

## PELUANG DAN STRATEGI PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA

(OPPORTUNITY AND STRATEGY FOR DEVELOPING NANOTECHNOLOGY IN INDONESIA)

Nurul Taufiq Rochman<sup>1)</sup>, Jumarman<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Material Lanjut dan Nanoteknologi  
Pusat Penelitian Fisika – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

<sup>2)</sup>Badan Penelitian dan Pengembangan Industri

nurultaufiq@yahoo.co.id

### ABSTRAK

**P**ara pakar percaya bahwa nanoteknologi akan membawa impian manusia menjadi kenyataan. Diprediksi bahwa revolusi nanoteknologi akan berdampak sebanding dengan empat revolusi industri yang telah dialami selama dua abad namun hanya ditempuh dalam kurun waktu beberapa tahun. Indonesia, negara dengan kekayaan alamnya yang cukup tersedia dan memiliki populasi terbesar ke-empat di dunia, harus ikut berperan dalam pengembangan nanoteknologi. Oleh karena itu, dalam kajian ini, pertama akan dibahas paradigma nanoteknologi secara singkat, kemudian akan didalami peluang beserta dampak sosial nanoteknologi yang melatarbelakangi mengapa banyak negara di dunia ini memprioritaskan dan mengalokasikan dana sebesar-besarnya untuk menguatkan daya saing bangsanya. Selanjutnya akan disajikan strategi pengembangan nanomaterial di Indonesia. Beberapa kemajuan dan strategi pengembangan nanoteknologi yang dilakukan oleh berbagai organisasi dan institusi juga akan diuraikan.

**Kata kunci:** Nanoteknologi, peluang, strategi, revolusi nanoteknologi

### ABSTRACT

**M**any technologists believe that nanotechnology would be able to bring human dreams into reality. It is predicted nanotechnology revolution will make impact equal to four industrial revolutions which have been through for two centuries only in several years. Indonesia, a country with abundant of natural resources and the 4th largest in population, has to take advantage of nanotechnology for development. This required appropriate strategy regarding to Indonesia's potential and capability in advancing technology. Therefore, in this study definition and nanotechnology paradigm were briefly explained first. Opportunity and societal impact of nanotechnology were then described. That is what behind many countries around the world making priority and allocating funds along with other resources immensely to study nanotechnology meant for strengthen their nation competitiveness. Development strategy for nanomaterial in Indonesia was reported. Since, Indonesia has many organizations and institutions that doing research in nanotechnology, several progresses also have been achieved and in this paper would be described.

**Keywords:** Nanotechnology, opportunity, strategy, nanotechnology revolution.

## PENDAHULUAN

Nanoteknologi telah diyakini akan dapat menyelesaikan seluruh permasalahan teknologi di masa mendatang. Kini manusia memimpikan dapat membuat mesin nano yang dapat menciptakan segala material yang diinginkan [1]. Bahkan para pakar nanoteknologi juga telah mendisain mesin nano yang dapat menyusun atom demi atom atau molekul demi molekul menjadi material yang sesuai dengan program yang telah dimasukkan [2-5].

Nanosains adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari fenomena atau sifat-sifat suatu objek atau material dalam skala nanometer ( $1 \text{ nm} = 1/1.000 \mu\text{m} = 1/1.000.000 \text{ mm} = 1/1.000.000.000 \text{ m}$ ). Bisa dipahami bahwa 1 per 1.000.000.000 meter adalah sebuah ukuran yang sangat kecil sekali. Untuk membayangkan dunia berskala nano, sebagai contoh dapat dilihat bagian tubuh manusia [6-7].

Tubuh manusia berada di dunia berskala meter (m). Kemudian, bagian tubuh manusia yang berskala 1 per 1000 atau milimeter (mm) adalah tali lalat. Selanjutnya, yang berskala 1 per 1000 dari itu atau mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) adalah diameter rambut, sel tubuh atau sel darah merah. Sampai disini mungkin masih mudah dipahami karena terlihat oleh panca indra. Nanometer (nm) adalah besaran 1 per 1000 dari itu, seperti lebar DNA yang berskala berkisar 2 nm. Bila nanometer dibagi lagi menjadi 1 persepuluhnya, maka akan sampai pada besaran atom ( $0.1 \text{ nm} = 1\text{\AA}$  (Angstrom)).

Perbandingan antara 1 meter dengan 1 nanometer adalah seperti halnya perbandingan antara bola bumi dengan bola pingpong. Manusia hidup di dunia berskala meter, sehingga jika menggunakan benda berskala nanometer, sama halnya seperti manusia yang berukuran bumi menggunakan bola pingpong. Dari kenyataan ini, dapat dikatakan bahwa manusia secara perlahan-lahan tengah mendapatkan teknologi yang sulit dibayangkan.

Sementara itu, definisi nanoteknologi yang umum digunakan pada buku-buku pelajaran, adalah "ilmu pengetahuan dan teknologi yang mengatur struktur dan fungsi zat, material, peralatan dan sistem-proses pada tingkat atom, molekul dan skala nanometer". Definisi yang lebih rinci lagi menurut pemerintah Amerika Serikat adalah "Teknologi yang mengatur struktur dan

fungsi zat pada skala panjang, lebar atau tinggi sebesar 100 nanometer atau kurang". Jadi dapat dikatakan bahwa nanoteknologi adalah ilmu pengetahuan dan teknologi yang mengontrol zat, material dan sistem pada skala nanometer, sehingga menghasilkan fungsi baru yang belum pernah ada. Menurut Prof. T. Kawai, nanoteknologi merupakan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menyusun satu persatu atom atau molekul, sehingga tercipta dunia baru [8].

Sebagai contoh, perkembangan nanoteknologi dalam dunia komputer telah mengubah tidak hanya ukuran komputer semakin ringkas, namun juga peningkatan kemampuan dan kapasitas yang luar biasa, sehingga memungkinkan penyelesaian program-program raksasa dalam waktu yang singkat. Seperti halnya komputer, produk *hand phone* telah di-*upgrade* sedemikian rupa dengan nanoteknologi sehingga berharga lebih murah dengan kemampuan dan kapasitas yang jauh lebih baik. Produk-produk ini telah merambah dan menyatu ke dalam kehidupan manusia melewati batas-batas status sosial umat manusia. Oleh karena itu, nanoteknologi merupakan *driving force* bisnis-bisnis baru. Berbagai macam aplikasi nanoteknologi pada produk-produk dewasa ini, mulai dari bidang kedokteran, farmasi, konstruksi, industri makanan, tekstil, keramik dan lain-lain.

## I. PERKEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI DUNIA

### A. Revolusi Nanoteknologi

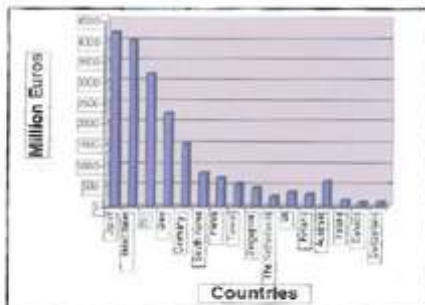
Kehidupan manusia telah mengalami perubahan yang mendasar seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Gambar 1). Sejak ditemukan mesin uap di sekitar abad 18, terjadi revolusi industri yang berbasis di Inggris yang mengakselerasi industri tekstil dan permesinan. Kemudian revolusi kedua terjadi juga di negara-negara Eropa dengan semakin maraknya angkutan darat kereta api dan industri baja. Memasuki abad 20, di Amerika muncul industri mesin elektrik, kimia dan otomotif. Kemudian revolusi industri yang keempat terjadi sekitar tahun 1950 sampai sekarang yang ditandai dengan pengembangan teknologi sintesa, kimia organik dan komputer yang berbasis di Asia Pasifik termasuk Jepang dan California. Dengan demikian selama kurun waktu dua abad ini, peradaban manusia telah mengalami perubahan yang sangat besar yang memberikan

dampak kepada kehidupan sosial, ekonomi, budaya dan politik.

Namun demikian, memasuki abad ke 21 ini, dengan terjadinya perubahan paradigma baru dalam memandang iptek itu sendiri, yaitu nanoteknologi, maka para pakar iptek meramalkan bahwa dalam periode yang sangat singkat dengan hitungan beberapa tahun ke depan, akan terjadi revolusi mendasar yang berdampak luar biasa sebagaimana empat revolusi industri yang telah terjadi dua abad ini.

Mengingat besarnya peluang dan dampak nanoteknologi dalam kehidupan manusia, maka negara-negara di dunia, khususnya negara-negara maju berlomba-lomba mengalokasikan dana untuk berinvestasi membangun dan mengembangkan nanoteknologi seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Pendanaan merupakan komponen utama dalam sebuah perencanaan. Dengan melihat aspek pendanaan, dapat diketahui seberapa besar keseriusan suatu negara dalam menggarap nanoteknologi. Pada beberapa tahun belakangan ini, keseriusan Jepang dalam menekuni nanoteknologi menjadikan Jepang terkesan berada di atas Amerika Serikat dalam pendanaan. Namun terlepas dari dukungan industri, pemerintah Amerika masih yang teratas dalam mengalokasikan dana untuk bidang ini. Di Eropa, Jerman mengeluarkan dana tahunan yang jauh melampaui negara lain dan secara



Gambar 2 . Perkiraan alokasi dana riset dan pengembangan nanoteknologi di dunia juta euro (Sumber: Technology Transfer Centre, 2007).

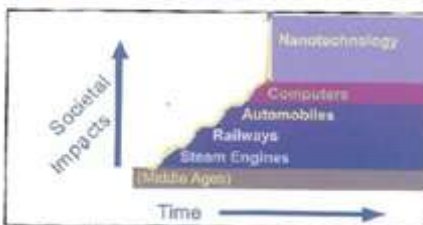
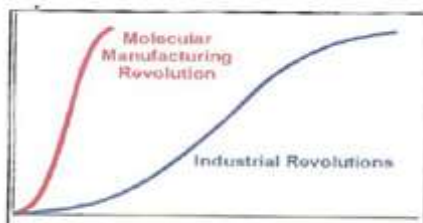
kasar hampir sama dengan dana seluruh negara Eropa, yang jika disatukan mencapai 330 juta Euro.

Melalui Program Tujuh Kerangka Kerja, Uni Eropa akan berkontribusi 600 juta Euro per tahun hingga 2013. Dengan demikian jika dipandang secara keseluruhan, Uni Eropa merupakan yang terbesar dalam masalah pendanaan nanoteknologi dibandingkan dengan USA atau Jepang.

Pemerintah negara-negara Asia-Pasifik juga mulai mengalokasikan dana secara signifikan untuk nanosains dan nanoteknologi, dan secara umum memasuki domain nanoteknologi dengan lebih antusias dibandingkan negara-negara Eropa. Nanoteknologi telah dijadikan isu ilmu pengetahuan dan teknologi utama bersamaan dengan material, kedokteran, lingkungan serta teknologi informasi dan komunikasi; semua area dimana nanoteknologi dan nanosains menjadi pondasi utamanya.

Menurut hasil kajian para pakar dari Eropa [8], potensi pengembangan nanoteknologi akan mengakselerasi produk-produk industri. Gambar 3 menunjukkan bahwa sampai tahun 2005, peluang nanoteknologi dalam pasar industri tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan. Ini mengindikasikan bahwa riset dan pengembangan nanoteknologi memang masih berusia relatif baru. Namun seiring dengan berjalannya waktu, dalam periode 2010 sampai 2020, akan terjadi percepatan yang luar biasa dalam kaitannya dengan penerapan nanoteknologi dalam dunia industri.

Selanjutnya pada tahun-tahun berikutnya peluang nanoteknologi akan jenuh, dimana pada saat itu, produk-produk nano-



Gambar 1 Revolusi industri dan nanoteknologi yang disebut juga revolusi manufaktur molekuler



teknologi di pasar sudah sangat *massive* jumlahnya. Oleh karena itu, pengembangan nanoteknologi harus dilakukan dengan cepat pada masa sekarang ini. Jika tidak, maka peluang pengembangan nanoteknologi akan terlewatkan, dan sebagai konsekuensinya akan menjadi negara yang tertinggal dan kalah karena tidak akan mampu bersaing dengan negara-negara lain di dunia ini.

### B. Strategi Pengembangan Nanoteknologi di Dunia

Nanoteknologi diyakini sebagai sebuah teknologi yang akan melahirkan revolusi industri baru di abad 21. Ke depan, industri yang tidak menerapkan nanoteknologi tidak akan mampu ikut pada persaingan global. Oleh karenanya, berbagai negara di dunia, terutama negara-negara maju, berusaha keras melakukan berbagai strategi penguasaan dan pengembangan nanoteknologi. Strategi pengembangan nanoteknologi pada masing-masing negara tersebut umumnya mengacu pada kompetensi negaranya.

Amerika merupakan negara pertama di dunia yang secara serius ingin menguasai nanoteknologi. Pada bulan Januari 2000, pemerintahan Clinton membentuk "*National Nanotechnology Initiative (NNI)*". Di bawah koordinasi NNI, dana riset sekitar 3,7 milyar US\$ dikucurkan kepada 5 institusi (NSF, DoE, NASA, NIST dan EPA) untuk melakukan penelitian nanoteknologi, dengan titik fokus pada penelitian dasar di berbagai bidang ilmu dan pembentukan jejaring di dalam negeri. Program nanoteknologi diangkat sebagai program jangka panjang utama negara, sehingga terus berkesinambungan meskipun pemerintahan silih berganti.

Sementara itu, negara-negara lain mengembangkan nanoteknologi sesuai

dengan karakter negaranya. Sebagai contoh Jepang dan Swiss, negara yang miskin akan sumber daya alam, menerapkan strategi pengembangan nanoteknologi di bidang manufaktur elektronik, komputer, alat presisi dan obat-obatan yang bernilai jual tinggi. Perancis, sesuai dengan kompetensi negaranya, menerapkan strategi penguasaan nanoteknologi di bidang-bidang yang berkaitan dengan tenaga nuklir.

Negara-negara di Asia seperti Cina, Korea dan Thailand, secara nasional juga telah menetapkan strategi pengembangan nanoteknologi. Di Korea, dimana bidang material elektronik bersaing ketat dengan Jepang, pengembangan nanoteknologi diarahkan pada pembuatan material memori berkapasitas tinggi dan pengecilan ukuran semikonduktor. Cina, dengan ciri khasnya tersendiri di dunia, mengembangkan nano-teknologi untuk obat herbal Cina dan *clay*.

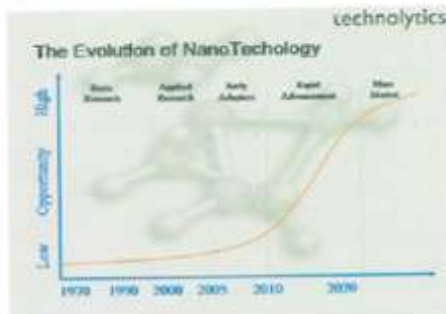
## II. PELUANG DAN STRATEGI PENGEMBANGAN DI INDONESIA

### A. Peluang Pengembangan Di Indonesia

Dalam kenyataannya, Indonesia memiliki keunggulan komparatif berupa kekayaan sumber daya alam baik dalam bentuk berbagai mineral alam sebagai bahan baku pembuatan produk dan sumber energi, maupun keragaman hayati flora dan fauna dalam jumlah yang luar biasa. Namun, sumber daya alam tersebut masih belum banyak diberikan nilai tambah sehingga belum dapat dijadikan sebagai penentu daya saing bangsa.

Pemanfaatan sumber daya alam tersebut baru berupa eksploitasi dengan kuantitas yang besar dan belum banyak diolah sehingga masih bernilai sangat rendah (misalnya mineral pasir besi, kuarsa, tembaga, emas dll). Di lain sisi, letak geografis dan jumlah penduduk yang sangat besar, menjadikan Indonesia menjadi pasar perekonomian yang menjanjikan. Oleh karena itu, pengembangan nanoteknologi harus dapat diarahkan untuk dapat mengelola dan memberikan penambahan nilai secara signifikan bagi sumber daya alam Indonesia sehingga meningkatkan daya saing bangsa. Beberapa fokus pengembangan nanoteknologi yang perlu dilakukan berdasarkan potensi yang dimiliki adalah :

- 1) pemanfaatan nanoteknologi untuk pembuatan nanomaterial yang ditargetkan untuk suplai bahan baku produk nano,



Gambar 3. Peluang nanoteknologi dalam dunia industri

- 2) pemanfaatan nano-bioteknologi yang ditargetkan untuk peningkatan hasil pangan dan pertanian,
- 3) pemanfaatan nanoteknologi di bidang farmasi dan kesehatan yang ditargetkan untuk peningkatan kualitas obat Indonesia, dan
- 4) pemanfaatan nanoteknologi untuk pemenuhan dan konservasi energi nasional.

Penelitian dan pengembangan nanoteknologi di Indonesia sudah dimulai di beberapa lembaga riset (LIPI, BATAN, BPPT, LAPAN, MRC, dll) atau universitas (ITB, UI, ITS, Unand, UGM, dll). Namun demikian ada beberapa kendala dan tantangan yang dihadapi, antara lain adalah :

- 1) sarana dan prasarana masih belum menunjang, disamping lokasinya yang terpisah-pisah,
- 2) kemampuan SDM masih tidak merata dan kekurangan.
- 3) alokasi pendanaan juga masih sangat minim.
- 4) prioritas riset dan pengembangan nanoteknologi yang sesuai dengan kondisi Indonesia juga masih belum ditentukan.

#### B. Strategi Pengembangan Di Indonesia

Dalam rangka peningkatan daya saing produk industri Indonesia, maka salah satu fokus pengembangan nanoteknologi yang perlu dilakukan berdasarkan potensi yang dimiliki adalah pengembangan nanomaterial.

Ada tiga isu terpenting dalam upaya pengembangan nanomaterial, yaitu :

- 1) bagaimana membuat partikel yang berukuran nano (nanopartikel) sebagai bahan baku produk nano,
- 2) bagaimana mengkarakterisasi (sifat-sifat dan fenomena) nanopartikel yang telah dibuat dan
- 3) bagaimana menyusun kembali nanopartikel dan mensintesisnya menjadi produk akhir yang sesuai dengan yang diinginkan.

Upaya pertama dan ketiga merupakan fokus utama yang memberikan dampak langsung dalam dunia industri. Output dari kedua upaya ini dapat berupa proses, produk dan prototipe yang dapat dipatenkan dan dipublikasikan untuk meningkatkan daya saing industri nasional. Sementara itu, upaya kedua memerlukan investasi peralatan yang sangat besar namun secara langsung mempengaruhi kedua upaya yang lainnya. Jadi upaya kedua ini merupakan pendukung dari kedua upaya lainnya yang tidak dapat diabaikan.



Gambar 4. Estimasi konsumsi nanopartikel pada tahun 2005 dan 2010

Nanomaterial merupakan landasan utama dalam rantai pengembangan produk nano. Produk-produk berbasis nanoteknologi akan memerlukan material-material yang berstruktur nano yang tersusun/ terbuat dari partikel-partikel nano pula. Kebutuhan nanomaterial akan meningkat dengan drastis seiring penerapan nanoteknologi pada produk-produk industri.

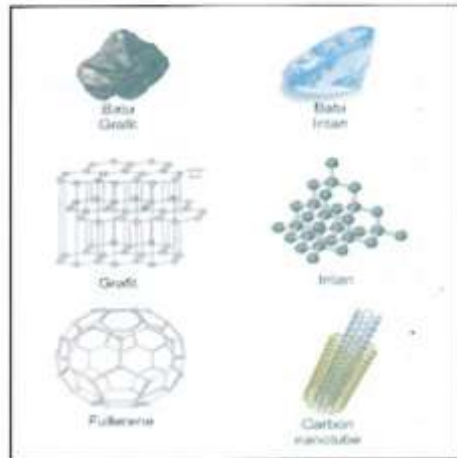
Gambar 4 menunjukkan estimasi konsumsi nanopartikel untuk pembuatan berbagai produk nano. Seperti ditunjukkan pada gambar tersebut, terjadi peningkatan konsumsi yang sangat signifikan, yaitu mencapai tujuh kali lebih pada tahun 2010 dibandingkan tahun 2005. Peningkatan ini menunjukkan bahwa terjadi akselerasi penerapan nanoteknologi pada hampir semua produk-produk industri. Dapat dibayangkan seberapa besar nilai ekonomi dari produk-produk nano di masa mendatang. Oleh karena itu, pengembangan nanomaterial yang diarahkan untuk mensuplai kebutuhan produk nano menjadi sesuatu yang memikat.

Sementara itu, pembuatan nanomaterial dapat dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu pendekatan *top-down* dan *bottom-up* seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam pendekatan *top-down*, pertama *bulk material* dihancurkan dan dihaluskan sedemikian rupa sampai berukuran nano meter. Kemudian dari partikel halus yang diperoleh, dibuat material baru yang mempunyai sifat-sifat dan performan yang lebih baik dan berbeda dengan material aslinya. Pendekatan *top-down* dapat meliputi teknik pembuatan peralatan elektronik dari semikonduktor silikon yang dibentuk sesuai pola tertentu. Dengan pendekatan ini, dapat dibuat *integrated circuit* (IC) yang berukuran  $1 \text{ cm}^2$  berisikan bermilyar-milyar transistor untuk komponen hardisk dengan kapasitas penyimpanan terabyte.



Pendekatan *top-down* juga dapat dilakukan dengan teknik MA-PM (*mechanical alloying-powder metallurgy*) atau MM-PM (*mechanical milling-powder metallurgy*), dimana material dihancurkan sampai menjadi bubuk dan dilanjutkan dengan penghalusan butiran partikelnya sampai berukuran puluhan nm. Kemudian, bubuk yang telah halus *disinter* (bakar) dengan kondisi tertentu sehingga didapatkan material final yang memiliki sifat-sifat dan performan yang sangat unggul berbeda dengan *bulk material* aslinya. Sebagai contoh, nanobaja diperoleh dari penghalusan partikel bubuk besi dan karbon dengan teknik MA sampai berukuran 30 nm, kemudian *disinter* pada suhu mendekati suhu eutektoid (A1: 723°C) pada tekanan 41 MPa dalam suasana gas nitrogen [10]. Nano baja berstruktur halus (mencapai beberapa puluh nm) memiliki kekuatan dan umur 2 kali lipat. Teknologi ini sangat sederhana dan tidak memerlukan peralatan tertentu untuk pembuatannya.

Dalam pendekatan *bottom-up*, material dibuat dengan menyusun dan mengontrol atom demi atom atau molekul demi molekul sehingga menjadi suatu bahan yang memenuhi suatu fungsi tertentu yang diinginkan. Misalnya, kumpulan atom karbon didesain sedemikian rupa sehingga membentuk struktur heksagonal sehingga menghasilkan diamond yang memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Pada saat yang bersamaan, sekumpulan atom karbon dapat disusun membentuk struktur segienam rombak sehingga menjadi arang yang sangat lunak sekali. Dengan nanoteknologi dimungkinkan membuat diamond buatan sesuai yang kita inginkan. Dewasa ini telah berhasil ditemukan struktur karbon yang lain seperti karbon 60, *carbon nano tube* dll yang memiliki kekuatan dan fungsi yang sangat istimewa dan dapat



Gambar 6. Berbagai macam bentuk bahan karbon yang memiliki masing-masing sifat yang berbeda karena struktur kristal yang berbeda

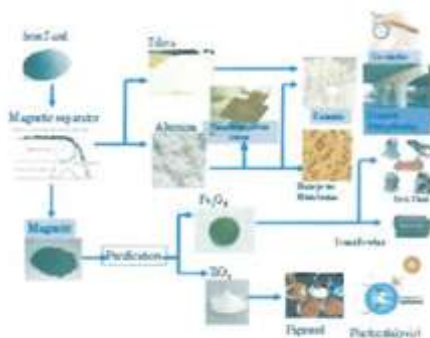
diaplikasikan dalam berbagai bidang. Gambar 6 menunjukkan berbagai macam bentuk bahan karbon dengan berbagai struktur kristal yang memiliki sifat-sifat yang berbeda satu sama lainnya.

Penerapan nanoteknologi pada bahan baku lokal dapat memberikan *added value* dan meningkatkan nilai ekonominya secara signifikan. Sebagai contoh adalah pada proses pengolahan mineral pasir besi seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Produk samping dari pasir besi setelah dipisahkan secara magnetik, menghasilkan mineral silika dan alumina, yang jika di-nano-kan dapat diterapkan untuk beton berkekuatan tinggi, bahan sensor, membran dll. Sementara itu, bahan magnetik yang telah dipurifikasi menghasilkan oksida besi, yang bisa digunakan untuk toner printer setelah di-nano-kan dan bahan baku industri hulu baja nasional. Produk sampingnya yang berupa mineral titania ( $\text{TiO}_2$ ) dapat digunakan untuk berbagai aplikasi yang bernilai ekonomi tinggi.

Untuk mengolah mineral alam yang kita miliki sebelum memasuki proses sintesa nano, maka penguasaan berbagai teknologi penunjang yang meliputi teknik separasi, purifikasi, ekstraksi dan lain sebagainya harus menjadi prioritas untuk dikembangkan. Dengan memadukan teknologi sintesa nanomaterial dan teknologi penunjang dimungkinkan diperoleh sebuah produk awal nanomaterial yang bernilai tinggi.



Gambar 5. Beberapa proses pembuatan nanopartikel



Gambar 7. Peningkatan nilai tambah dengan nanoteknologi

Berdasarkan informasi di atas, maka perlu dibuat sebuah rumusan strategi pengembangan nanomaterial di Indonesia berbasis sumber daya lokal. Gambar 8 menunjukkan *roadmap* pengembangan teknologi nanomaterial dan produk nanoteknologi berbasis sumber daya lokal. Studi mendasar pembuatan nanopartikel berbasis *mechanical milling* telah dilakukan dan telah dikuasai pembuatan alat pembuat nanopartikel tersebut di tahun 2006. Diharapkan sampai tahun 2010, dapat dikuasai berbagai metode sintesis nanopartikel dengan pendekatan *top-down*. Karena pendekatan ini jauh lebih sederhana dibanding pendekatan *bottom-up*. Di samping itu, perlu juga menguasai teknologi penunjang, seperti ekstraksi, purifikasi dll.

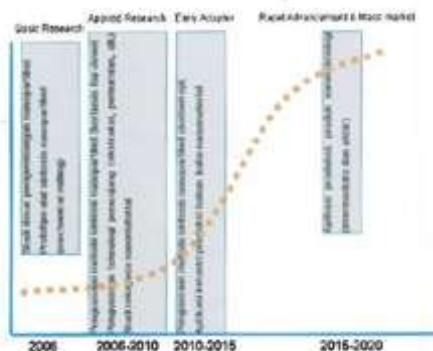
Menjelang tahun 2016, diharapkan telah dikuasai beberapa metode sintesa nanopartikel berbasis *bottom-up*. Pada tahapan ini, diharapkan produk-produk bahan baku nanopartikel dan produk *intermediate* dapat memenuhi sebagian besar kebutuhan nasional dan mulai memasuki pasar global. Pada tahap selanjutnya, tahun 2020, diharapkan penguasaan pendekatan *bottom-up* dan produk nano nasional dapat memasuki pasar dunia dengan basis sumber daya lokal.

**C. Sosialisasi Nanoteknologi di Indonesia**

Nanoteknologi yang telah merubah paradigma dalam memandang IPTEK itu sendiri perlu secepatnya disosialisasikan kepada masyarakat luas. Oleh karena itu, paralel dengan tahapan-tahapan yang telah diuraikan di atas, perlu dilakukan edukasi

untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas sumber daya manusia yang kelak akan menjadi pelaksana di lapangan. Materi-materi pendidikan mengenai nanoteknologi selayaknya diperkenalkan pada jenjang pendidikan dasar dan menengah dengan intensitas yang bertambah pada level pendidikan tinggi. Beberapa negara maju sudah ada yang memasukkan materi pengenalan nanoteknologi pada pendidikan menengah.

Gambar 9 menunjukkan strategi pemasaran nanoteknologi dengan melibatkan seluruh elemen yang berkepentingan dalam pengembangan nanoteknologi di Indonesia. Lembaga-lembaga riset pemerintah yang dikoordinasikan oleh Kementerian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) merupakan ujung tombak riset nanoteknologi sekaligus berperan sebagai sumber informasi nanoteknologi yang *up to date* di Indonesia. Sementara itu, universitas yang



Gambar 8. Strategi pengembangan nanomaterial dan produk nanoteknologi berbasis sumberdaya lokal.



Gambar 9. Strategi pemasaran nanoteknologi di Indonesia



utamanya bertugas sebagai penyebar dan pendidik nanoteknologi memerlukan sumber-sumber informasi dan bahan-bahan pendidikan nanoteknologi. Di lain sisi, Departemen Perindustrian sebagai mitra industri memiliki peran yang sangat penting guna desiminasi nanoteknologi ke dalam cakupan yang lebih luas dan mendongkrak daya saing industri nasional. Organisasi profesi seperti Masyarakat Nanoteknologi Indonesia (MNI) di sini perannya adalah mengkoordinasi dan mensinergikan setiap elemen-elemen tersebut dengan membuat serangkaian program-program sehingga dapat mengakselerasi tujuan dalam mengedukasi dan mengsosialisasikan kepada masyarakat luas baik di kalangan umum, industri dan sekolah.

Beberapa program yang telah dilakukan oleh MNI antara lain adalah :

- a. penyebaran informasi tentang perkembangan dan kegiatan nanoteknologi di Indonesia (Newsletter, Indonesian Nano-letter dll),
- b. pembuatan buku dan alat peraga Nano-edu untuk pendidikan nanoteknologi bagi pelajar
- c. bimbingan penelitian mahasiswa tugas akhir,
- d. pemberian ceramah di bidang nanoteknologi,
- e. penyusunan buku-buku nanoteknologi dan lain sebagainya.

Yang terakhir diharapkan adalah adanya dukungan dari pihak pemerintah, dalam hal ini adalah KNRT, Depperin dan Mendiknas, dalam mengakselerasi perkembangan nanoteknologi di Indonesia.

## PENUTUP

Untuk merespon segala perkembangan dan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka Indonesia perlu melakukan beberapa *action plan* antara lain adalah :

1. Pembentukan komunitas peneliti dan pegiat nanoteknologi.
2. Pemberdayaan SDM baik di dalam dan di luar negeri (*brain drain* → *brain gain* → *brain circulate*).
3. Riset bersama dan membuka fasilitas riset bersama serta pembangunan Pusat Riset dan Pengembangan Nanoteknologi.
4. Pembuatan grand strategi pengembangan nanoteknologi Indonesia.

5. Inventarisasi dan pemberdayaan potensi sumber daya nasional.
6. Prioritas alokasi dana untuk riset unggulan di bidang nanoteknologi (nanomaterial, pangan dan pertanian, farmasi dan kesehatan serta energi).
7. Pemasyarakatan nanoteknologi kepada seluruh lapisan masyarakat umumnya dan anak-anak usia sekolah khususnya.

Oleh karena itu diharapkan adanya kerja keras dan elaborasi yang erat antar pihak peneliti, pendidik, industri, pemerintah dan pihak terkait lainnya untuk bisa mengaplikasikan dan mengawal langkah-langkah strategis di atas. Dengan demikian, diharapkan Indonesia dapat menjadi pemain utama dalam percaturan global dengan nanoteknologi yang dikembangkannya berbasis sumber daya yang dimilikinya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Nanobot Computers of the Future, [encarta.msn.com/future+generations.html](http://encarta.msn.com/future+generations.html)
2. Mike Tredler, "Nanotechnology: Get Real!", Center for Responsible Nanotechnology, [www.CRNano.org](http://www.CRNano.org)
3. Drexler, K Eric, "Productive nanosystems: the physics of molecular fabrication". *Physics Education* 40 (4) 339, 2005.
4. Nadpal, Radhika. MIT, *Programmable Materials*, 2000.
5. Toth-Fejel, Tihamer. 2004. "Modeling Kinematic Cellular Automata, Final Report." NASA Institute for Advanced Concepts, April 30 2004.
6. Maclurcan, Donald C. "Nanotechnology and Developing Countries Part 1: What Possibilities?" *Journal of Nanotechnology Online* Volume 1 September 2005.
7. Nurul T.R. "Nano-Edu: Pengenalan Nanoteknologi untuk Pelajar". Jakarta: Penerbit LIPi Press, 2006.
8. Kawai, Tomoji. "Nanotechnology", Tokyo: Ohmsha publisher, 2002.
9. Report of the Nanotechnology Strategy Group, Engineering and Physical Sciences Research Council, October 2006.
10. Nurul T. R. dan H. Suoyoshi, 2003, "Fe-C System Alloys Prepared by Mechanical Alloying and Powder Metallurgy", *Journal of the Japan Society of Powders and Powder Metallurgy*, 50, p. 976-980