposites", in *Nanocrystalline Materials: Their Synthesis-Structure-Property Relationships*, S.C. Tjong (Ed.), Elsevier Science (June 2006), pp. 275-310.

17. Khairurrijal, **M. Abdullah**, A. Suhendi, M. M. Munir, and A. Surachman, "A Simple Microcontroller-Based Current Electrometer Made from LOG112 and C8051F006 for Measuring Current in Metal-Oxide-Semiconductor Devices", **Measurement Science and Technology**, Vol. 18 (2007), pp. 3019-3024.
18. Khairurrijal, **M. Abdullah**, M. M. Munir, A. Surachman, and A. Suhendi, "Low Cost and User-friendly Electronic Components Characterization System for Undergraduate Students", **WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education**, Vol. 3, No. 11 (November 2006), pp. 971-976.
19. K. Okuyama, **M. Abdullah**, I. W. Lenggoro, and F. Iskandar, "Preparation of Functional Nanostructured Particles by Spray Drying", **Advanced Powder Technology**, Vol. 17, No. 6 (2006), pp. 587-611.
20. T. Ogi, Y. Itoh, **M. Abdullah**, F. Iskandar, Y. Azuma, and K. Okuyama, "Fabrication and Photoluminescence of Highly Crystalline GaN and GaN:Mg Nanoparticles", **Journal of Crystalline Growth**, Vol. 281, No. 2-4 (2005), pp. 234-241
21. **M. Abdullah**, K. Okuyama, I. W. Lenggoro, and S. Taya, "A Polymer Solution Process for Synthesis of (Y,Gd)₃Al₅O₁₂:Ce Phosphor Particles", **Journal of Non-Crystalline Solid**, Vol. 351, No. 8-9 (2005), pp. 697-704
22. **M. Abdullah**, I.W. Lenggoro, B. Xia, and K. Okuyama, "Novel Processing for Softly Agglomerated Luminescent Y₂O₃:Eu³⁺ Nanoparticles Using Polymeric Precursors", **Journal of the Ceramic Society of Japan**, Vol. 113, No. 1313 (2005), pp. 97-100.
23. **M. Abdullah**, F. Iskandar, S. Shibamoto, T. Ogi, and K. Okuyama, "Preparation of Oxide Particles with Ordered Macropores by Colloidal Templating and Spray Pyrolysis", **Acta Materialia**, Vol. 52, No. 17 (2004), pp. 5151-5156.
24. L. Gradon, S. Janecko, **M. Abdullah**, F. Iskandar, and K. Okuyama, "Self-Organization Kinetics of Mesoporous Nanostructured Particles", **AIChE Journal**, Vol. 50, No. 10 (2004), pp. 2583-2593.
25. F. Iskandar, **M. Abdullah**, and K. Okuyama, "Ordered Nanoporous Particles", **Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology**, Vol. 8 (2004), pp. 259-270.
26. **M. Abdullah**, I. W. Lenggoro, and K. Okuyama, "Polymer Electrolyte Nanocomposites", **Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology**, Vol. 8 (2004), pp. 731-762.
27. **M. Abdullah**, C. Panatarani, T.-O. Kim, and K. Okuyama, "Nanostructured ZnO/Y₂O₃:Eu for Use as Fillers in Luminescent Polymer Electrolyte Composites", **Journal of Alloys and Compounds**, Vol. 377, No. 1-2 (2004), pp. 298-305.
28. **M. Abdullah**, S. Shibamoto, and K. Okuyama, "Synthesis of ZnO/SiO₂ nanocomposites emitting specific luminescence colors", **Optical Materials**, Vol. 26, No. 1 (2004), pp. 95-100 (*Top 17 The Hottest Articles tahun 2004*).
29. Y. Itoh, **M. Abdullah**, and K. Okuyama, "Direct Preparation of Nonagglomerated Indium Tin Oxide Nanoparticles Using Various Spray Pyrolysis Methods", **Journal of Materials Research**, Vol. 19, No. 4 (2004), pp. 1077-1086.
30. F. Iskandar, **M. Abdullah**, H. Yoden, and K. Okuyama, "Silica Film Containing Ordered Pores Prepared by Dip Coating of Silica

- Nanoparticles and Polystyrene Beads Colloidal Mixture”, **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, Vol. 29, No. 1 (2004), pp. 41-47.
31. T. Iwaki, Y. Kakihara, T. Toda, **M. Abdullah**, and K. Okuyama, Preparation of High Coercivity Magnetic FePt Nanoparticles by Liquid Process”, **Journal of Applied Physics**, Vol. 94, No. 10 (2003), pp. 6807-6811.
 32. **M. Abdullah**, T. Morimoto, and K. Okuyama, “Generating of Blue and Red Luminescence from ZnO/Poly(ethylene glycol) Nanocomposites Prepared Using an In-Situ Method”, **Advanced Functional Materials**, Vol. 13, No. 10 (2003), pp. 800-804
 33. F. Iskandar, **M. Abdullah**, H. Yoden, and K. Okuyama, “Optical Band Gap and Ultralow Dielectric Constant Materials Prepared by a Simple Dip Coating Process”, **Journal of Applied Physics**, Vol. 93, No. 11 (2003), pp. 9237-9242.
 34. **M. Abdullah**, I. W. Lenggoro, K. Okuyama, and F.G. Shi, “In Situ Synthesis of Polymer Nanocomposite Electrolytes Emitting a High Luminescent with a Tunable Wavelength”, **Journal of Physical Chemistry B**, Vol. 107, No. 9 (2003), pp. 1957-1961.
 35. **Mikrajuddin**, F. Iskandar, and K. Okuyama, “Single Route for Producing Organized Metallic Domes, Dots, and Pores by Colloidal Templating and Over Sputtering”, **Advanced Materials**, Vol. 14, No. 12 (2002), pp. 930-933.
 36. **Mikrajuddin**, I. W. Lenggoro, K. Okuyama, and F.G. Shi, “Luminescent Polymer Electrolytes Prepared by Growing ZnO Nanoparticles in the Matrix of Polyethylene Glycol”, **Journal of the Electrochemical Society**, Vol. 149, No. 5 (2002), pp. H107-

- H112.
37. F. Iskandar, **Mikrajuddin**, and K. Okuyama, “Controllability of Pore Size and Porosity on Self-Organized Porous Silica Particles, **Nano Letters**, Vol. 2, No. 4 (2002), pp. 389-392.
 38. **Mikrajuddin**, F. Iskandar, K. Okuyama, and F.G. Shi, “Stable Photoluminescence Zinc Oxide Quantum Dots in Silica Nanoparticle Matrix Prepared by the Combined Sol-Gel and Spray Drying Method”, **Journal of Applied Physics**, Vol. 89, No. 11 (2001), pp. 6431-6434
 39. F. Iskandar, **Mikrajuddin**, and K. Okuyama, “In Situ Production of Spherical Silica Particles Containing Self-Organized Pores”, **Nano Letters**, Vol. 1, No. 5 (2001), pp. 231-234.
 40. **Mikrajuddin**, F. G. Shi, and K. Okuyama, “Temperature-Dependent Electrical Conduction in Porous Silicon: Non-Arrhenius Behavior”, **Europhysics Letters**, Vol. 54, No. 2 (2001), pp. 234-240.
 41. **Mikrajuddin**, K. Okuyama, and F. G. Shi, “Mechanical Effect of the Electronic Properties of Molecular Wires”, **Physical Review B**, Vol. 61, No. 12 (2000), pp. 8224-8232.
 42. **Mikrajuddin**, F. G. Shi, and K. Okuyama, “Electrical Conduction in Insulator Particle-Solid State Ionics and Conducting Particle-Insulator Matrix Composites: a Unified Theory”, **Journal of the Electrochemical Society**, Vol. 147, No. 8 (2000), pp. 3157-3165.
 43. **Mikrajuddin**, F. G. Shi, T. G. Nieh, and K. Okuyama, “Metal-to-Semiconductor Transition in Nanocrystals: Size and Temperature Dependent”, **Microelectronics Journal**, Vol. 31, No. 5 (2000), pp. 343-351.

44. **Mikrajuddin**, F. G. Shi, T. G. Nieh, and K. Okuyama, "Electrical Conduction in Solid Polymer Electrolytes: Temperature Dependence Mechanism", **Microelectronics Journal**, Vol. 31, No. 4 (2000), pp. 261-265.
45. **Mikrajuddin**, F. G. Shi, and K. Okuyama, "Electrical Conduction in Porous Silicon: Temperature Dependence", **Microelectronics Journal**, Vol. 31, No. 3 (2000), pp. 187-191.
46. F.G. Shi, **M. Abdullah**, S. Chungpaiboonpatana, K. Okuyama, C. Davidson, and J. M. Adams, "Electrical Conduction of Anisotropic Conductive Adhesives: Effect of Size Distribution of Conducting Filler Particles", **Materials Science in Semiconductor Processing**, Vol. 2, No. 3 (1999), pp. 263-269
47. **Mikrajuddin**, F.G. Shi, H. K. Kim, and K. Okuyama, "Size-Dependent Resistance Electrical Constriction Resistance for Contacts of Arbitrary Sizes: from Sharvin to Holm Limits", **Materials Science in Semiconductor Processing**, Vol. 2, No. 4 (1999), pp. 321-327.
48. **Mikrajuddin**, F. G. Shi, S. Chungpaibonpatana, K. Okuyama, C. Davidson, and J.M. Adams, "Onset of Electrical Conduction in Isotropic Conductive Adhesives: A General Theory", **Materials Science in Semiconductor Processing**, Vol. 2, No. 4 (1999), pp. 309-319
49. A. A. Pramana, D. Abdassah, S. Rachmat, **Mikrajuddin**, "Electromagnetic Induction Heat Generation of Nano-Ferrofluid and Other Stimulants for Heavy Oil Recovery", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 163-166.
50. Masturi, A. P. Swardhani, E. Sustini, M. Bukit, Mora, Khairurrijal,

- M. Abdullah**, "High Strength Lightweight Nanocomposite from Domestic Solid Waste", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 59-63.
51. V. A. Isnaeni, I. F. Amalia, H. Aliah, O. Arutanti, Masturi, B. W. Nuryadin, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "A Novel Method for Synthesis of Nanoparticle-coated Plastic Fibers Using a Vibration Method and the Use of Coated Fibers as Photocatalyst Materials for Decomposing of Organic Pollutants in Water under Sunlight Illumination", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 134-137.
52. **M. Abdullah**, S. Saehana, B. W. Nuryadin, E. Sustini, Khairurrijal, and F. A. Noor, "Introducing Organizing Parameter for Self-Organized Nanoparticles", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 39-41.
53. M. Rosi, M. P. Ekaputra, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "Synthesis and Characterization of Cross-linked Polymer Electrolyte Membranes for Supercapacitor", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 55-58.
54. E. Widiatmoko, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "A Method to Measure Pore Size Distribution of Porous Materials Using Scanning Electron Microscopy Method", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 23-26.
55. M. P. Aji, Rahmawati, Silvia, S. Bijaksana, Khairurrijal, and **M. Abdullah**, "Electrical Conductivity Study of Polymer Electrolyte Magnetic Nanocomposite-based Poly(vynil) alcohol (PVA) Doping Lithium and Nickel Salt", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1284 (2010), pp. 51-54.

56. F.A. Noor, Y. Darma, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "The Effect of Electron Incident Angle on Transmittance and Tunneling Current in an Anisotropic Metal-Oxide-Semiconductor Capacitor with High-k Dielectric Gate Stack", **AIP Conference Proceedings**, Vol. 1325 (2010), pp. 206-209.
57. E. Rahmawati, R. Ekawita, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "A simple and inexpensive C-V characterization system for electronics course at undergraduate level", **International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009, ICICI-BME 2009**, IEEE xplore, doi. 10.1109/ICICI-BME.2009.5417215.
58. R. Ekawita, E. Rahmawati, **M. Abdullah**, and Khairurrijal, "Four point probe method based on LOG112 and C8051F006 SoCs for resistivity measurement", **International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009, ICICI-BME 2009**, IEEE xplore, doi. 10.1109/ICICI-BME.2009.5417218.
59. I. Nurhasanah, **M. Abdullah**, and Khairurrijal "Structure and morphology of neodymium-doped cerium oxide solid solution prepared by a combined simple polymer heating and D.C.-magnetron sputtering method" **AIP Conference Proceedings**, Vol. 989 (2008) pp. 147-150.
60. **Mikrajuddin**, F.G. Shi, H.K. Kim, and K. Okuyama, "Conduction Development in Electrically Conductive Adhesives with a Bimodal Size Distributed Conducting and Inert Particles: Effect of Polydispersity", **Proceedings of Electronic Components and Technology Conference**, (2000), pp. 609-614

61. **Mikrajuddin**, K. Okuyama, F. G. Shi, and H.K. Kim, "Dielectric Constant of Polymer Composites: a Novel Thermal-Electric Approach", **IEEE International Symposium on Electrical Insulation**, (2000), pp. 180-183.
62. M. O. Tjia, R. Hidayat, and **Mikrajuddin**, "Dopant and Charge Carriers Correlation in Polyaniline Prepared by Potentiostatic Method", **Frontiers of Polymers and Advanced Materials**, **Plenum Press**, New York, 1994.

Catatan:

1. Makalah di Jurnal Nasional dan Seminar Nasional yang dihasilkan sekitar 140 buah.
2. Total sitasi hingga awal September 2011 adalah 734
3. *h-index* hingga awal September 2011 adalah 16

7. PATENT

1. Kikuo Okuyama, I. Wuled Lenggoro, and Mikrajuddin Abdullah, Fine Particles Preparation Method, Japan Patent, November 4, 2005, JP2005-305320
2. Kikuo Okuyama, I. Wuled Lenggoro, and Mikrajuddin Abdullah, Method for Producing Inorganic Fine Particles, Japan Patent, June 12, 2008, JP2000-133186
3. Mikrajuddin Abdullah, Nur Dananjaya, Khairurrijal, dan Hernawan Mahfudz, Patent Application No. Reg. P00200900146, 12 Maret 2009

