

**NANO MATERIAL:
QUANTUM DOT, NANOPARTIKEL
PERAK, GRAPHENE, DAN
BAKTERI**

Wipsar Sunu Brams Dwandaru, Ph.D

Nurul Miftakhul Janah, S.Pd

**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014
TENTANG HAK CIPTA**

Pasal 2

Undang-Undang ini berlaku terhadap:

- a. semua Ciptaan dan produk Hak Terkait warga negara, penduduk, dan badan hukum Indonesia;
- b. semua Ciptaan dan produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia yang untuk pertama kali dilakukan Pengumuman di Indonesia;
- c. semua Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dan pengguna Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia dengan ketentuan:
 1. negaranya mempunyai perjanjian bilateral dengan negara Republik Indonesia mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait; atau
 2. negaranya dan negara Republik Indonesia merupakan pihak atau peserta dalam perjanjian multilateral yang sama mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait.

**BAB XVII
KETENTUAN PIDANA**

Pasal 112

Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (3) dan/atau Pasal 52 untuk Penggunaan Secara Komersial, dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp300.000.000,00 (tiga ratus juta rupiah).

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

**NANO MATERIAL:
QUANTUM DOT, NANOPARTIKEL
PERAK, GRAPHENE, DAN
BAKTERI**

**Wipsar Sunu Brams Dwandaru, Ph.D
Nurul Miftakhul Janah, S.Pd**



NANO MATERIAL: QUANTUM DOT, NANOPARTIKEL PERAK, GRAPHENE, DAN BAKTERI

Oleh:

Wipsar Sunu Brams Dwandaru, Ph.D

Nurul Miftakhul Janah, S.Pd

ISBN: 978-602-5566-92-9

Edisi Pertama

Diterbitkan dan dicetak oleh:

UNY Press

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Komplek Fakultas Teknik UNY

Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Telp: 0274 – 589346

Mail: unypress.yogyakarta@gmail.com

© 2018 Wipsar Sunu Brams Dwandaru, Ph.D

Nurul Miftakhul Janah, S.Pd

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)

Desain Sampul: Ngadimin

Tata Letak: Rizky Ariadi

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Wipsar Sunu Brams Dwandaru, Ph.D

Nurul Miftakhul Janah, S.Pd

-Ed.1, Cet.1.- Yogyakarta: UNY Press 2018

viii +158 hlm; 18,2 x 25,7 cm

ISBN: 978-602-5566-92-9

1. NANO MATERIAL:

QUANTUM DOT, NANOPARTIKEL PERAK, GRAPHENE, DAN
BAKTERI

1.judul

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang rahmat dan hidayahnya, menuntun kami sehingga buku yang berjudul **Nanomaterial** ini dapat kami selesaikan dengan sebaik-baiknya. Pada prinsipnya, buku ini berisi berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis maupun para mahasiswa yang berada di bawah bimbingan penulis. Semua pembahasan dalam buku ini, seluruhnya terkait dengan hasil-hasil penelitian di bidang nanosains dan nanoteknologi. Begitu banyaknya penelitian yang terkait dengan bidang nanosains dan nanoteknologi sehingga kami hanya membatasi diri pada kuantum dot, nanopartikel perak, graphene atau *graphene oxide* (GO), dan bakteri *E. coli* sebagai bionanomaterial.

Perlu ditekankan sekali lagi bahwa nanosains dan nanoteknologi merupakan salah satu bidang kajian ilmiah yang saat ini sedang berkembang dengan pesat. Oleh karena itu, Indonesia, sebagai salah satu bangsa yang memiliki kemampuan sumber daya alam dan sumber daya manusia yang berlimpah jangan sampai tertinggal dengan kemajuan nanosains dan nanoteknologi. Walaupun masyarakat Indonesia adalah target konsumen dari berbagai Negara penghasil berbagai produk berbasis nanoteknologi, namun insan cendekiawan Indonesia hendaknya juga ikut mengawal perkembangan nanoteknologi sehingga menjadikan masyarakat Indonesia sebagai warga yang cerdas dan selektif dalam menanggapi berbagai kemajuan teknologi. Untuk itulah buku ini disusun. Secara umum, buku ini disusun untuk menambah wawasan masyarakat umum tentang perkembangan nanosains dan nanoteknologi. Penulis ingin

menyakinkan masyarakat bahwa bangsa Indonesia pun dapat melakukan penelitian-penelitian sederhana terkait nanosains dan nanoteknologi. Secara khusus, buku ini disusun agar civitas akademika, terutama para mahasiswa, baik tingkat S1 maupun S2, dapat memiliki gambaran tentang penelitian di bidang nanosains dan nanoteknologi sehingga mereka termotivasi untuk melakukan penelitian mereka sendiri.

Lebih penting lagi, buku ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bantuan berbagai pihak. Pertama-tama, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Kantor Wakil Rektor I Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan dana bantuan dalam pembuatan buku ini. Selanjutnya, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Ibu Evy Yulianti, dosen jurusan pendidikan Biologi, FMIPA, UNY, telah meluangkan waktunya untuk membantu dalam melakukan penelitian tentang bakteri sebagai bionanomaterial. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Denny Darmawan, M.Sc., yang telah membantu penulis dalam memahami gejala-gejala fisis yang terjadi dalam kuantum dot. Tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada para mahasiswa yang telah lulus sarjana (S1) yang sekarang telah tersebar di seluruh Indonesia dalam mengumpulkan sebagian data-data dan pembahasan yang ada dalam buku ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Lia Desi Parwati, Emi, dan Cory yang telah membantu revisi buku ini. Tentu saja untuk semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu disini, kami juga mengucapkan terima kasih.

Terakhir, tak ada gading yang tak retak, begitu pula dengan buku ini, pasti masih ada kekurangannya. Oleh karena itu, masukan dan kritik dari para pembaca sangat kami harapkan.

Yogyakarta, November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB I APA ITU NANO?.....	1
BAB II GEMERLAP DUNIA NANO	7
BAB III SEJARAH NANOSAINS DAN NANOTEKNOLOGI	15
BAB IV SEKILAS TENTANG NANOMATERIAL	21
BAB V TWO DIMENSIONS MODELLING OF QUANTUM DOT	25
A. INTRODUCTION.....	25
B. DFT : THE TF ENERGY FUNCTIONAL.....	31
C. THE TASEP IN 1D.....	33
D. COMPUTATIONS	35
E. THE DENSITY PROFILE AND OSCILLATION STRENGTH VIA TF ENERGY FUNCTIONAL.....	38
F. THE DENSITY AND CURRENT DENSITY VIA THE TASEP...43	
BAB VI NANOPARTIKEL PERAK.....	47
A. DEFINISI DAN SIFAT-SIFAT FISISNYA	47
B. SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK.....	49
C. KARAKTERISASI NANOPARTIKEL PERAK.....	50
D. GRAFIK PERILAKU KENAIKAN DAN PENURUNAN (EFEK MPEMBA) SUHU NANOPARTIKEL PERAK	60

E. PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PERAK KE DALAM SEL...	70
F. PENAMBAHAN NANOPARTIKEL KE DALAM CAT DINDING	85
G. PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PERAK DALAM GERABAH TERHADAP POROSITAS DAN KUAT TEKAN GERABAH	98
 BAB VII GRAPHENE.....	 105
A. DEFINISI DAN SIFAT-SIFAT FISISNYA	105
B. METODE SINTESIS GRAPHENE	108
C. KARAKTERISASI GRAPHENE	110
D. KARAKTERISASI SERBUK PENSIL HASIL EKSFOLIASI MEKANIK.....	118
E. KARAKTERISASI OPTIS SERBUK PENSIL HASIL ESFIOLASI MEKANIK MENGGUNAKAN BLENDER.....	127
F. KARAKTERISASI OPTIS SERBUK PENSIL HASIL EKSFOLIASI MEKANIK DAN ULTRASONIKASI.....	136
 BAB VIII PREPARASI DAN ISOLASI DNA BAKTERI E.COLI SEBAGAI NANOBIOMATERIAL	 143
A. SEKILAS TENTANG DNA SEBAGAI NANOBIOMATERIAL	143
B. CARA KERJA	149
C. HASIL UV-Vis.....	152
 DAFTAR PUSTAKA.....	 155

BAB I

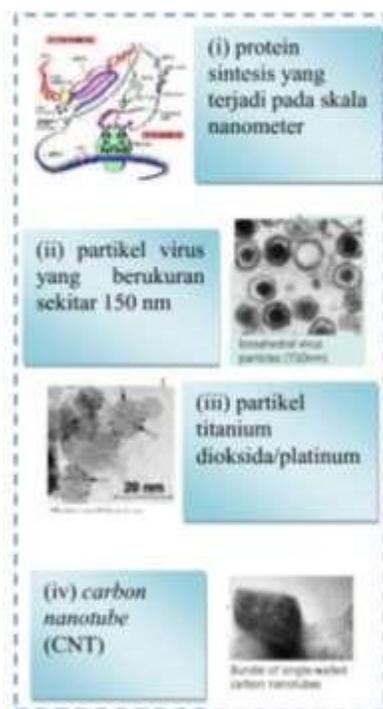
APA ITU NANO?



Gambar 1.1 Perbandingan suatu ukuran partikel dalam skala 1 cm sampai skala 1 nm.

'Nano' merupakan salah satu istilah yang digunakan dalam satuan skala pengukuran dan bernilai 10^{-9} . Semisal dalam satuan panjang, maka istilah ini ditempatkan sebelum kata 'meter', yakni nanometer atau disingkat nm. Aturan konversinya menjadi $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ meter}$. Satu nanometer sama dengan seperseribu mikrometer, atau seper satu juta millimeter, atau seper satu miliar meter (Abdullah, 2009).

Dengan demikian, dalam konteks besaran panjang, 1 nanometer memang sangat kecil. Sebagai ilustrasi ukuran nanometer ini, jika dianggap bahwa jari-jari bumi ini adalah 1 meter, maka jari-jari bola sepak adalah sekitar 1 nanometer. Perspektif lain dari perbandingan ukuran panjang suatu material dapat dilihat dari perbesaran mata lalat pada Gambar 1.1. Berbagai contoh gejala maupun obyek alam yang berada pada ukuran nanometer, dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Gejala dan berbagai material yang berukuran nanometer.

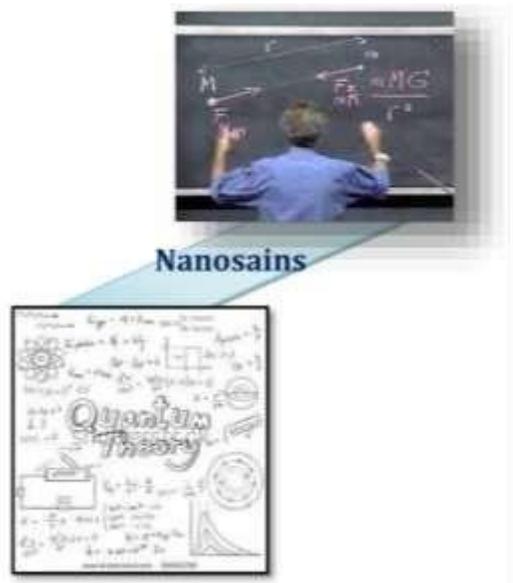
Berbagai gejala dan obyek fisis dalam orde nanometer di atas tidak dapat diamati tanpa adanya alat bantu pengamatan. Dengan demikian, dunia 'nano' berada dalam dunia mesoskopis.

Dunia mesoskopis merupakan perbatasan antara dunia mikroskopis dan dunia makroskopis.



Gambar 1.3 Alat bantu mikroskop elektron.

Seperti telah diketahui sebelumnya, perilaku fisis dan kimiawi dalam dunia mikroskopis berbeda dengan perilaku dalam dunia makroskopis. Jika dunia makroskopis dapat dibahas melalui hukum Newton dan teori relativistik, dunia mikroskopis tidak lagi sesuai dengan hukum Newton. Oleh karena itu, diperlukan sebuah konsep yang dapat menangani gejala alam yang berada dalam ukuran submikroskopis. Konsep yang dapat digunakan tidak lain adalah mekanika kuantum. Dengan demikian, secara konseptual, nanosains dan nanoteknologi dapat dipelajari menggunakan hukum-hukum Fisika Klasik maupun menggunakan Fisika Kuantum.



Gambar 1.4 Nanosains dapat dipelajari secara klasik menggunakan hukum Newton ataupun didekati menggunakan teori Kuantum.

Tentu saja, konsep seperti apa yang digunakan untuk menjelaskan gejala di skala nano bergantung dari sistem apa yang sedang dipelajari. Sebagai contohnya, sifat kelistrikan dari sistem kuantum dot dapat dipejari menggunakan konsep mekanika kuantum, sedangkan perilaku larutan nanopartikel sebagai koloid dapat dibahas menggunakan konsep *classical density functional theory* (DFT) [teori fungsional kerapatan (TFK) klasik] didasarkan pada Fisika Statistika Klasik.

Sepaham dengan definisi 'nano' di atas, istilah 'nanoteknologi' dapat didefinisikan sebagai desain, karakterisasi, produksi, dan aplikasi material, divais, dan sistem-sistem dengan cara mengendalikan bentuk dan ukuran pada skala nano. Sedangkan, nanosains dapat diartikan sebagai studi tentang fenomena dan manipulasi bahan pada skala molekuler dan makromolekuler, dimana sifatnya berbeda secara signifikan dari

bahan bongkahannya (*bulk*). Nanosains juga dapat berarti usaha peneliti untuk mempelajari tentang sifat fisika dan kimia suatu bahan pada skala nano atau disebut sebagai struktur nano. Obyek tersebut dapat dibuat secara sengaja oleh manusia ataupun sudah ada dari alam secara alamiah.

Secara teknis, seringkali pembatasan nanosains dan nanoteknologi adalah adanya skala panjang pada rentang 1 – 100 nm. Dengan demikian, yang dimaksud dengan nanomaterial di sini adalah berbagai material yang telah ada atau disintesis dengan rentang ukuran 1 – 100 nm. Sebelum digunakan istilah 'nano', partikel yang berada pada rentang 1 – 100 nm disebut sebagai *super fine particle* (partikel super halus). Sedangkan partikel-partikel yang berada pada rentang 100 – 1000 nm disebut sebagai *very fine particle* (partikel sangat halus). Salah satu produk dari nanomaterial adalah nanopartikel. Nanopartikel dapat berupa logam, oksida logam, semikonduktor, polimer, material karbon, dan senyawa organik (Bakir, 2011: 1).***

BAB II

GEMERLAP DUNIA NANO

Dewasa ini, kemajuan teknologi yang cukup pesat berkaitan erat dengan nanoteknologi. Riset dan inovasi yang berkaitan dengan nanoteknologi sedang gencar dilakukan oleh para ilmuwan di seluruh penjuru dunia. Para peneliti atau ilmuwan sedang berlomba untuk menemukan karya baru dalam dunia yang berskala nano. Nanosains dan nanoteknologi banyak memberikan keuntungan, baik dalam bidang industri, kesehatan, dan lain sebagainya (lihat Gambar 2.1).

Meskipun sifat-sifat luar biasa telah berhasil didemokan, namun penetrasi pasar inovasi nano dapat diduga berlangsung sangat lambat karena tradisi *lowtech* cukup mengakar di industri ini. Salah satu hal yang menarik dalam dunia nanoteknologi adalah penciptaan material baru yang berskala nanometer. Material baru ini memiliki kualitas lebih baik dari material yang sudah ada atau sudah ditemukan sebelumnya.



Gambar 2.1 Berbagai aplikasi nanosains dan nanoteknologi dalam kehidupan sehari-hari.

Nanoteknologi sepertinya hadir lebih cepat dibandingkan dengan teknologi-teknologi lainnya seperti mesin uap dan

komputer. Sebagai gambaran betapa cepatnya kehadiran nanoteknologi dapat dilihat dengan kenyataan bahwa ISO telah membentuk Komite Teknis (*Technical Committee: TC 2009*) yang dikhususkan untuk menangani nanoteknologi tersebut.

Penelitian dan pengembangan nanoteknologi di Indonesia sudah dimulai di beberapa lembaga riset seperti LIPI, BATAN, BPPT, LAPAN, atau beberapa universitas di Indonesia, yakni ITB, UI, ITS, dan UGM. Oleh karena itu, perhatian dan intensitas penelitian nanoteknologi di Indonesia harus segera ditingkatkan, mengingat negara-negara lain juga belum lama merintisnya dan peluang serta potensi yang sangat besar yang dimiliki Indonesia.

Satu kenyataan yang unik tentang nanoteknologi adalah jangkauan keilmuannya yang bersifat interdisipliner. Satu bidang kajian terkait dengan bidang kajian lainnya. Sebagai contoh, ilmu Fisika terkait dengan ilmu Kimia untuk menghasilkan berbagai aplikasi dalam bidang medis, alat rumah tangga, militer, dan lainnya. Ilmu-ilmu Fisika dan Biologi saling bekerjasama untuk menghasilkan teknologi di bidang lingkungan hidup dan bioteknologi. Sedangkan, ilmu-ilmu Kimia dan Biologi saling berkolaborasi untuk menghasilkan kemajuan di bidang kosmetik dan industri makanan. Dengan demikian, jangkauan nanosains dan nanoteknologi sebenarnya sangat luas.

Akibat perkembangannya yang amat cepat, aplikasi nanoteknologi dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yakni: (i) nanoteknologi bertahap, (ii) nanoteknologi evolusioner, dan (iii) nanoteknologi radikal. Nanoteknologi bertahap adalah aplikasi nanoteknologi yang bersifat jangka pendek. Berbagai penemuan yang cepat terjadi dan dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama. Nanoteknologi evolusioner adalah aplikasi nanoteknologi yang belum terwujudkan dalam jangka pendek. Dengan demikian, saat

ini masih dalam tahap penelitian. Sedangkan nanoteknologi radikal adalah berbagai kemungkinan aplikasi yang di masa depan belum memungkinkan. Namun demikian, perlu dicatat pula bahwa sebelum perkembangan pesat nanoteknologi seperti saat ini, masyarakat jaman dahulu secara tidak sengaja telah menggunakan nanoteknologi dalam kehidupannya. Pada abad ke-10 sampai akhir tahun 1750, pedang-pedang yang diproduksi di Damaskus telah mengandung silinder nano karbon (*carbon nanotubes*). Oleh karena itu, pedang-pedang tersebut terlihat amat kuat. Para empu pedang tersebut tidak menyadari bahwa mereka telah mengaplikasikan nanoteknologi.

Aplikasi nanoteknologi di bidang elektronika bertumpu pada apa yang disebut sebagai *single electron devices* (divais elektron tunggal). Ini adalah divais yang berbasis hanya pada satu atau beberapa elektron saja. Elektron-elektron ini dapat dikendalikan dan diatur sepenuhnya. Tujuan utama aplikasi nanoteknologi di bidang elektronika adalah meningkatkan tenaga, kapasitas, dan kecepatan alat beberapa kali lipat dari yang ada sekarang ini.

Pada prinsipnya, aplikasi ini merupakan aplikasi yang evolusioner, yang hampir menjadi produk untuk konsumen. Sebagai contoh, untuk komputer, perakitan berbasis nanoteknologi akan dilakukan secara *bottom up*. Dengan demikian, hasil yang diharapkan antara lain, ukuran *chips* yang tiga sampai empat kali lebih kecil, daya dengan dua sampai tiga kali lebih besar, dan tidak diperlukan *start up time*. Lebih khusus lagi, untuk prosesor komputer, transistornya akan dibuat menggunakan karbon *nanotubes* yang memiliki arus dengan nilai dua kali lipat arus saat ini. Dengan demikian, diharapkan kinerja dari prosesor akan bertambah baik, sedangkan kebocoran makin kecil. Selain itu, memori komputer akan dirancang menggunakan nanodot (titik

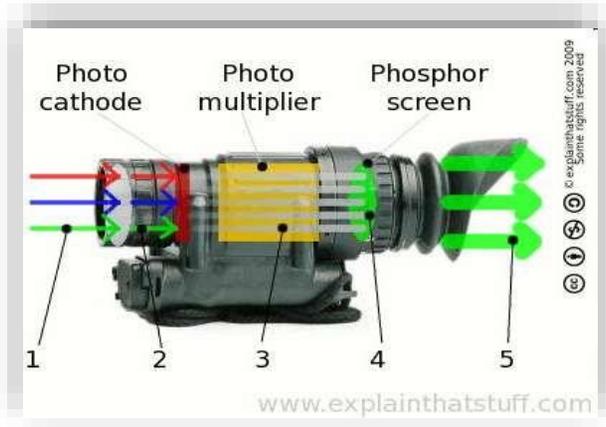
nano) berbasis nikel. Akibatnya, kapasitas simpanannya diharapkan dapat mencapai orde terabyte, sedangkan pengepakannya dapat lebih berdekatan karena mereka berperilaku sebagai bagian-bagian yang berdiri sendiri.

Nanoteknologi dalam bidang militer terkait dengan aplikasi ilmu-ilmu Fisika, Kimia, dan Biologi. Salah satu negara yang sedang mengembangkan nanoteknologi di bidang militer adalah Amerika Serikat. Dalam kesehariannya, militer Amerika Serikat menggunakan peralatan elektronik. Penginderaan di malam hari dan sensor suhu digunakan oleh tentara, pilot pesawat terbang, dan pesawat terbang tanpa awak. Nanoteknologi memberikan keuntungan bagi militer Amerika Serikat. Inti dari penginderaan malam hari (*night vision*) adalah lempeng *microchannel* (*micro channel plate* atau MCP). Elektron-elektron akan melewati ribuan *microchannel* yang nantinya akan melipatgandakan jumlah elektron. Selanjutnya, elektron-elektron tersebut akan melewati layar fosfor. Ilustrasi penginderaan malam hari dapat diamati pada Gambar 2.2.

Aplikasi nanoteknologi dalam industri otomotif terkait dengan berbagai hal antara lain: (i) pelapisan (*coating*) pada badan (*body*) mobil, (ii) aplikasi struktural, (iii) produk-produk di pasaran, dan (iv) aplikasi-aplikasi potensial lainnya. Pelapisan pada *body* mobil menggunakan nanopartikel akan memberikan berbagai keuntungan di antaranya, tiga kali lebih tahan terhadap goresan dan kecemerlangan yang lebih lama. Tujuan dari aplikasi struktural dalam industri otomotif adalah untuk mengurangi massa dari mobil tetapi tetap cukup kuat untuk menopang kerangka mobil. Hal ini akan berakibat pada makin hematnya penggunaan bahan bakar mobil.

Pelapisan pada pelindung angin (*windshield*) dapat menolak hujan, serangga, kotoran burung, cat semprot, ataupun cairan lainnya. Pemurni udara dalam mobil dapat membersihkan udara melalui reaksi fotokatalitik. Sebuah aplikasi potensial

nanoteknologi adalah pada pendingin mesin (lihat Gambar 2.3).



(a) Mekanisme berkas elektron bergerak sepanjang alat *night vision*.



(b) Hasil kenampakan suatu daerah jika diteropong melalui alat *night vision*.

Gambar 2.2. Teknologi penginderaan di malam hari.



Gambar 2.3 Berbagai aplikasi nanoteknologi di bidang otomotif.

Nanoteknologi juga dapat diaplikasikan pula pada industri konveksi (kain). Berbagai aplikasi nanoteknologi dalam industri konveksi antara lain: (i) tahan terhadap tumpahan dan kotoran, (ii) tahan air, (iii) tahan bau, dan (iv) kemampuan untuk menghantarkan listrik. Suatu bahan kain dapat dilapisi dengan serat polyester yang mengandung filamen-filamen nanosilikon. Lapisan filamen nanosilikon memiliki sifat hidrofobik (tidak menyukai air). Akibatnya, bahan kain akan mencegah air untuk membasahi bahan (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Aplikasi nanoteknologi pada industri kain. Bahan kain yang dilapisi filamen-filamen nanosilikon akan menahan air sehingga mencegah air untuk membasahi bahan kain.

Lapisan berskala nano juga dapat diberikan pada bahan optis seperti kaca atau kacamata sehingga bahan tersebut memiliki kemampuan anti- refleksi terhadap cahaya matahari maupun sinar infra merah.

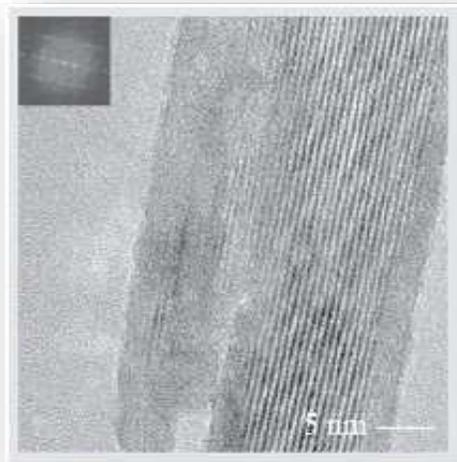
Para ilmuwan dan pembuat kebijakan (pemerintah) juga sedang memperdebatkan implikasi dan dampak nanosains dan nanoteknologi, terutama di masa depan. Tentu saja nanosains dan nanoteknologi akan menyuguhkan berbagai bahan, material, dan perangkat, serta divais baru dengan berbagai macam aplikasi dalam berbagai bidang kehidupan seperti yang telah diulas di atas. Namun demikian, di sisi lain, nanoteknologi dapat pula berpotensi memunculkan berbagai permasalahan sebagaimana teknologi

baru lainnya, termasuk di dalamnya toksisitas, pencemaran, dan dampak lingkungan lainnya dari limbah nanomaterial. Perkembangan nanomaterial dapat ber-efek pula pada perubahan ekonomi global dan usaha berbagai negara berkembang di dunia untuk menyesuaikan dengan teknologi baru ini. Berbagai negara yang telah menginvestasikan anggaran mereka dalam pengembangan nanoteknologi di antaranya adalah Amerika Serikat, berbagai negara di Eropa dan Uni Eropa, Jepang, Korea Selatan, dan Malaysia. Keprihatinan akan perkembangan pesat nanoteknologi ini menyebabkan perdebatan di kalangan advokasi dan pemerintah apakah diperlukan aturan atau regulasi khusus terkait nanoteknologi. Apa pendapatmu?***

BAB III

SEJARAH PERKEMBANGAN NANOSAINS DAN NANOTEKNOLOGI

Nanoteknologi telah dikenal oleh manusia jauh sebelum terciptanya istilah ‘nanoteknologi’ itu sendiri. Pada jaman sebelum terjadinya *booming* nanonteknologi saat ini, manusia secara **tidak sengaja** telah memanfaatkan teknologi pada ukuran nano.



Carbon nanotubes and carbon nanowires in Damascus steel sword.

Reibold, M., et al. "Carbon Nanotubes in an Ancient Damascus Sabre." *Nature* 444 (2006).

Gambar 3.1 Carbon nanotubes dan carbon nanowires pada pedang besi di Damascus.

Manusia saat itu **tidak menyadari** bahwa piranti atau alat yang mereka buat mengandung material yang berukuran nano. Sebagai contohnya, sekitar tahun 1100-an, tanpa disadari, pedang-pedang metal paling kuat yang telah

dibuat oleh orang-orang Arab di Damaskus, telah mengandung *carbon nanotubes* (CNT). Hal ini dapat dilihat pada gambar di atas.

Selain itu, bangsa Romawi memiliki sebuah cawan yang disebut sebagai *Lycurgus cup*. Cawan atau cangkir ini tersusun dari 40 ppm nanopartikel emas dan 300 ppm nanopartikel perak. Oleh karena itu, jika cahaya putih (matahari) dipantulkan, cawan berwarna hijau, sedangkan jika cahaya ditransmisikan, cawan akan berwarna merah. Hal ini dapat diamati pada Gambar 3.2.



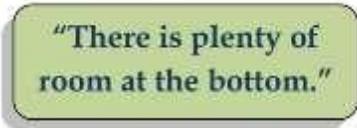
References: (1) Paul Mulvaney, Not all That's Gold Does Glitter, MRS Bulletin, December 2001, pg.'s 1009-1013

(2) Barber, D J and Freestone, I C, An investigation of the origin of the colour of the Lycurgus Cup by analytical transmission electron microscopy, *Archaeometry*, 32 (1), 33-45, 1990.

Gambar 3.2 Sebuah artefak bangsa Romawi yang memanfaatkan teknologi nano.

Walau sudah digunakan sejak ribuan tahun yang lalu, mengapa baru sekarang nanoteknologi mengalami *booming*? Hal ini tidak terlepas dari dua penyebab, yaitu: i) saat ini manusia dapat **secara sadar mengontrol** dan **mereproduksi** berbagai material dalam ukuran nanometer, dan ii) manusia dapat **mengamati** atau melihat material ukuran nano yang telah dihasilkan menggunakan berbagai alat yang canggih seperti mikroskop elektron.

Oleh sebab itulah, kesadaran manusia akan peluang, potensi, dan keunggulan nanoteknologi mulai dibahas sekitar tahun 1959 oleh seorang Fisikawan Amerika Serikat pemenang hadiah Nobel untuk Fisika, Richard Feynman, dalam salah satu kuliah umumnya, dengan menyatakan:



**"There is plenty of
room at the bottom."**

Jika diterjemahkan, pernyataan tersebut berarti 'masih banyak tempat di bawah'. Berkembangnya ilmu Fisika Kuantum pada awal abad ke-20 mengakibatkan terbukanya peluang diciptakannya berbagai teknologi pada tingkat atomik. Dengan demikian, berbagai gejala alam yang terjadi pada tingkat molekuler maupun pada skala atomik dapat dikontrol, diproduksi, dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan manusia. Feynman mengilustrasikan terbuka lebarnya peluang memanipulasi langsung material dalam ukurannya yang sangat kecil (atom) sehingga dihasilkan berbagai produk yang berukuran nano. Kuliah umum oleh Feynman ini dianggap sebagai tonggak dimulainya segala pemikiran tentang nanosains dan nanoteknologi

Istilah ‘nanoteknologi’ sendiri pertama kali digunakan oleh Norio Taniguchi pada tahun 1974, meskipun saat itu istilah tersebut belum banyak dikenal. Taniguchi memperkenalkan istilah ‘nanoteknologi’ dalam forum internasional terkait dengan produksi industri untuk menjelaskan pemrosesan material dan pembuatan mekanisme berukuran nano. Pada tahun 1986, E. Drexler menggunakan lebih lanjut istilah ‘nanoteknologi’ dalam bukunya yang berjudul “*Vehicle of Creation: the Arrival of the Nanotechnology Era*”. Terinspirasi oleh ide Feynman tentang strategi nanoteknologi, Drexler mengemukakan idenya tentang nano *assembler*, yakni suatu mesin canggih yang mampu menyalin dan mengkonstruksi ulang dirinya sendiri dalam ukuran nano. Lebih jauh, Drexler mendirikan sebuah institusi, yakni The Foresight Institute yang bertujuan untuk membuka wawasan khalayak umum akan konsep nanoteknologi dan dampak yang mungkin dimunculkan.

Kemajuan metode Fisika eksperimentasi dalam skala submikroskopik, termasuk di dalamnya penemuan mikroskop elektron pada tahun 1981 turut serta memicu perkembangan nanoteknologi di era modern. Mikroskop ini dapat memberikan visualisasi dan manipulasi material pada tingkat atomik yang belum pernah terjadi sebelumnya. Pada tahun 1986, Gerd Binnig dan Heinrich Rohrer dari IBM Zurich Research Laboratory menerima hadiah Nobel dalam bidang Fisika untuk jasa mereka dalam pengembangan mikroskop elektron.

Salah satu penelitian paling awal yang bertajuk nanoteknologi adalah struktur karbon C₆₀ atau *buckyball*. Material ini merupakan bagian dari struktur karbon yang disebut sebagai fullerene. Fullerene sendiri ditemukan oleh H. Kroto, R.

Smalley, dan R. Curl pada tahun 1985 dan membagi perolehan hadiah Nobel Kimia pada tahun 1996 atas penemuan ini. Pada awalnya, penelitian tentang C60 tidak terkait dengan istilah nanoteknologi. Istilah ini lebih dipandang sebagai penelitian yang terkait dengan *carbon nanotube* (CNT) yang dipercaya memiliki aplikasi potensial dalam dunia elektronika dan divais.

Selanjutnya, pada awal abad ke-21, meningkatnya berbagai penelitian ilmiah di bidang nanosains dan nanoteknologi menyebabkan semakin besarnya perhatian publik dan komersialisasi terhadap produk-produk yang berbasis teknologi nano. Hal ini menyebabkan dua hal sekaligus, yaitu: kemajuan dan kontroversi. Munculnya kontroversi tentang aplikasi teknologi ditengarai oleh definisi dan implikasi atau dampak tertentu dari teknologi nano. Hal ini dipertajam lagi oleh adanya perdebatan publik antara Drexler dan Smalley pada tahun 2001 dan 2003 mengenai kelayakan berbagai aplikasi jangka panjang nanoteknologi molekular.

Sementara itu, komersialisasi berbagai produk hasil teknologi nano mulai bermunculan. Produk-produk yang dihasilkan ini masih terkungkung pada aplikasi berbagai nano material yang belum atau tidak melibatkan manipulasi materi tingkat atomik. Beberapa contoh di antaranya adalah penggunaan nano partikel perak sebagai anti-bakteri, tabir surya transparan berbasis partikel nano, serat karbon yang diperkuat dengan partikel nano silika, dan tekstil tahan (anti) noda menggunakan CNT.

Pada saat itu pula, pemerintah dari berbagai negara (AS dan negara-negara Eropa) yang tidak ingin ketinggalan dalam prospek nanoteknologi di masa depan telah mengalokasikan dana

anggaran negaranya untuk penelitian dan pengembangan nanoteknologi. Entusiasme publik dan pemerintah terus berkembang hingga penelitian ilmiah yang lebih serius berkembang. Hal ini terutama ditandai dengan munculnya berbagai proyek untuk menghasilkan *roadmap* nanoteknologi yang difokuskan pada manipulasi material pada skala atomik terkait dengan proyeksi kemampuan, tujuan, dan aplikasi di masa depan.***

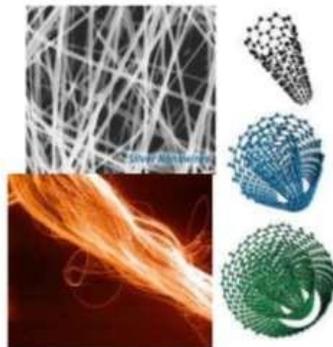
BAB IV

SEKILAS TENTANG NANOMATERIAL

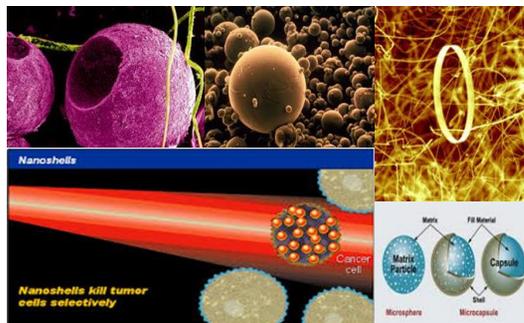
Nanomaterial adalah sembarang objek atau material yang salah satu dimensi spasialnya minimal berukuran antara 1 – 100 nm. Dimensi ruang suatu material dapat terwujud dalam tiga dimensi. Jika material tersebut memiliki ukuran nano dalam satu dimensi saja (Gambar 4.1), misalnya, ketebalan, sedangkan panjang dan lebarnya bebas, maka dapat diperoleh lapisan *graphene*, lapisan tipis, dan pelapis (*coatings*). Jika material tersebut memiliki ukuran nano dalam dua dimensi (Gambar 4.2), semisal, tebal dan lebar, maka dapat diperoleh kabel nano (*nanowires*) atau kabel kuantum (*quantum wires*), tabung nano (*nanotubes*), dan serat nano (*nanofibers*). Terakhir, jika material tersebut berukuran nano dalam tiga dimensi (Gambar 4.3), maka akan diperoleh kuantum dot (*quantum dot*), partikel nano (*nanoparticles*), cincin nano (*nanorings*), tempurung nano (*nanoshells*), dan kapsul mikro (*microcapsules*). Masih banyak pula nanomaterial dengan bentuk dan wujud tertentu sesuai dengan spesifikasi aplikasinya, seperti batang nano (*nanorods*) dan *nanoflakes*.



Gambar 4.1. Berbagai nanomaterial yang satu dimensinya berukuran nano.



Gambar 4.2. Berbagai material yang berukuran nano dalam dua dimensi.



Gambar 4.3. Berbagai nanomaterial tiga dimensi.

Menarik pula untuk diperhatikan ukuran minimum untuk sebuah material nano adalah 1 nm. Barangkali ada yang bertanya mengapa ukuran minimum untuk menjadikan sebuah objek

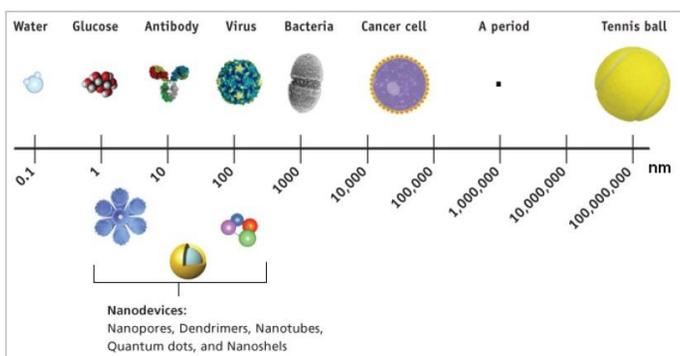
sebagai nanomaterial adalah 1 nm. Ukuran minimum ini didefinisikan untuk membedakan objek atau partikel lain yang berukuran lebih kecil daripada ukuran nanometer. Jika ukuran objek lebih kecil daripada 1 nm, maka objek tersebut sudah tergolong dalam material atomik. Dalam hal ini, hendaknya dibedakan antara material yang berukuran atomik ($\sim 10^{-10}$ meter) dengan material yang berukuran nano ($\sim 10^{-9}$ meter). Walaupun dalam kedua orde ukuran ini, efek kuantum muncul dan berperan penting, namun demikian, cara melakukan berbagai manipulasi material pada kedua ukuran ini tetap berbeda. Sebagai contohnya, sebuah kuantum dot yang juga dikenal sebagai 'atom buatan' atau '*artificial atom*' memiliki sifat-sifat fisis yang mirip dengan atom, namun demikian, sifat-sifat fisis ini dapat diubah atau dimanipulasi dengan mengubah tegangan yang diberikan. Hal ini berbeda dengan sifat atom yang bergantung pada masing-masing elektron valensinya. Dengan demikian, nanomaterial juga didefinisikan sebagai objek fisis yang merupakan kumpulan partikel-partikel berukuran minimal 1 nm.

Di sisi lain, dapat dipertanyakan pula mengapa batas atas nanomaterial adalah 100 nm. Mengapa tidak 150 nm, 500 nm, atau bahkan 1000 nm (1 micron)? Pada prinsipnya, pembedaan batas atas material nano tidak semata-mata hanya karena ukuran 'material nano' yang lebih kecil dari 100 nm. Dengan demikian, batas atas 100 nm ini sebenarnya bukanlah pembatasan yang begitu tegas, karena terkadang material yang berukuran 200 nm pun disebut sebagai nanomaterial.

Namun lebih dari itu, batas atas nanomaterial hendaknya didasarkan pada kemunculan sifat fisis yang tidak terjadi pada ukuran material makro, yang salah satunya adalah efek kuantum. Ukuran nanomaterial ini terbedakan ketika material atau bahan tersebut mengalami perubahan sifat-sifat fisis dan kimiawi ketika

ukurannya diperkecil. Hal ini ditandai dengan kemunculan sifat-sifat mekanik, konduktivitas listrik, konduktivitas kalor, dan lain sebagainya yang lebih baik dibandingkan dengan material berukuran makro. Untuk menunjukkan betapa kecilnya ukuran nano ini, maka dapat diamati Gambar 4.4. Dalam gambar tersebut diilustrasikan berbagai material berdasarkan ukurannya dari 0,1 nm (atom air) sampai 10^8 nm (bola tenis).

Menurut proses terjadinya, nanomaterial dapat dibagi menjadi dua, yaitu i) nanomaterial terbuat secara alamiah dan ii) nanomaterial yang sengaja dibuat. Nanomaterial yang pertama disebutkan terkait dengan berbagai material berukuran nano yang terbuat secara alamiah dalam lingkungan ataupun tanpa disadari pembuatannya oleh manusia. Contohnya, protein, virus, jelaga karbon dari teplok dan lilin, gas dari letusan gunung berapi, material dari asap pembuangan kendaraan bermotor atau pabrik. Nanomaterial yang sengaja dibuat manusia biasanya melalui proses produksi atau fabrikasi yang tertentu dan jelas, seperti kuantum dot untuk layar TV (QDTV), graphene oxide (GO) sebagai penyaring air, lapisan tipis untuk pembuatan sel surya berbasis pewarna (DSSC) dan lain sebagainya.***



Gambar 4.4. Perbandingan beberapa material menurut ukurannya. (Sumber: *A Snapshot of Nanotechnology*, National Cancer Institute)

BAB V

TWO DIMENSIONS MODELLING OF QUANTUM DOT

A. INTRODUCTION

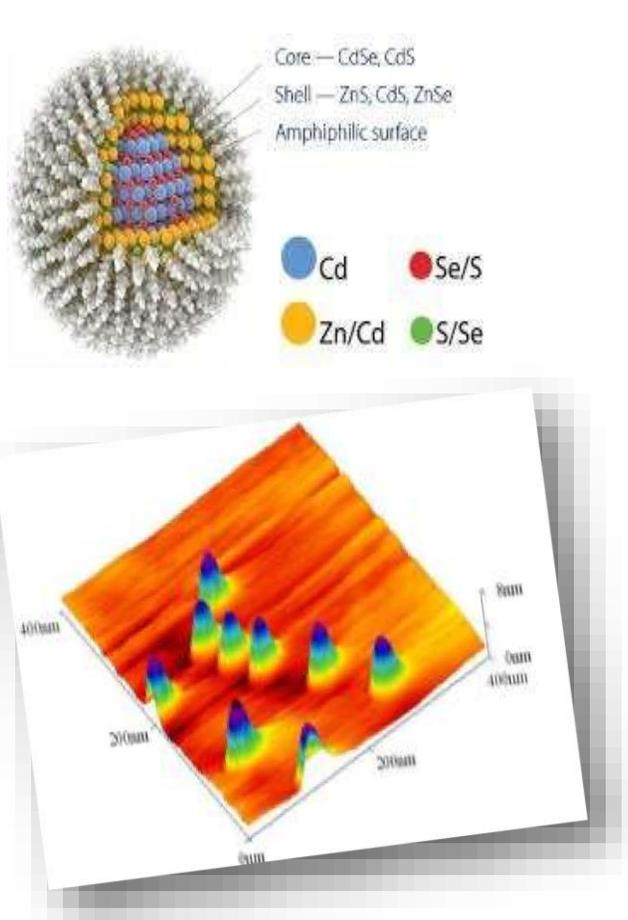


Figure 5.1 A model of quantum dot (top) and Atomic Force Microscope image of surface quantum dot (bottom).

Recent progress in semiconductor fabrication technology enables us to produce very small systems on a nanometer scale that can contain one electron only (Fig. 5.1). The motion of the electron in this system is restricted to a zero dimension, *i.e.* the electrons are confined and not free to move in any direction. Hence, a confinement of an electron in all its three spatial coordinates is designated as a quantum dot. It is in the mesoscopic regime because its size ranges from nanometers to a few microns.

A quantum dot may also be called an artificial atom because of its similar properties with an atomic system. A quantum dot resembles an atom although it is ten or hundreds times bigger than an actual atom, e.g. the Zeeman Effect and discrete energy levels, hence designating the quantum dot as an artificial atom. A quantum dot resembles an atom although it is ten or hundreds times bigger than an actual atom, e.g. the Zeeman Effect and discrete energy levels, hence designating the quantum dot as an artificial atom. The difference between a quantum dot and an atom is related to the confinement of electrons. Electrons in a quantum dot are confined in a larger space than those in an atom. Moreover, electrons in an atom are bound to the core, whereas those in a quantum dot can be made to move freely. In an atom, the Coulomb interaction restricts the movement of electrons in a small area near the core. The potential in a quantum dot does not attract the electron to the core but looks more like a harmonic trap that is defined by an external electrode (lateral quantum dot) or by a physical dimension (vertical quantum dot). Another interesting feature is that its physical properties depend on the voltage applied to the dot, whereas an atom depends upon its valence electrons.



Figure 5.2 Some applications of quantum dot (from left to right) top: 3D imaging, solar cell, and LED, and bottom: screen displays and organic dyes.

The quantum dot has been the subject of various applications including optical and optoelectronic devices, quantum computing, DNA testing, three dimensional (3D) imaging, and screen displays. A quantum dot has many applications also in electrical and optical devices such as quantum dot laser, photo detector, solar cell, LED, and sensors. Research of quantum dots is rapidly growing because of their great applications.

The confinement potential of electrons in a quantum dot is usually modeled using a potential well (quantum box) or a harmonic potential. In this case, we use the harmonic potential as the confinement potential. The implementation of a harmonic potential in a quantum dot is effective because in this case, the electronic properties of a quantum dot can be simply predicted. This potential takes the form of

$$V_{\text{ext}}(r) = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2, \quad (5.1)$$

where m is the mass of an electron and $m = 1$ in this study; ω is the strength of the harmonic potential; and r is the distance of the electron in the quantum dot.

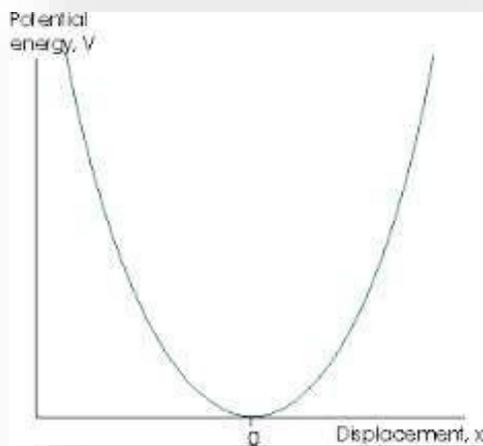


Figure 5.3 the harmonic potential

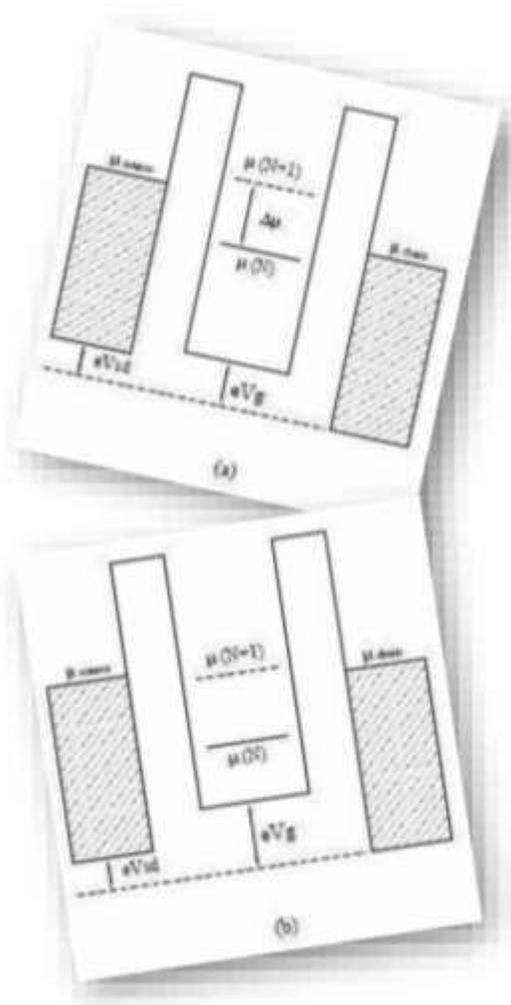


Figure 5.4 The energy diagram of a quantum dot where (a) is the Coulomb blockade and (b) is the SET.

In a quantum dot, the number of electrons inside the dot is controlled by a mechanism called Coulomb blockade. In order to briefly explain the Coulomb blockade, an energy diagram is given in Fig. 5.4(a) for the Coulomb blockade as well as its counterpart, in Fig. 5.4(b) for the SET.

A quantum dot mainly consists of three parts, i.e. a source, an island, and a drain. The source and drain are reservoirs of electrons which are going into and out of the dot (island), respectively. The island is where the electron is trapped. In order to switch from Coulomb blockade to the SET and vice versa, two kinds of voltages are applied, that is the source-drain (V_{sd}) and gate (V_g) voltages. The source and drain are regulated by their respective electrochemical potential, i.e.: μ_{source} and μ_{drain} , respectively. Both chemical potentials are connected through V_{sd} , that is, $eV_{sd} = (\mu_{source} - \mu_{drain})$, where the latter is called the transport window and e is the electron unit of charge. Now, the electrons inside the dot occupy the states up to $\mu(N)$, with N is the total number of electrons. Therefore, the next electron should occupy a higher state with electrochemical potential $\mu(N+1)$. But since $\mu(N+1) > \mu_{source}$ at zero temperature, electrons may not enter the dot. Furthermore, since $\mu(N) < \mu_{drain}$, electrons cannot exit the dot [see Fig. 5.4(a)]. Hence, electrons are confined inside the dot (island), which occurs for $k_B T \ll e^2/C$, where k_B is the Boltzmann constant, T is the temperature, and C is the total capacitance.

Another mechanism called SET may be considered such that an electron may tunnel through the dot. This may be observed in Fig. 5.4(b). In order that the SET may happen, V_g needs to be varied, so that $\mu(N+1) < \mu_{source}$. Therefore, an electron can enter the dot from the source. Since there is an electron in the dot, the state becomes higher, i.e. raising the next state higher than $\mu(N+1)$ preventing another electron to enter the dot as the chemical potential is higher than μ_{source} . Additionally, since $\mu(N+1) > \mu_{drain}$, the electron may exit the dot into the drain, resulting in the decrease of the chemical potential back to $\mu(N)$.

In this part, we would like to study the static and dynamic behavior of the electrons inside the quantum dot. To study the

static properties of the electrons, the density functional theory (DFT) is utilized. Furthermore, the dynamics of the electrons entering and exiting the dot is studied using a special dynamical model known as the totally asymmetric simple exclusion process (TASEP). A brief description is given for the DFT and TASEP below.

B. DFT : THE TF ENERGY FUNCTIONAL



Figure 5.5 L. Thomas (left) and E. Fermi (right) as the inventors of the Thomas-Fermi (TF) model.

The calculation of the ground state energy is useful to obtain information about the condition of a system, for example, in determining the entropy and the energy level. Determining the ground state energy can be conducted by various methods, and one of them is density functional theory (DFT). Generally, DFT has been applied to different physical systems such as spin polarized, multi component system, finite temperature, superconducting materials, time-dependent systems, and self-bound systems. However, research on a quantum dot system using DFT is not fully explored yet. Arguably the most simple form of the DFT is the Thomas-Fermi (TF) model (Fig. 5.5).

TF theory describes an approximation to the electron density, $\rho(r)$, and ground state energy, $E(N)$, for many atoms or molecules with many electron numbers, N . The TF functional energy is formulated as

$$E[\rho] = T[\rho] + E_{ee}[\rho] + \int V_{\text{ext}}(r)\rho(r)dr, \quad (5.2)$$

where the kinetic energy in two dimensions (2D), $T[\rho]$, is based on the Fermi–Dirac statistics for the homogeneous electron gas, *i.e.*,

$$T[\rho] = \frac{\pi}{2} \int \rho^2(r)dr, \quad (5.3)$$

where $E_{ee}[\rho]$ is the energy due to the electron–electron interactions, and $V_{\text{ext}}(r)$ is an external potential, which is the spherical harmonic oscillator potential in this case, given in Eq. (5.1).

As in orbital-free density functional theory (OF-DFT), the electronic density and ground state energy are obtained by minimizing the functional $E[\rho]$ with respect to $\rho(r)$ for a given V_{ext} , which is called the variational principle. The main principle of DFT can be expressed as:

$$\frac{\delta}{\delta\rho(r')} [E[\rho] - \mu(\rho(r)dr - N)] = 0. \quad (5.4)$$

The true density and ground state energy can be obtained using the variational principle of Eq. 5.4 with a certain constraint. For any density profile, the canonical distribution is usually used as a constraint, and the number of electrons, N , is constant or

$$2\pi \int r \rho(r) dr = N. \quad (5.5)$$

Furthermore, the Lagrange multiplier of the constraint is the chemical potential, μ . Most of the DFT scheme is a modification or a development of Thomas–Fermi theory. Therefore, the energy functional of the electrons in a quantum dot is given as

$$E[\rho] = \frac{\pi}{2} \int \rho^2(r) dr + \frac{1}{2} \iint \frac{\rho(r)\rho(r')}{|r-r'|} dr dr' + \pi\omega^2 \int r^3 \rho(r) dr. \quad (5.6)$$

Applying Eq. (5.4) to Eq. (5.6), we can derive the equation used to determine the electron density profile and energy as follows:

$$\rho(r) = \frac{1}{\pi} \left[\mu - \frac{1}{2} \int \frac{\rho(r')}{|r-r'|} dr' - \pi\omega^2 r^3 \right] \quad \text{[2][2][2][2]}$$

Eq. (5.7) may be considered a self-consistent equation, which can be solved numerically. Therefore, by solving Eq. (5.7), the density and energy of the quantum dot can be obtained.

C. THE TASEP IN 1D

The TASEP is a mathematical model for studying the physical aspects of many transport phenomena. This model is equipped with simple updating mechanisms and boundary conditions. In this model, hard core particles occupy a one dimensional (1D) discrete lattice sites. A particle in a certain site may only jump to its right nearest neighbor site so long if the right

nearest neighbor site is not occupied by any other particle. Here, we further simplify the model by only considering one site as the system and two additional sites on the left and right of the system as reservoirs. We calculate the density and current density of the TASEP of only one site in steady state. We use the results of the density and current density of the TASEP in order to gain some physical information about the dynamics of the Coulomb blockade and SET for the quantum dot in 2D.

The TASEP in 1D is a standard mathematical model which can be utilized to study many physical properties of dynamical system. This is a simple model where hard-core particles occupying a discrete lattice sites, $i \in L$, may jump to their respective right-nearest neighbor sites, $i+1 \in L$, provided that the right-nearest neighbor sites are not occupied by any other (hard-core) particle. The model is a renowned particle hopping model which is employed to investigate various transport phenomena, such as protein synthesis, motor protein in organism, the track of a group of insects, and road traffic congestions. Here, the TASEP is used to study the Coulomb blockade and the dynamical flow of an electron in the SET. Coulomb blockade and SET are basic concepts in the mechanism of nanoscale structure, i.e. the quantum dot in 2D.

In this case, the TASEP with a single site is utilized (see Fig. 5.6). This may be considered as the simplest arrangement of the model where only one site is used, i.e.: $i = N = 1$, with N is the total number of sites. Next, the single site is attached to two reservoirs at each end of the site. The left (right) reservoir, viz. $i = 0$ ($i = 2$) contains particles that may jump to (out of) the system (site $i = 1$) with input rate $\alpha(t)$ [output rate $\beta(t)$].

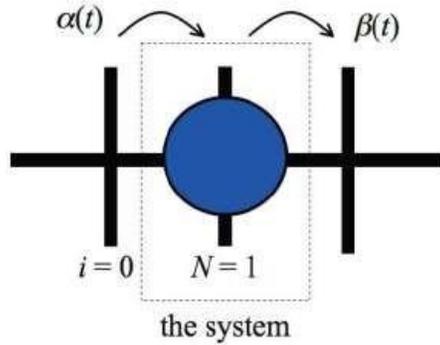


Figure 5.6 The TASEP that consists of only a single site, i.e. $N = 1$. The dark vertical lines are lattice sites labeled by $i = 0, 1, 2$. Site $i = 0$ and 2 are reservoirs of particles. The dark (blue) circle is a hard-core particle occupying the system. A particle may enter site $i = 1$ with an input hopping rate of $\alpha(t)$ if there is no particle occupying site $i = 1$. A particle occupying site $i = 1$ may exit the site with an output hopping rate of $\beta(t)$.

D. COMPUTATIONS

The main instruments used in this research are i) one unit of computer with an Intel (R) Core (TM) i3 CPU and 1.00 GB RAM, ii) Dev C++ language program, and iii) Microsoft Excel.

For studying the static properties of the quantum dot using the TF energy functional, the free variable is the distance from the center to one of the ends of the quantum dot; the dependent variables are the density, $\rho(r)$, and the ground state energy, E ; and the control variables are i) the number of electrons, N , ii) the external potential strength, ω , and iii) the chemical potential, μ .

To obtain the data of the electronic density inside the quantum dot, a program code is constructed using Dev C++ program (language). The number of electrons used in this study is $N = 2, 6, 12, 20$, and 56 . The reason for using the aforementioned numbers of electrons is that they are the magic numbers in the quantum dot, in which the system is stable because all the states

are full. Moreover, for $N = 6$ and $N = 56$, the density profile obtained from this study may be compared with those of other methods conducted previously. The algorithm of the programming code is given as follows: i) provide a first guess for the density profile, ii) determine the chemical potential, iii) calculate the true density using Eq. (7) with a constraint provided by (5), iv) calculate the ground state energy, and v) calculate the density with external potential strength variation.

On the other hand, a theoretical study of a connection between the mechanism of Coulomb blockade and single electron tunneling (SET) for the quantum dot in two dimensions (2D) using the totally asymmetric simple exclusion process (TASEP) consisting of only one site has been laid down Dwandaru and Darmawan (2016). A route taken in order to obtain the aforementioned relationship starts by constructing a relationship between the hard-core lattice gas model, the Coulomb blockade, and SET. Then the result of this relationship is applied to the TASEP. See Fig. 5.7. The final results are the density and the current density of an electron confined or tunnelling through the dot.

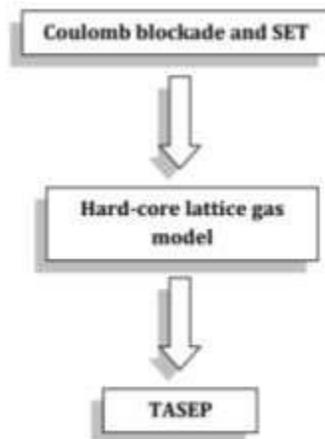


Figure 5.7 A route to obtain a connection between the TASEP with a single site, the Coulomb blockade, and SET.

Table 5.1 The connection between the components of the TASEP with a single site and Quantum dot.

No.	TASEP with a Single Site (<i>i</i> -th site)	connection	Quantum Dot
1.	0	\longleftrightarrow	source
2.	1	\longleftrightarrow	island
3.	2	\longleftrightarrow	drain

From the explanation above, we may observe a physical resemblance of the TASEP with a single site and the Quantum Dot (Table 5.8). The system (site $i = 1$) of the TASEP represents the dot (island), the reservoirs of the TASEP at site $i = 0$ and $i = 2$ represent the source and drain, respectively. The single particle occupation in the system of the TASEP is due to the hard-core interatomic potential between classical particles. This potential is obtained via a purely infinite repulsive potential between the centers of two particles until a certain interatomic distance. Beyond this latter distance, the particles are non-interacting. Hence, if there is a particle on site $i = 1$, then no other particle may sit on the site. However, the nature of the Coulomb blockade and SET is completely different from that of the hard-core potential. In Coulomb blockade and SET, the movement of an electron is caused by chemical potential differences between the source, island, and drain, through the two applied voltages. However, the two models look similar in the sense that there is only a single particle (electron) that may enter or exit the TASEP and SET. Hence, the confinement or tunneling of a single electron in the dot is somewhat similar to a classical particle occupying or jumping in the lattice sites. Therefore, a connection can be constructed between TASEP, Coulomb blockade, and SET.

E. THE DENSITY PROFILE AND OSCILLATION STRENGTH VIA TF ENERGY FUNCTIONAL

First, the density profiles with the number of particle variation in the quantum dot are determined, as shown in Figure 5.8. The horizontal axis is the distance, r , from the center until one end of the quantum dot, *i.e.*, from 0.0 until 10. The vertical axis is the value of the density profile from 0.0 until 1.0. The numbers of particles are $N = 2, 6, 12, 20$, and 56 electrons.

Figure 5.8 shows that the highest electron density is located at a distance that is closest to the center of the quantum dot for all numbers of electrons. The electron density decreases as the distance increases (going further away from the center of the quantum dot). Therefore, the lowest electron density is located at the edge of the quantum dot. Furthermore, it may also be observed that as the number of particles increases the density also increases.

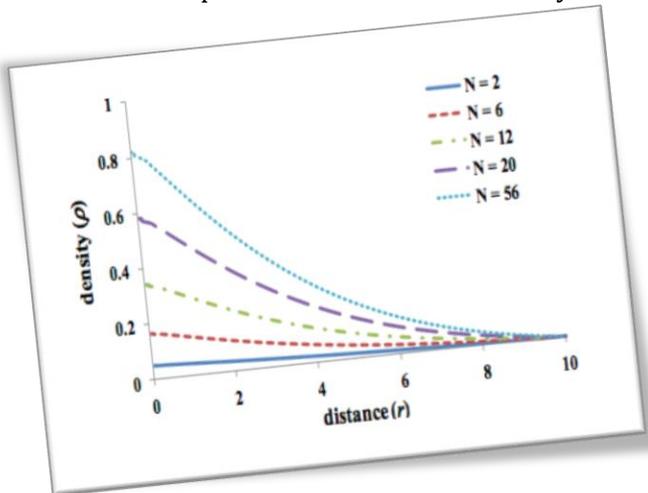


Figure 5.8. Density profiles, $\rho(r)$, as a function of the distance, r , inside a quantum dot in 2D with a number of electron (N) variations.

The density profile of the quantum dot obtained in Fig. 5.8 is also compared with that of other methods, as shown in Fig. 5.9,

which is obtained for $N = 6$. The first approach is the local density approximation (LDA) and the second is the fast approximation.

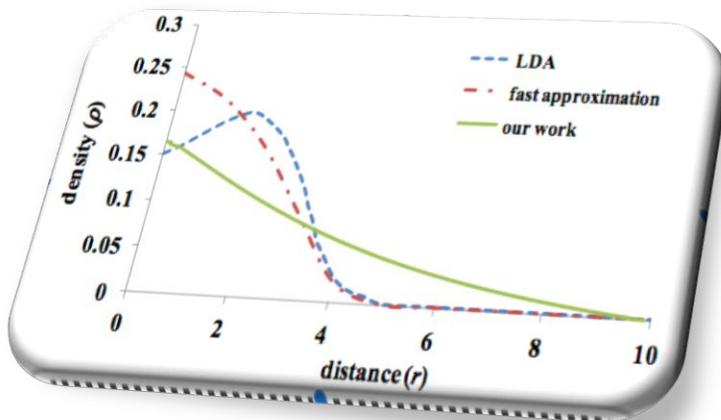


Figure 5.9. Comparison of the density profile of the quantum dot (solid line) with those of other methods, *i.e.*, LDA (blue dashed line) and fast approximation (red dashed-dotted line) with $N = 6$.

Quantitatively, our result (solid line) on the electron density profile for $N = 6$ is different from that in the other two approaches. However, qualitatively, the profile is quite appropriate. The highest density is located near the center or in the middle of the quantum dot. The density profiles decrease when the electrons are far away from the center. When the electrons are close to the center of the quantum dot, our result is slightly higher than the LDA result but lower than the fast approximation. The highest value of the density for our result is 0.163 compared with 0.243 for the fast approximation located at the center of the dot. For the LDA result, the highest density is obtained when r is about 0.2 au with a value of 0.15. For the LDA and the fast approximation methods, the density profiles go to zero at around 5 au, but this result is not obtained in this study.

Another density profile comparison is obtained for $N = 56$, as observed in Figure 3. Our result is the solid (green) line compared with the LDA (dashed-dotted line) and the fast approximation (dashed line) results.

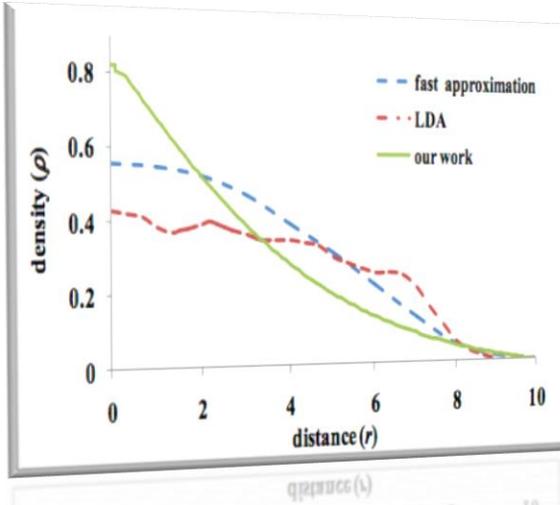


Figure 5.10. Comparison of the density profiles of the quantum dot (solid line) with those of other methods, *i.e.*, LDA (red dashed-dotted line) and fast approximation (blue dashed line) with $N = 56$.

Figure 5.10 shows that the density profile at the center of the quantum dot obtained from this work is higher than those of the other two approaches. However, away from the center of the dot, the density profile is lower than those of the LDA and fast approximation. When the density profile is further away from the center, our result is in accordance with the other two approaches. The differences in our results with those of other studies may be due to the fact that the exchange–correlation effect is not taken into account in this study. In the fast approximation approach, the electron–electron interaction is different from that used in this research, which is the Coulomb interaction in this case. For $N = 56$, the density profile generated in this study is higher than those of

the two other methods. In the LDA approach, the value fluctuates but remains decreasing when the density profile is farther away from the center of the quantum dot.

Second, the results for the ground state energies are presented. The results for the ground state energy with the number of particle variations are shown in Table 5.2. For comparison, Räsänen *et al.* (2012) reported for the value of $\omega^2 = 1$ and $N = 2$, the total energy of the ground state is 3 au. Clearly, our result of 2.2464 au is smaller. Again, this result may be caused by the Thomas–Fermi approach, which does not include the exchange–correlation interaction term. Increasing the number of particles increases the energy as well, as observed in Table 1.

Table 5.2. Ground state energy value of electrons in the quantum dot with various numbers of particles.

N	E (au)
2	2.464
6	22.260
12	90.196
20	252.437
56	496.658

Finally, the results for the density profiles with oscillation strength variation are presented. In this case, we study the effect of the oscillation strength variations on the density profiles of the electrons in the quantum dot, as shown in Figure 5.11.

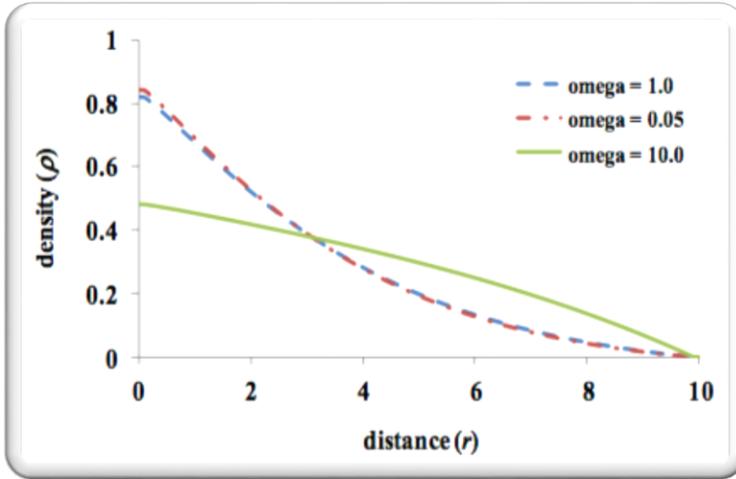


Figure 5.11. Density profiles of the electrons in the quantum dot with ω variations.

ω^2 shows the strength of the harmonic oscillator potential that traps the electron inside the quantum dot. The number of electrons used is $N = 56$ electrons. Figure 5.11 shows that increasing the oscillation strength tends to reduce the density at the center of the quantum dot. The difference in the density profiles for $\omega^2 = (0.05)^2$ and $\omega^2 = 1$ is very small. However, as the oscillation increases to $\omega^2 = 10^2$, the density decreases near the center of the quantum dot.

Finally, the conclusions may be elaborated as follows. The density profiles of electrons in the quantum dot are the highest at the center or in the middle of the quantum dot. The density decreases with the increasing distance, and the lowest density is at the farthest from the center of the quantum dot. Furthermore, as the number of electrons increases, the higher the ground state energy becomes. Finally, increasing the oscillation strength reduces the density profiles of the electrons around the center of the quantum dot.

F. THE DENSITY AND CURRENT DENSITY VIA THE TASEP

As mentioned above, the connection between the components of the TASEP and quantum dot is given in Table 5.1. Following the aforementioned connection, we may obtain a continuity equation, i.e.:

$$\frac{\partial \rho_1(t)}{\partial t} = J_{01}(t) - J_{12}(t), \quad (5.8)$$

where $\rho_1(t)$ is the density of an electron in the dot at time t , giving the average occupancy of an electron in the dot,

$$J_{01}(t) = \exp\left[\frac{e}{k_B T}(V_g - V_{sd})\right] \rho_0(t) (1 - \rho_1(t)), \quad (5.9)$$

is the current density of the electron entering the dot, and

$$J_{12}(t) = \exp\left[\frac{e}{k_B T}(V_g - V_{sd})\right] \rho_1(t) (1 - \rho_2(t)), \quad (5.10)$$

is the current density of the electron exiting the dot. It may be observed that the density and current densities of the electron depend upon V_{sd} and V_g . Furthermore, by setting the input and output rates as

$$\alpha(t) = \exp\left[\frac{e}{k_B T}(V_g - V_{sd})\right] \rho_0(t),$$

and

$$\beta(t) = \exp\left[\frac{e}{k_B T}(V_g - V_{sd})\right] (1 - \rho_2(t)),$$

respectively, we may modify Eqs. (5.9) and (5.10) to become

$$J_{01}(t) = \alpha(t)[1 - \rho_1(t)], \quad (5.11)$$

and

$$J_{12}(t) = \beta(t)\rho_1(t), \quad (5.12)$$

respectively.

Eqs. (5.8), (5.11), and (5.12) determine the evolution of the density of an electron in the dot. For a certain long evolution time, i.e. $t \rightarrow \infty$, Eq. (5.8) may achieve a steady state condition where the density does not depend again upon time t , or $\partial\rho_1/\partial t = 0$, such that Eq. (5.8) becomes $J_{01} = J_{12} = J$. This means that, at steady state, the current densities of the electron entering and exiting the dot is the same but not equal to zero. Furthermore, applying Eqs. (5.11) and (5.12) into the aforementioned steady state results, and rearranging, yields the density of the electron in steady state as

$$\rho_1 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}, \quad (5.13)$$

and the current density of the electron,

$$J = \frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta}, \quad (5.14)$$

where we have assume constant input and output rates. Now, for a Coulomb blockade to occur, the electron should be confined in the dot. This may be acquired for $\beta = 0$, such that the density in Eq. (5.13) becomes 1, and the current density of Eq.

(5.14) becomes 0. This means that the dot is occupied by an electron ($\rho_1 = 1$), and the electron stays in the dot ($J = 0$). On the other hand, the SET may be obtained if the dot has a half of chance to be empty or occupied by an electron, i.e. $\rho_1 = 0.5$, which is satisfied when $\alpha = \beta$, such that the current density becomes $J = 0.5 \exp[e(Vg - Vsd)/k_B T]$.***

BAB VI

NANOPARTIKEL PERAK



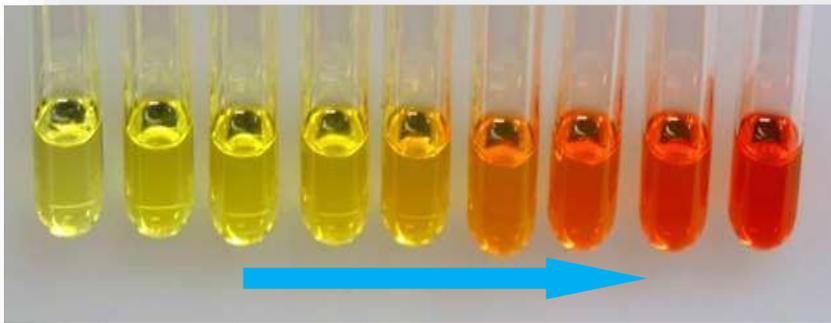
Gambar 6.1 Hasil efek Tyndall pada larutan nanop perak.

A. DEFINISI DAN SIFAT-SIFAT FISISNYA

Nanoperak merupakan salah satu produk berbasis nanoteknologi. Saat ini, nanoperak telah diproduksi dan sedang dilakukan berbagai pengujian. Salah satu keunggulan dari segi produksi nanopartikel perak adalah harganya yang cukup murah dan relatif mudah untuk diproduksi. Nanopartikel perak bersifat anti-bakteri dan anti-virus. Nanopartikel perak akan sangat membantu dalam hal mengatasi berbagai masalah yang dapat muncul oleh bakteri dan virus. Produk nanopartikel perak ini, salah satunya berbentuk koloid.

Silver (perak) adalah logam transisi yang dapat melakukan beberapa proses oksidasi dan dapat mengoksidasi zat lain. Perak umumnya digunakan karena salah satu sifatnya yang bertoksik rendah. Ion perak bersifat netral dalam air, tahan asam, garam, dan berbasah lemah. Stabilitas perak sangat baik terhadap panas dan cahaya. Ion perak sangat unik. Ion perak akan membawa tegangan

elektrostatik karena telah kehilangan elektron valensinya (<http://ademaesyaputra.wordpress.com>). Tujuan ion perak dibuat dalam ukuran nano agar perak dapat bekerja efektif dikarenakan meningkatnya luas permukaan perak pada skala nanometer. Nanopartikel perak (nanopartikel yang terbuat dari perak) merupakan bahan aditif populer saat ini yang digunakan untuk bahan dan *coating* dengan sifat biologis, optik, dan listrik khusus.

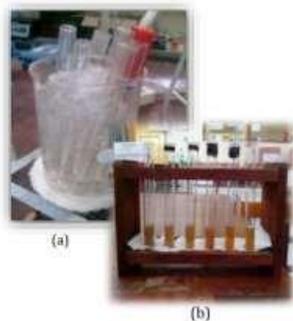


Gambar 6.2 Warna nanopartikel perak bergantung pada ukuran partikelnya. Anak panah menunjukkan semakin besarnya ukuran nanopartikel perak.

Banyaknya keunikan yang dimiliki nanopartikel perak membuat bahan ini begitu istimewa diantara nanopartikel yang lain. Salah satunya perak merupakan elemen khusus yang memiliki konduktivitas termal dan listrik tertinggi dari semua logam. Sebagai logam mulia, perak sangat tahan terhadap korosi. Salah satu keunggulan dari segi produksi nanopartikel perak adalah harga bahan pembuatnya yang cukup murah dan relatif mudah untuk diproduksi dengan reaksi kimia biasa. Produk nanopartikel perak ini, salah satunya berupa partikel koloid.

Nanopartikel perak memiliki sifat optik, listrik, dan termal yang unik dan saat ini sedang dikembangkan ke dalam produk yang berbasis *photovoltaics*, sensor biologi, dan kimia. Aplikasi tambahan mencakup diagnostik molekuler dan perangkat fotonik, yang mengambil keuntungan dari sifat optik nanopartikel perak. Nanopartikel perak memiliki serapan dan sebaran cahaya yang sangat efisien, serta tidak seperti bahan lainnya. Nanopartikel perak memiliki warna yang bergantung dari ukuran dan bentuk partikel. Hal ini dapat diamati pada Gambar 6.2 di atas. Semakin besar ukuran partikel (anak panah ke kanan), maka warna larutan akan bergeser ke arah warna merah (panjang gelombang makin besar).

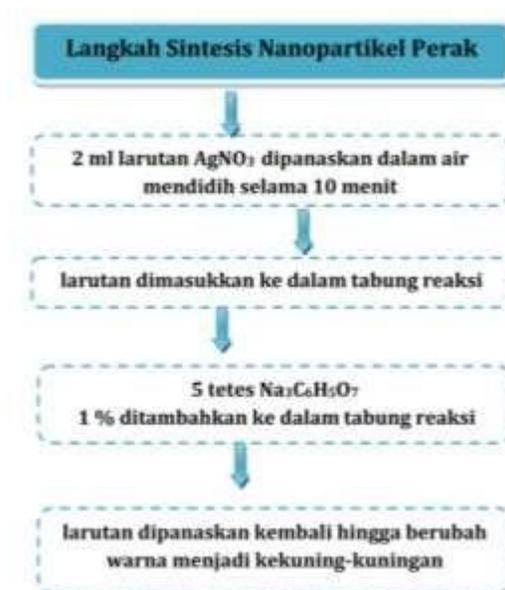
B. SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK



Gambar 6.3 (a) Pemanasan larutan perak nitrat dalam proses sintesis nanopartikel perak; dan (b) larutan nanopartikel perak yang telah jadi.

Dalam hal ini nanopartikel perak akan disintesis dari perak nitrat (AgNO_3) secara kimiawi. Warna kekuning-kuningan merupakan salah satu indikasi bahwa larutan perak nitrat (AgNO_3) sudah berubah ukuran partikelnya walaupun belum dapat dibuktikan secara kuantitatif. Sedangkan trisodium sitrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) dalam campuran larutan ini berperan sebagai pereduksi. Cara pembuatan nanopartikel perak

dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama 1 liter aquades dicampurkan dengan 0,51 gram logam AgNO_3 dan selanjutnya campuran tersebut diaduk sampai dua komponen ini tercampur dengan baik. Kemudian air dipanaskan sampai mendidih dan dimasukkan larutan AgNO_3 sebanyak 2 ml ke dalam tabung reaksi selama ± 10 menit (diagram di bawah). Selanjutnya, dimasukkan 5 tetes trisodium sitrat 1% ke dalam larutan AgNO_3 . Ditunggu sampai warna larutan berubah menjadi kekuning-kuningan. Akhirnya, suhu larutan tersebut dibiarkan turun.



C. KARAKTERISASI NANOPARTIKEL PERAK

Salah satu cara untuk menguji secara kualitatif adanya partikel adalah efek Tyndall. Efek Tyndall adalah penghamburan cahaya oleh larutan koloid. Sifat khas ini pertama kali ditemukan oleh John Tyndall (1820-1893) seorang fisikawan Inggris. Beliau

melakukan percobaan dengan mengamati seberkas cahaya putih yang dilewatkan pada sistem dispersi koloid. Apabila cahaya putih dilewatkan pada sistem dispersi koloid yang partikel-partikel fasa terdispersinya sangat kecil, maka cahaya tampak akan dihamburkan lebih banyak oleh partikel koloidnya.

Terjadinya efek Tyndall pada koloid dipengaruhi oleh sifat optik dan sifat kinetik yang dimiliki oleh larutan koloid. Sifat optik dari larutan koloid dapat diartikan ukuran partikel koloid yang lebih besar dari larutan sejati sehingga cahaya yang melewatinya akan dipantulkan. Arah pantulan ini tidak teratur karena partikel koloid tersebar secara acak sehingga pantulan cahaya tersebut berhamburan ke segala arah. Sifat kinetik dari larutan koloid adalah sifat partikel koloid yang selalu bergerak ke segala arah. Gerakan partikel koloid ini selalu lurus dan akan patah bila bertabrakan dengan partikel lain. Adanya sifat optik dan kinetik pada koloid mengakibatkan koloid mengalami efek Tyndall.

Seberkas cahaya yang dilewatkan pada sistem koloid akan menunjukkan adanya hamburan cahaya ke segala arah. Hamburan cahaya ini disebabkan karena partikel-partikel koloid yang tersebar secara acak akan memantulkan cahaya yang melewatinya. Intensitas hamburan cahaya dipengaruhi oleh ukuran partikel dan konsentrasi partikel koloid. Intensitas cahaya yang dihamburkan akan bertambah dengan bertambahnya konsentrasi partikel dan ukuran partikel. Hal ini dapat diteliti lebih lanjut dengan menggunakan mikroskop ultra. Pengamatan efek Tyndall yang dilakukan di bawah ultra mikroskop menimbulkan bintik-bintik sangat kecil yang memancarkan sinar.

Jadi, partikel-partikel yang memancarkan sinar tersebut sangat kecil bahkan tidak tampak, tetapi yang tampak adalah

pantulan sinar dari partikel-partikel. Hal ini dikarenakan partikel-partikel koloid berada dalam keadaan ultra mikroskopik.

Efek Tyndall terjadi karena partikel koloid akan menghamburkan cahaya yang diterimanya ke segala arah. Hal ini tidak terjadi pada larutan sejati karena partikel-partikelnya yang sangat kecil sehingga tidak mengubah arah cahaya. Cahaya yang dilewatkan pada larutan sejati akan diteruskan. Ukuran dari partikel dalam larutan koloid itu sendiri akan menentukan bisa tidaknya cahaya dihamburkan. Seperti pada larutan sejati, cahaya yang dikenakan pada larutan sejati tidak akan dihamburkan melainkan hanya diteruskan. Hal ini disebabkan oleh ukuran partikelnya yang sangat kecil yaitu kurang dari 1 nm. Sedangkan untuk larutan koloid yang dapat menghamburkan cahaya ketika disinari memiliki ukuran partikel mulai dari 1-1.000 nm di dalamnya. Hal ini dapat diamati melalui Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Klasifikasi ukuran partikel yang menyebabkan efek Tyndall (<https://nano-cemms.illinois.edu>)

	Efek Tyndall	Ukuran
Larutan	Tidak terjadi hamburan cahaya	Kurang dari 1 nm
Koloid	Terjadi hamburan cahaya	1 sampai 1.000 nm
Suspensi	Terjadi hamburan cahaya	Lebih dari 1.000 nm

Larutan nanopartikel yang telah siap akan diuji menggunakan efek Tyndall. Hal ini dilakukan guna mengetahui ada tidaknya partikel koloid yang terbentuk setelah sintesis dilakukan. Partikel koloid yang diharapkan terbentuk adalah partikel nanoperak. Hasil uji efek Tyndall dapat dilihat pada Gambar 6.1.

Seperti yang terlihat pada Gambar 6.1 berkas sinar laser yang ditembakkan pada larutan nanopartikel perak mengalami hamburan sehingga terlihat berkas berwarna merah terang dalam larutan. Hal ini membuktikan bahwa dalam larutan tersebut telah terdapat partikel koloid yang diharapkan berukuran nanometer. Efek Tyndall didasarkan pada hamburan cahaya ketika mengenai partikel dalam suatu larutan. Sesuai dengan Tabel 6.1 maka pada larutan koloid yang menghamburkan sinar ketika dikenai sinar laser terdapat partikel yang berukuran 1 nm sampai 1000 nm. Dengan demikian melalui efek Tyndall ukuran partikel nanoperak berada pada rentang 1-1.000 nm. Hal ini belum menunjukkan ukuran nanopartikel dengan baik (rentang masih terlalu panjang). Oleh karena itu, diperlukan uji lain untuk menentukan secara kualitatif ukuran nanopartikel tersebut. Uji yang dimaksud dalam hal ini adalah uji spektrofotometer UV-Vis yang akan dibahas di bawah ini.

Spektrofotometri UV-Vis adalah metode analisis yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat dan sinar tampak pada instrumen spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat yang terdiri atas spektrometer dan fotometer. Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang.

Cahaya atau sinar yang masuk dengan intensitas tertentu I_0 akan berkurang intensitasnya ketika melewati larutan. Berkurangnya intensitas sinar tersebut dikarenakan adanya serapan oleh larutan yang dilewati cahaya atau sinar tersebut. Intensitas cahaya setelah melewati larutan adalah I_t . Adanya serapan yang terjadi dipresentasikan sebagai transmitansi T ,

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (6.1)$$

dan biasanya dinyatakan dalam satuan persen tranmitan ($\%T$). Besaran ini diberikan oleh persamaan sebagai berikut:

$$\%T = \frac{I_t}{I_0} 100, \quad (6.2)$$

Sedangkan cahaya yang diserap adalah absorbansi (A), dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A = \log T = \log \left(\frac{I_t}{I_0} \right) \quad (6.3)$$

Berdasarkan hukum Lambert-Beer, absorbansi dari suatu sampel akan sebanding dengan ketebalan, konsentrasi sampel, dan absorptivitas molar. Bila ketebalan benda (b) atau konsentrasi sampel (c) yang dilewati bertambah, maka cahaya akan lebih banyak diserap. Jadi, absorbansi berbanding lurus dengan ketebalan dan konsentrasi. Selain itu, faktor yang berpengaruh terhadap besar kecilnya absorbansi adalah absorptivitas molar (ϵ) dari larutan yang diukur. Sehingga, berbagai kebergantungan di atas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = \epsilon bc. \quad (6.4)$$

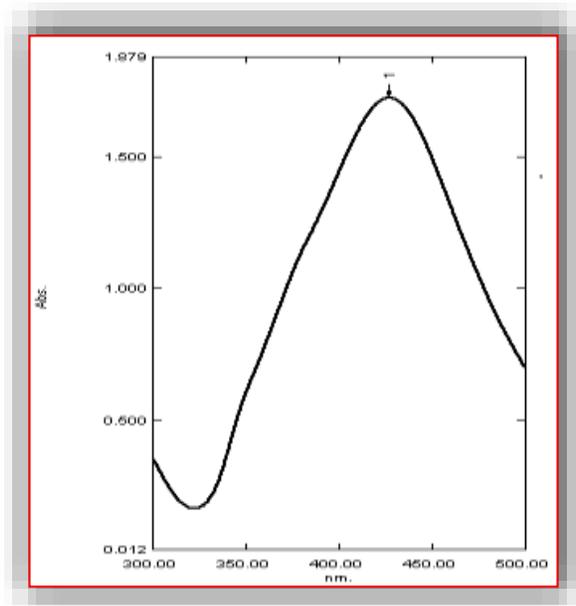
Analisis UV-Vis dapat digunakan secara kualitatif maupun kuantitatif. Uji kualitatif yang dapat digunakan adalah membandingkan serapan panjang gelombang analitik dengan standar. Dalam melakukan analisis menggunakan spektrofotometer, diperlukan standar sebagai pembanding dari data analitik. Ada berbagai cara yang dapat dilakukan, yaitu dengan menggunakan standar tunggal, deret standar, dan standar adisi.

Spektrofotometer UV-Vis digunakan sebagai alat uji secara kualitatif yang akan menampilkan absorbansi maksimal pada panjang gelombang tertentu. Sementara itu panjang gelombang itu sendiri secara tidak langsung dapat menunjukkan kisaran ukuran partikel yang diuji. Ketika suatu partikel ditembakkan sumber cahaya dengan panjang gelombang tertentu, maka cahaya yang mengenai partikel akan diserap pada panjang gelombang tertentu. Dalam hal ini semakin besar ukuran partikel maka semakin besar pula panjang gelombang yang terserap karena partikel yang lebih besar memiliki atom yang lebih banyak untuk menyerap panjang gelombang dari sumber cahaya. Hal ini dapat diamati dalam Tabel 6.2.

Tabel 6.2 : Perbandingan ukuran nanopartikel perak terhadap panjang gelombang partikel (Bakir, 2011).

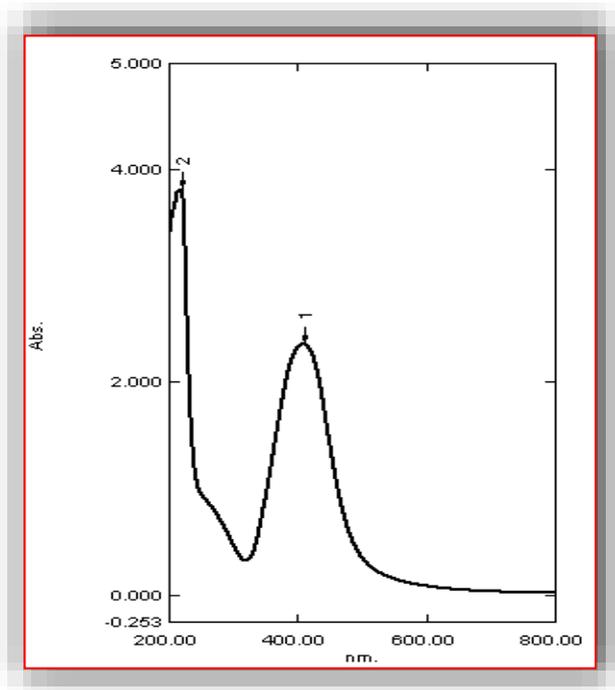
No	Ukuran partikel (nm)	Kisaran panjang gelombang (nm)
1.	20	405
2.	30	410
3.	40	416
4.	50	423
5.	60	441
6.	70	451
7.	80	467
8.	90	493
9.	100	501
10.	110	523

Hasil sintesis larutan AgNO_3 yang telah menjadi larutan nanopartikel perak secara kualitatif dan kuantitatif dapat dianalisis menggunakan spektrometer UV-Vis. Secara kualitatif, hasil pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara absorbansi dengan panjang gelombang.



Gambar 6.4 Hasil spektrofotometer UV-Vis pada 2 ml larutan nanopartikel perak 5 mM.

Grafik hasil UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 6.4 dan Gambar 6.5. Kedua grafik tersebut menunjukkan hubungan antara panjang gelombang pada sumbu-X dan absorbansi pada sumbu-Y. Gambar 6.4 merupakan grafik hasil UV-Vis larutan nanopartikel dengan konsentrasi 5 mM. Grafik tersebut memiliki satu puncak absorbansi dengan puncak absorbansi berada pada panjang gelombang di sekitar 430 nm.



Gambar 6.5 Hasil spektrofotometer UV-Vis pada 2 ml larutan nanopartikel perak 1 mM.

Gambar 6.5 di atas merupakan grafik hasil UV-Vis larutan nanopartikel perak dengan konsentrasi 1 mM. Grafik tersebut menunjukkan nilai absorbansi pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Dari grafik dapat dilihat bahwa terdapat dua puncak absorbansi yaitu pada panjang gelombang sekitar 220 nm dan pada panjang gelombang sekitar 425 nm. Kedua grafik pada Gambar 6.4 dan Gambar 6.5 menunjukkan bahwa larutan nanopartikel perak yang diuji memiliki absorbansi puncak pada panjang gelombang berbeda.

Panjang gelombang pada absorbansi maksimum untuk nanopartikel perak dengan konsentrasi 5 mM lebih besar dari pada panjang gelombang pada absorbansi maksimum untuk nanopartikel perak dengan konsentrasi 1 mM. Dengan demikian terjadi pergeseran puncak panjang gelombang untuk nanopartikel perak 1 mM dan 5 mM. Hal yang menyebabkan pergeseran dari panjang gelombang adalah konsentrasi larutan nanopartikel. Ini mengindikasikan bahwa ukuran nanopartikel yang terbentuk berbeda akibat konsentrasi yang berbeda.

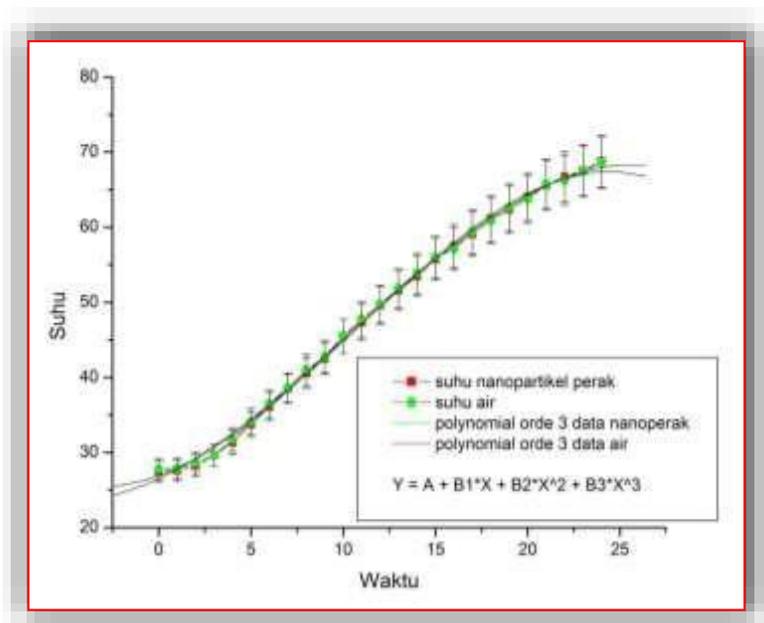
Berdasarkan Tabel 6.2, nanopartikel perak dengan konsentrasi 5 mM memiliki ukuran partikel sekitar 50 nm. Sedangkan, untuk nanopartikel perak dengan konsentrasi 1 mM memiliki ukuran partikel sekitar 30 nm. Sementara itu, spektrum absorbansi maksimum dapat menunjukkan ukuran dari nanopartikel yang dihasilkan. Semakin besar panjang gelombang maksimum semakin besar pula ukuran nanopartikel perak yang dihasilkan.

Dari hasil spektrofotometer di atas, dapat diketahui karakteristik yang unik dari nanopartikel perak yang terbentuk berdasarkan spektrum puncak absorbansinya. Absorbansi pada panjang gelombang tertentu menunjukkan karakteristik dari suatu senyawa atau partikel. Nilai puncak dari absorbansi nanopartikel perak pada umumnya berada sekitar 400-500 nm. Nilai absorbansi ini juga menunjukkan kualitatif jumlah nanopartikel yang terbentuk. Semakin besar nilai absorbansinya semakin banyak pula partikel nano yang terdapat dalam larutan yang diuji.

D. GRAFIK PERILAKU KENAIKAN DAN PENURUNAN (EFEK MPEMBA) SUHU NANOPARTIKEL PERAK

Dalam bagian ini akan dibahas tentang grafik perilaku kenaikan dan penurunan suhu nanopartikel perak terhadap pembandingnya. Khususnya untuk perilaku penurunan suhu dikenal sebagai efek Mpemba.

Perbandingan perilaku kenaikan suhu nanopartikel perak dengan air



Gambar 6.6 Grafik kenaikan suhu terhadap waktu antara larutan nanopartikel perak.

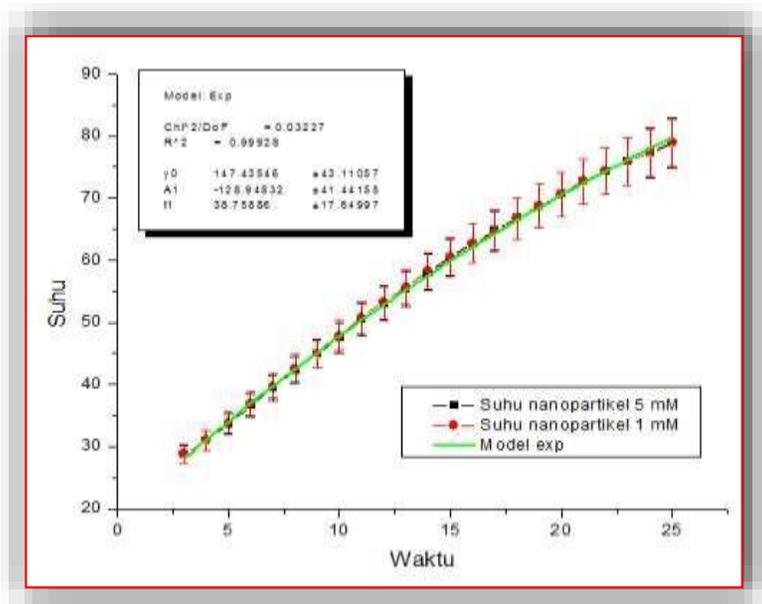
Gambar 6.6 menunjukkan perilaku kenaikan suhu nanopartikel perak yang dibandingkan dengan air (aquades). Sumbu-X menunjukkan waktu (t , dalam menit), sedangkan sumbu-Y menunjukkan suhu (T , dalam °C). Data persegi (warna hitam) menunjukkan perilaku kenaikan suhu nanopartikel perak, sedangkan lingkaran (warna merah) menunjukkan perilaku kenaikan suhu air.

Dapat diamati dari kedua data tersebut bahwa perilaku kenaikan suhu larutan nanopartikel perak dan air saling tumpang tindih (*overlap*). Hal ini menunjukkan bahwa perilaku kenaikan suhu kedua larutan tidak berbeda. Ini didukung pula oleh *fitting* kedua data yang menunjukkan kesamaan model yakni

$$T = A + B_1t + B_2t^2 + B_3t^3 \quad (6.5)$$

Model ini mengindikasikan bahwa perilaku kenaikan suhu larutan nanopartikel perak (dan air) memenuhi persamaan polinom pangkat-3.

Perbandingan kenaikan suhu antara nanopartikel perak dengan konsentrasi 1 mM dan 5 mM



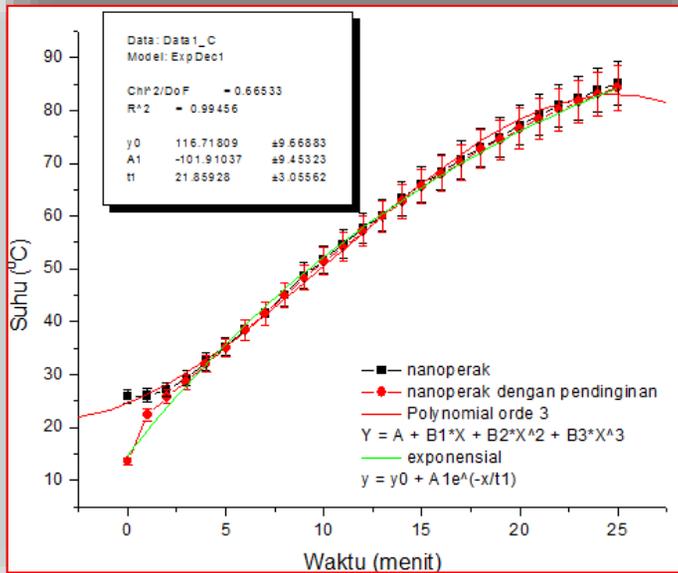
Gambar 6.7 Grafik kenaikan suhu terhadap waktu antara larutan nanopartikel perak 5 mM dan 1 mM.

Berdasarkan Gambar 6.7, kedua data saling tumpang tindih (*overlap*). Hal ini menunjukkan bahwa perilaku kenaikan suhu nanopartikel perak untuk konsentrasi yang berbeda (1 mM dan 5 mM) ternyata tidak berbeda. Selain itu, hal ini juga diperkuat dengan kemiripan pemodelan dari kedua buah *fitting* data. Pemodelan ini ditunjukkan sebagai berikut:

$$T = T_0 + A_1 e^{-t/C} \quad (6.6)$$

Dapat diamati bahwa kenaikan suhu nanopartikel perak dalam hal ini mengikuti pola eksponensial.

Perbandingan perilaku kenaikan suhu antara nanopartikel perak yang didinginkan dan tanpa pendinginan



Gambar 6.8 Grafik kenaikan suhu terhadap waktu antara larutan nanopartikel perak dengan pendinginan terlebih dahulu.

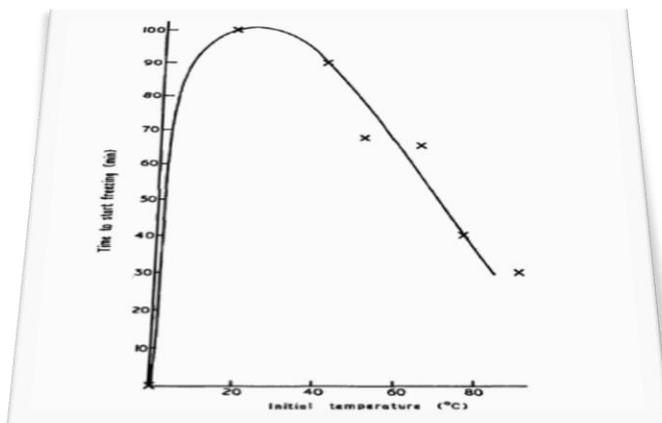
Grafik di atas menunjukkan perbandingan perilaku nanopartikel perak yang didinginkan (hingga suhu 12,5 °C) dan nanopartikel perak yang dibiarkan dalam suhu kamar, dengan konsentrasi sama yaitu 1 mM. Sumbu-X menunjukkan waktu (dalam menit), sedangkan sumbu-Y menunjukkan kenaikan suhu (dalam °C). Data berbentuk persegi menunjukkan data perilaku kenaikan suhu nanopartikel perak tanpa pendinginan, sedangkan data lingkaran menunjukkan data perilaku kenaikan suhu nanopartikel perak yang telah didinginkan terlebih dahulu.

Perilaku kenaikan suhu pada Gambar 6.8, sekilas tidak terdapat perbedaan. Tetapi jika diamati secara teliti terlihat bahwa larutan nanopartikel perak dengan pendinginan lebih susah untuk menaikkan suhunya. Nanopartikel perak tanpa pendinginan mengalami kenaikan suhu yang lebih tinggi daripada larutan nanopartikel perak yang didinginkan terlebih dahulu. Hal ini terjadi pada 5 menit pertama. Selanjutnya, dapat diamati bahwa kenaikan suhu nanopartikel perak yang mengalami pendinginan mulai mengejar kenaikan suhu nanopartikel perak yang tidak mengalami pendinginan yaitu pada menit ke-10. Perilaku lambatnya (susahnya) menaikkan suhu untuk nanopartikel perak yang mengalami pendinginan mulai terlihat pada menit ke-10 setelah pengambilan data dimulai. Meskipun hanya mempunyai selisih beberapa derajat akan tetapi mulai dari menit ke 10 hingga menit terakhir data diambil, suhu yang dicapai nanopartikel perak yang terlebih dahulu mengalami pendinginan selalu tertinggal.

Secara logika, larutan yang lebih dingin mestinya akan menunjukkan perilaku kenaikan suhu yang selalu tertinggal dari perilaku kenaikan suhu larutan yang tidak didinginkan terlebih dahulu. Namun demikian, dapat diamati dari Gambar 6.8 bahwa laju kenaikan suhu diwaktu-waktu awal (0 sampai 5 menit pertama) justru lebih besar untuk larutan nanopartikel perak yang mengalami pendinginan. Dengan demikian pada waktu-waktu awal larutan nanopartikel yang mengalami pendinginan terlebih dahulu “mengejar” ketertinggalannya. Setelah itu baru perilaku kenaikan suhu untuk kedua larutan terlihat sama sampai menit ke-10.

Efek Mpemba pada larutan nanopartikel perak

Fenomena menarik terkait dengan perilaku penurunan suhu air ataupun larutan adalah adanya efek Mpemba. Terminologi efek ini berasal dari observasi E. Mpemba dari Afrika yang menyatakan bahwa air yang bersuhu tinggi akan lebih cepat membeku daripada air yang bersuhu rendah. Efek Mpemba ini telah diuji untuk berbagai jenis larutan dan air murni. Namun, hasilnya dari percobaannya bergantung pada berbagai parameter yang mempengaruhi perilaku penurunan suhu larutan tersebut. Sehingga, belum ada konsensus yang pasti tentang efek Mpemba ini. Dengan kata lain, ada percobaan yang memberikan hasil positif dan ada juga percobaan yang memberikan hasil negatif terhadap pernyataan Mpemba di atas.



Gambar 6.9 Grafik hubungan antara suhu awal air dengan waktu yang diperlukan untuk mencapai 0 °C (Mpemba dan Osborne).

Grafik 6.9 menunjukkan hubungan antara waktu yang diperlukan air murni untuk mencapai suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ terhadap suhu awal air. Dapat diamati bahwa semakin tinggi suhu awal air murni maka waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ juga semakin lama. Dapat diamati bahwa suhu awal air sebesar $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ justru memerlukan waktu yang paling lama untuk mencapai $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hasil-hasil observasi yang dilakukan oleh Mpemba dan Osborne dalam penelitian mereka adalah i) jika dua sistem didinginkan, maka sistem dengan suhu awal yang lebih tinggi akan membeku lebih cepat, ii) pendinginan yang umumnya terjadi mulai dari atas permukaan air dilanjutkan ke bawah, dan iii) laju pendinginan bergantung pada suhu di permukaan zat cair, bukan dari rerata suhu bagian zat cair tersebut.

Efek Mpemba ini telah dibuktikan oleh berbagai eksperimen, meskipun dalam beberapa eksperimen lainnya efek ini juga tidak terjadi. Bahkan, sampai saat ini belum ada kesepakatan akan terjadi atau tidaknya efek Mpemba disebabkan banyaknya parameter fisis yang berpengaruh dalam *set up* eksperimen yang berbeda. Namun demikian, terdapat berbagai teori atau penjelasan tentang penyebab terjadinya efek Mpemba.

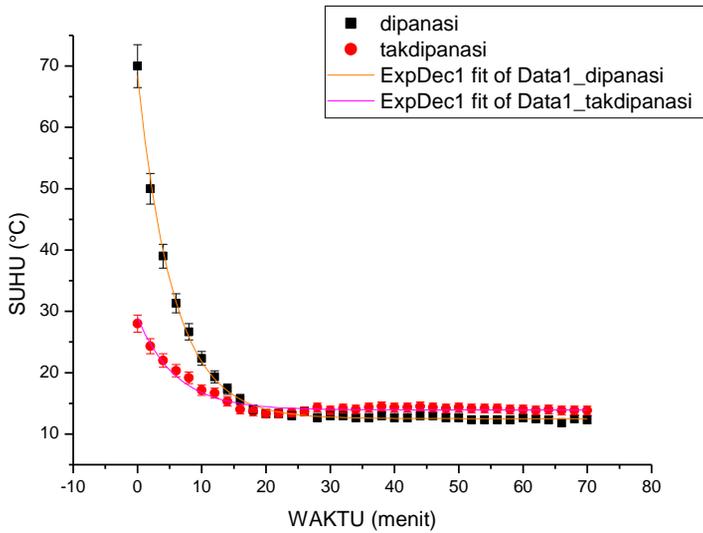
Faktor pertama adalah massa air yang didinginkan (Jeng, 2005). Pada kondisi awal, massa air di-*setting* pada kuantitas yang sama. Ketika salah satu sampel air dipanaskan, maka ada air yang menguap sehingga massa air berkurang, dibandingkan dengan massa pada sampel air yang tidak dipanaskan. Berkurangnya massa air menyebabkan sampel yang dipanaskan mengalami pendinginan yang lebih cepat.

Faktor dominan yang kedua adalah adanya pengaruh gas-gas terlarut dalam air tersebut. Pemanasan salah satu sampel air dapat menyebabkan gas-gas di dalam air terlepas ke udara. Hal ini mengakibatkan pendinginan yang lebih cepat daripada sampel air yang tidak dipanaskan karena gas-gas yang terlarut lebih banyak.

Faktor dominan yang terakhir adalah terjadinya *supercooling*. Supercooling adalah gejala fisis dimana pada tekanan normal (atm), air tidak langsung membeku pada suhu 0 °C tetapi lebih dahulu mengalami penurunan suhu hingga di bawah 0 °C tanpa mengalami perubahan menjadi padat.

Secara umum, terjadi pula perbedaan definisi 'waktu pendinginan'. Ada sebagian yang mendefinisikannya sebagai waktu yang diperlukan oleh air dari suhu awal hingga mencapai suhu 0 °C. Namun, ada pula yang mendefinisikannya sampai air betul-betul membeku menjadi es. Hal ini juga akan mempengaruhi hasil terjadi atau tidaknya efek Mpemba. Dalam hal ini, akan digunakan definisi pertama tentang waktu pendinginan untuk larutan nanopartikel perak.

Dalam hal ini, Sampel larutan nanopartikel perak dipanaskan sampai 70 °C dan pendinginannya dibandingkan dengan larutan nanopartikel perak yang sama tanpa dipanaskan. *Freezer* yang digunakan di-*setting* pada suhu 0 °C. Suhu diukur setiap 2 menit selama 70 menit. Hasil yang diperoleh dapat diamati pada Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Grafik hubungan antara suhu larutan nanopartikel perak dengan waktu pendinginannya.

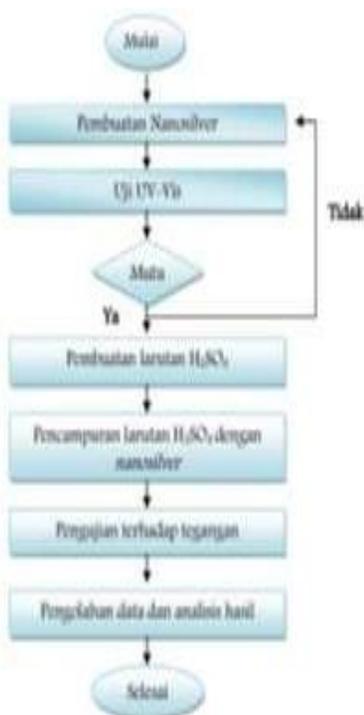
Dapat diamati pada Gambar 6.10 bahwa larutan nanopartikel perak yang pada awalnya dipanaskan berada pada suhu yang lebih tinggi (data kotak-hitam) dibandingkan dengan yang tidak dipanaskan (data kotak-merah). Suhu awal larutan nanopartikel perak yang dipanaskan adalah 70 °C, sedangkan yang tidak dipanaskan adalah 29 °C. Perbedaan suhu ini cukup signifikan untuk mengamati terjadi atau tidaknya efek Mpemba untuk larutan nanopartikel perak.

Ketika kedua sampel larutan didinginkan, laju pendinginan larutan nanoperak yang dipanaskan lebih besar daripada larutan nanopartikel yang tidak dipanaskan sehingga pada sekitar menit ke-15 suhu kedua sampel bertemu (*overlap*). Nampak kemudian, suhu larutan nanopartikel perak yang dipanaskan lebih rendah daripada suhu larutan yang tidak dipanaskan, namun masih sangat berdekatan. Kondisi ini bertahan sampai pengambilan data dihentikan pada menit ke-70. Suhu akhir yang dicapai oleh kedua larutan pada menit ke-70 masih di atas 10 °C. Walaupun suhu larutan yang dipanaskan lebih rendah daripada yang tidak dipanaskan mulai menit ke-15, perbedaan yang cukup kecil (belum signifikan) untuk suhu kedua larutan menyebabkan proses pendinginan yang menunjukkan belum terjadinya efek Mpemba untuk larutan nanopartikel perak.

Namun demikian, penghentian pengambilan data pada menit ke-70 ini pada suhu akhir yang masih di atas 10 °C juga menunjukkan belum dapat ditentukannya apakah efek Mpemba benar-benar tidak terjadi pada larutan nanopartikel perak. Percobaan proses pendinginan untuk larutan nanopartikel perak yang dipanaskan dan tidak dipanaskan mestinya dilanjutkan untuk suhu akhir mendekati 0 °C. Diperlukan waktu yang lebih lama (lebih dari 70 menit) untuk benar-benar memperoleh suhu akhir mendekati 0 °C. Bagaimana pendapatmu?

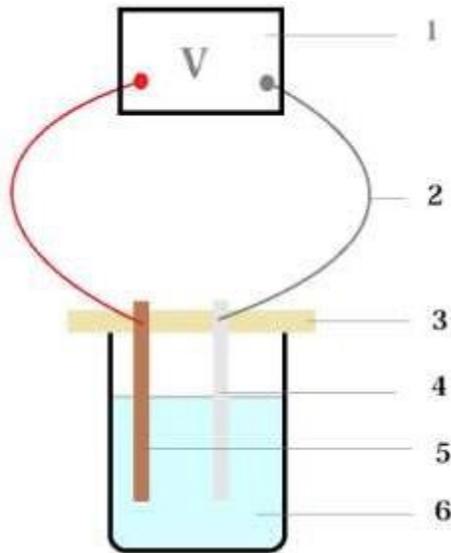
E. PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PERAK KE DALAM SEL VOLTA

Tujuan penambahan larutan nanopartikel perak ke dalam sel Volta adalah i) untuk mengetahui pengaruh konsentrasi H_2SO_4 terhadap tegangan keluaran sel Volta, dan ii) untuk mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel perak terhadap tegangan keluaran larutan H_2SO_4 . Diagram alir percobaannya dapat diamati pada gambar di bawah ini.



Gambar 6.11 diagram alir

Skema alat percobaan dapat diamati pada gambar di bawah ini.

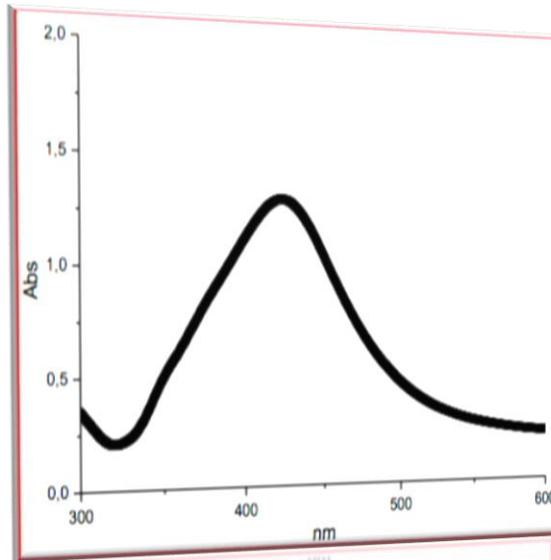


Gambar 6.12 skema alat

Keterangan: 1) voltmeter, 2) kabel penghubung, 3) penyangga logam, 4) Aluminium, 5) Tembaga, 6) larutan H_2SO_4 .

Gambar 6.12 menunjukkan skema alat yang digunakan untuk mengamati pengaruh penambahan nanopartikel perak pada sel Volta. Sel volta sendiri terdiri dari larutan H_2SO_4 yang kemudian di dalamnya diberikan batang logam aluminium (4) dan tembaga (5) diposisikan secara terpisah dengan jarak tertentu disangga oleh sebuah penyangga logam (3). Untuk mengamati tegangan yang keluar dari sel Volta, sebuah voltmeter dipasang pada salah satu ujung-ujung logam aluminium dan tembaga. Tegangan keluaran dari sel Volta diukur setiap satuan waktu tertentu.

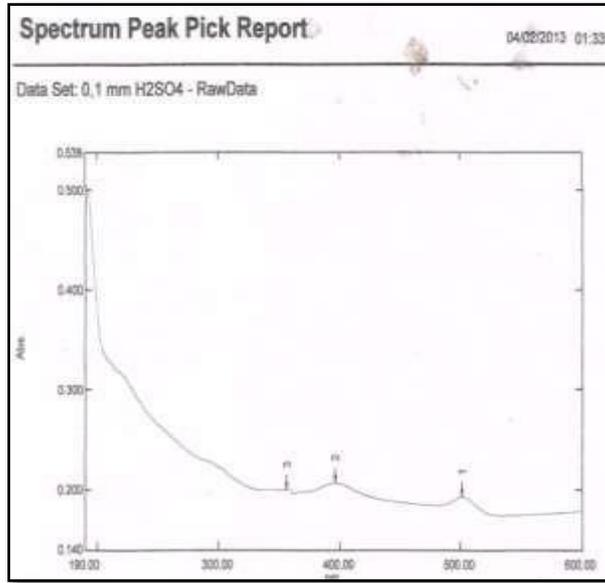
Secara kuantitatif, pengujian larutan nanopartikel perak menggunakan UV-Vis ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik yang terbentuk menunjukkan hubungan antara absorbansi dengan panjang gelombang absorbansi. Grafik hasil dari analisa UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 6.13.



Gambar 6.13 Hasil spektrofotometer UV-Vis untuk 2 mL larutan *nanosilver* 1 mM.

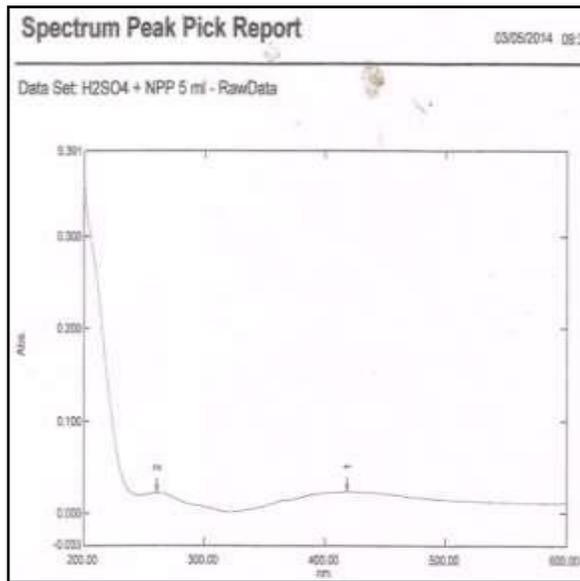
Gambar 6.13 adalah grafik hasil analisa spektrofotometer UV-Vis larutan *nanosilver* dengan konsentrasi 1 mM. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara panjang gelombang pada sumbu-X dan absorbansi pada sumbu-Y. Berdasarkan grafik, nilai absorbansi maksimum terdapat pada rentang panjang gelombang 400 - 500 nm yaitu panjang gelombang sekitar 422 nm dengan puncak absorbansi sekitar 1.306. Salah satu informasi yang dapat diperoleh dari hasil analisa spektrofotometer UV-Vis adalah panjang gelombang maksimum pada UV-Vis menunjukkan

ukuran dari *nanosilver* yang dihasilkan. Ukuran partikel nano ini dapat ditentukan pada Tabel 6.2. Dengan demikian, dilihat dari Tabel 6.2 ukuran *nanosilver* dengan konsentrasi 1 mM yang diperoleh adalah kisaran 40 nm sampai 50 nm.



Gambar 6.14 Hasil UV-Vis larutan H₂SO₄ 0,1 mM tanpa tambahan nanopartikel perak.

Gambar 6.14 menunjukkan bahwa larutan H₂SO₄ murni memiliki tiga puncak dengan absorbansi masing-masing 0,192; 0,206; dan 0,200. Panjang gelombang yang dihasilkan masing-masing adalah 501 nm; 396,50 nm; dan 356 nm. Berdasarkan grafik, puncak tertinggi terdapat pada puncak kedua yaitu 0,206.



Gambar 6.15 Hasil Uv-Vis larutan H₂SO₄ yang telah ditambah larutan nanopartikel perak 3 mM sebanyak 5 mL.

Gambar 6.15 menunjukkan hasil uji UV-Vis larutan H₂SO₄ yang telah dicampur dengan larutan nanopartikel perak sebanyak 5 mL. Grafik ini memiliki dua puncak dengan absorbansi masing-masing 0,024 dan 0,023. Berdasarkan grafik panjang gelombang yang dimiliki larutan ini adalah 418,50 nm dan 260,50 nm.

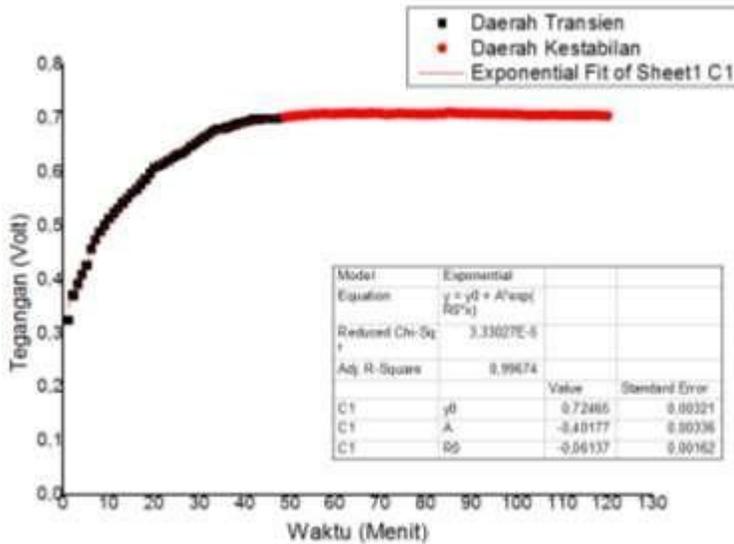
Larutan H₂SO₄ yang telah dicampur dengan larutan nanopartikel perak memiliki jumlah partikel nano lebih banyak dibanding larutan H₂SO₄ yang tidak dicampur dengan larutan nanopartikel perak. Hal ini dapat ditunjukkan berdasar puncak tertinggi yang dimiliki kedua larutan. Puncak yang terdapat pada larutan H₂SO₄ yang telah dicampur dengan nanopartikel perak memiliki panjang gelombang 418,50 nm. Sedangkan puncak

tertinggi larutan H_2SO_4 sebelum dicampur dengan larutan nanopartikel perak memiliki panjang gelombang 396,50 nm.

Larutan H_2SO_4 yang telah dicampur dengan larutan nanopartikel perak memiliki ukuran partikel yang tidak homogen. Hal ini dikarenakan ukuran partikel dalam larutan H_2SO_4 masih dalam skala molekular. Adanya nanopartikel perak yang berukuran nano ditambahkan pada larutan tersebut akan menyebabkan pergeseran panjang gelombang dan absorbansi.

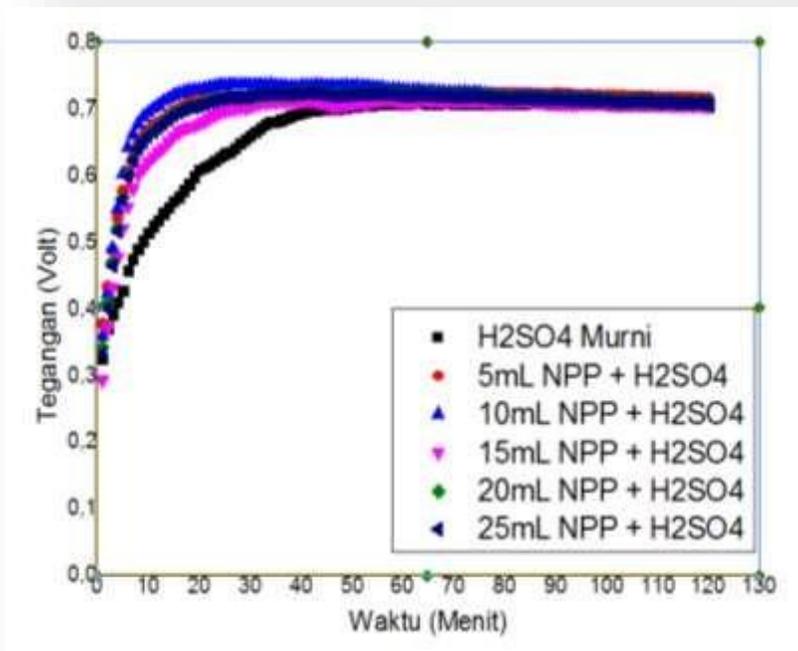
Larutan H_2SO_4 yang biasa digunakan sebagai bahan baterai, akumulator, dan sering dimanfaatkan dalam aplikasi lainnya akan ditingkatkan hasil tegangan keluaran sel Voltanya dengan penambahan nanopartikel perak. Ini mengindikasikan bahwa daya serap larutan H_2SO_4 akan semakin besar karena dipengaruhi oleh ukuran dari nanopartikel perak yang memiliki partikel lebih rapat berukuran nanometer.

Fokus pengambilan data adalah tegangan keluaran sel Volta yang berisi larutan H_2SO_4 sebelum dan sesudah ditambah larutan nanopartikel perak. Lamanya pengamatan tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu selama dua jam. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan grafik dengan model eksponensial. Penggunaan model eksponensial sebagai analisis dikarenakan model tersebut memiliki nilai R^2 paling mendekati 1 diantara model yang lainnya pada pengamatan ini.



Gambar 6.16 grafik data H₂SO₄ murni

Gambar 6.16 yang merupakan grafik tegangan keluaran larutan H₂SO₄ dapat dilihat adanya daerah transien yang ditunjukkan dengan warna hitam. Daerah tersebut terjadi karena partikel-partikel larutan yang menempel pada logam masih bergerak dengan cepat. Namun, setelah beberapa menit, terjadi daerah kestabilan (warna merah) yang dihasilkan oleh sel Volta tersebut. Berdasarkan grafik, dapat diketahui tegangan keluaran mulai setimbang pada menit ke-48 dimana tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 0,701 V.



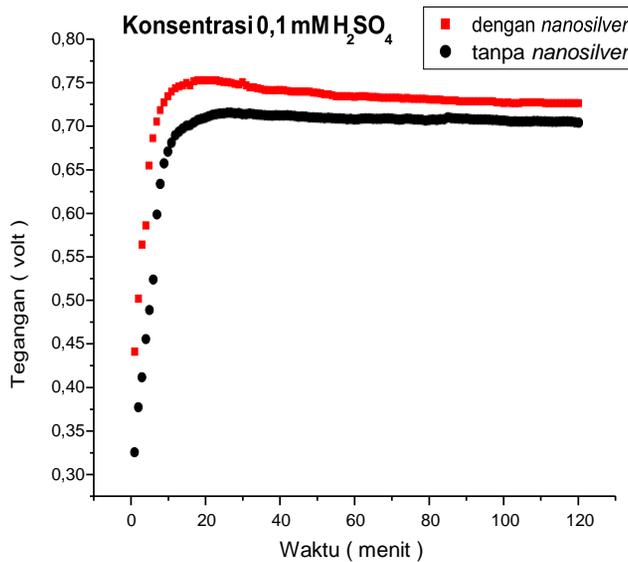
Gambar 6.17 Grafik gabungan antara larutan H_2SO_4 sebelum dan sesudah ditambah dengan larutan nanopartikel perak dengan variasi volume larutan nanopartikel 5 mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL.

Berdasarkan Gambar 6.17 dapat diketahui bahwa yang paling cepat mengalami kestabilan atau memiliki daerah transien paling rendah adalah saat larutan H_2SO_4 ditambah dengan 10 mL nanopartikel perak 3 mM. Bila dibandingkan, larutan H_2SO_4 murni membutuhkan waktu 48 menit menuju kestabilan.

Sedangkan larutan H_2SO_4 yang telah dicampur dengan 10 mL nanopartikel perak hanya membutuhkan waktu 22 menit menuju kestabilan. Ini juga menunjukkan bahwa dengan variasi volume nanopartikel perak sebanyak 10 mL profil kelengkungan (daerah tranien) yang dimiliki oleh sel Volta menjadi lebih kecil bila dibanding dengan yang lain terutama dengan H_2SO_4 murni. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan larutan nanopartikel perak ke dalam H_2SO_4 pada sel Volta mempercepat sel Volta untuk mencapai daerah kestabilan. Sedangkan nilai tegangan pada saat tercapainya daerah kestabilan tidak dipengaruhi oleh penambahan larutan nanopartikel perak. Hal ini berarti penambahan volume larutan nanopartikel perak tidak dapat menambah nilai tegangan keluaran sel Volta pada daerah kestabilan.

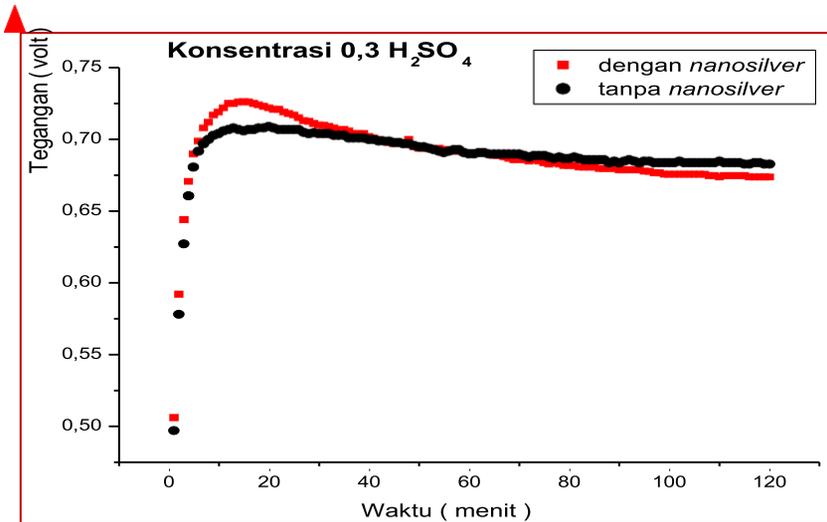
Pengukuran tegangan terhadap variasi konsentrasi H_2SO_4 yang diberi tambahan *nanosilver* dan tanpa tambahan *nanosilver* dalam sel Volta bertujuan untuk membandingkan tegangan keluaran dari sel Volta larutan H_2SO_4 yang diberi *nanosilver* dengan H_2SO_4 tanpa diberi *nanosilver*. Setiap variasi konsentrasi H_2SO_4 dilakukan perulangan sebanyak tiga kali, masing-masing selama 120 menit. Konsentrasi H_2SO_4 yang digunakan adalah 0,1 mM; 0,3 mM; 0,5 mM; 0,7 mM; dan 0,9 mM.

Tegangan keluaran larutan H_2SO_4 0,1 mM yang diberi tambahan *nanosilver* menghasilkan tegangan maksimum 0,752 volt dalam selang waktu 18 menit. Sedangkan larutan H_2SO_4 0,1 mM yang tidak diberi tambahan *nanosilver* menghasilkan tegangan maksimum 0,715 volt dengan selang waktu 26 menit dengan selisih tegangan maksimum pada kedua grafik yaitu 0,037 volt.

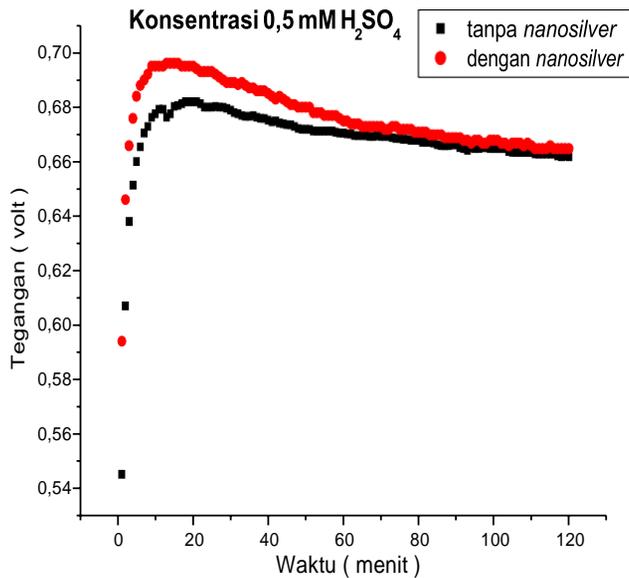


Gambar 6.18 Grafik hubungan antara tegangan dengan waktu pada larutan H_2SO_4 0,1 mM tanpa tambahan *nanosilver* dan larutan H_2SO_4 0,1 mM yang diberi *nanosilver*.

Grafik hubungan antara tegangan dengan waktu pada larutan H_2SO_4 0,3 mM tanpa tambahan *nanosilver* dan larutan H_2SO_4 0,3 mM yang diberi *nanosilver* ditampilkan pada Gambar 6.19. Berdasarkan grafik dapat diamati bahwa tegangan keluaran maksimum larutan H_2SO_4 yang diberi *nanosilver* lebih besar yaitu 0,726 volt dengan selang waktu 14 menit. Sedangkan tegangan keluaran maksimum larutan H_2SO_4 yang tidak diberi tambahan *nanosilver* yaitu 0,709 volt dengan selang waktu 20 menit. Selisih kedua puncak adalah 0,017 volt. Namun demikian, sekitar menit ke-60, tegangan keluaran sel Volta yang diberi *nanosilver* justru mengalami penurunan di bawah tegangan keluaran sel Volta tanpa *nanosilver*.

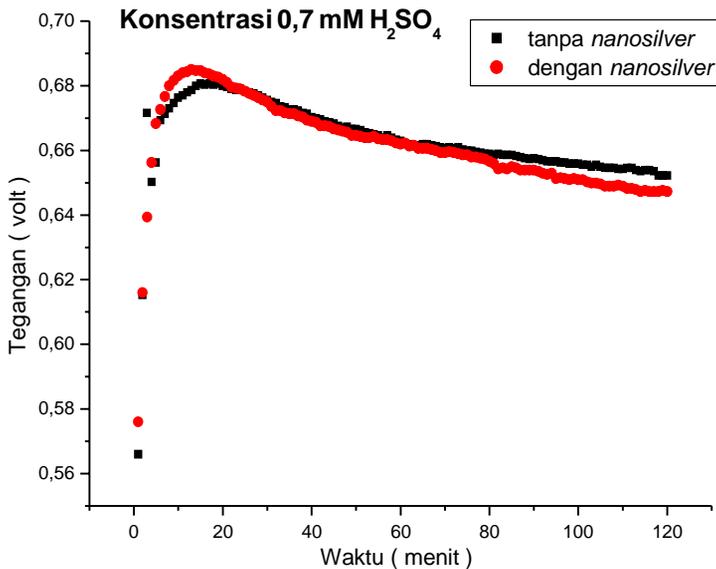


Gambar 6.19. Grafik hubungan antara tegangan dengan waktu pada larutan H_2SO_4 0,3 mM tanpa tambahan *nanosilver* dan larutan H_2SO_4 0,3 mM yang diberi *nanosilver*.



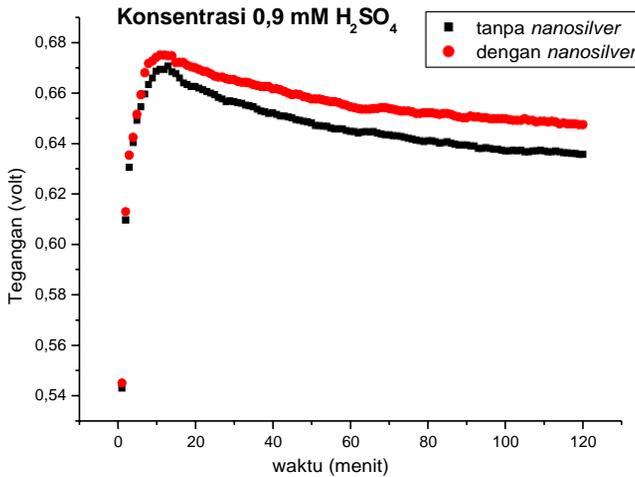
Gambar 6.20 Grafik hubungan antara tegangan dengan waktu pada larutan H₂SO₄ 0,5 mM tanpa tambahan *nanosilver* dan larutan H₂SO₄ 0,5 mM yang diberi *nanosilver*.

Tegangan keluaran maksimum larutan H₂SO₄ 0,5 mM yang diberi *nanosilver* adalah 0,696 volt dengan selang waktu 13 menit sebelum tercapainya keadaan stabil. Sedangkan tegangan keluaran maksimum larutan H₂SO₄ yang tidak diberi tambahan *nanosilver* yaitu 0,682 volt dengan selang waktu 18 menit. Selisih kedua puncak adalah 0,014 volt. Pada kondisi kestabilan nampak bahwa kedua sel Volta menunjukkan nilai yang tidak terlalu berbeda (*overlap*).



Gambar 6.21 Grafik hubungan antara tegangan dengan waktu pada larutan H₂SO₄ 0,7 mM tanpa tambahan *nanosilver* dan larutan H₂SO₄ 0,7 mM yang diberi *nanosilver*.

Tegangan keluaran larutan H₂SO₄ 0,7 mM yang diberi tambahan *nanosilver* menghasilkan tegangan maksimum 0,685 volt dengan selang waktu 13 menit sebelum tercapai kestabilan. Sedangkan larutan H₂SO₄ 0,7 mM yang tidak diberi *nanosilver* menghasilkan tegangan maksimum 0,680 volt dengan selang waktu 15 menit. Selisih kedua puncak adalah 0,005 volt. Sebagaimana hasil yang diperoleh sebelumnya, saat mencapai menit ke-60, tegangan keluaran sel Volta yang diberi *nanosilver* justru lebih rendah daripada yang tidak diberi *nanosilver*.



Gambar 6.22 Grafik hubungan antara tegangan dengan waktu pada larutan H₂SO₄ 0,9 mM tanpa tambahan *nanosilver* dan larutan H₂SO₄ 0,9 mM yang diberi *nanosilver*.

Tegangan keluaran larutan H₂SO₄ 0,9 mM yang diberi *nanosilver* menghasilkan tegangan maksimum 0,675 volt dengan selang waktu 11 menit sebelum mencapai daerah kestabilan. Sedangkan larutan H₂SO₄ 0,1 mM yang tidak diberi tambahan *nanosilver* menghasilkan tegangan maksimum 0,670 volt dengan selang waktu 13 menit. Selisih kedua puncak adalah 0,005 volt. Lebih lanjut, dapat diamati pada Gambar 6.22 bahwa tegangan keluaran sel Volta yang diberi larutan *nanosilver* konsisten lebih tinggi daripada sel Volta yang tidak diberi larutan *nanosilver* mulai dari menit ke-20.

Dari penjelasan di atas dapat dilihat tegangan keluaran maksimum untuk setiap konsentrasi pada Tabel 6.3. Tabel tersebut merupakan rangkuman dari hasil tegangan keluaran maksimum dan waktu untuk mencapai tegangan maksimum untuk variasi konsentrasi larutan asam sulfat dalam sel Volta.

Tabel 6.3. Tegangan keluaran maksimum

konsentrasi larutan H ₂ SO ₄ (mM)	tegangan maksimum (volt)		Waktu saat mencapai tegangan maksimum (menit)	
	tanpa <i>nanosilver</i>	dengan <i>nanosilver</i>	tanpa <i>nanosilver</i>	dengan <i>nanosilver</i>
0,1	0,715	0,752	26	18
0,3	0,709	0,726	20	14
0,5	0,682	0,696	18	13
0,7	0,680	0,685	15	13
0,9	0,670	0,675	13	11

Berdasarkan Tabel 6.3 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan H₂SO₄ maka semakin kecil tegangan keluaran maksimum yang dihasilkan. Selain itu, dapat pula dilihat selang waktu yang dibutuhkan sel Volta untuk mencapai tegangan maksimum. Dari tabel di atas dilihat bahwa larutan H₂SO₄ yang tidak diberi *nanosilver* membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai tegangan maksimum daripada larutan H₂SO₄ yang diberi tambahan *nanosilver*. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh untuk variasi volume larutan *nanosilver* dalam sel Volta. *Nanosilver* yang berukuran nano membuat luas permukaannya menjadi semakin besar sehingga dapat membantu reaksi untuk berlangsung lebih cepat.

F. PENAMBAHAN NANOPARTIKEL KE DALAM CAT DINDING

Dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemukan masalah yang muncul karena kerusakan cat dinding rumah. Masalah pertama yaitu, cat belum kering sempurna (masih lengket) walaupun telah melampaui waktu pengeringan normal (yang tertera pada kemasan). Hal ini disebabkan pengecatan dilakukan pada kondisi udara dingin dan lembab atau karena lapisan cat terlalu tebal sehingga lama mengering. Selain itu, tingginya kadar air pada permukaan dinding saat pengecatan berlangsung menyebabkan air di permukaan dinding tidak dapat keluar dengan sempurna. Kadar air tersebut kemudian menguap dan perlahan-lahan keluar melalui celah-celah pada lapisan cat. Lapisan cat yang terkena uap air terus menerus akan menjadi lembab. Pada lapisan yang lembab inilah jamur akan tumbuh dengan cepat.

Ciri-ciri tempat yang biasanya ditumbuhi banyak spora jamur adalah tempat yang lembab. Jamur bisa berkembang biak hanya dalam 24-48 jam karena kelembaban merupakan sumber makanan bagi jamur. Dimana ada debu, kayu, cat, kertas, kapas atau minyak, di situlah jamur akan tumbuh subur. Spora jamur biasanya berbentuk seperti lumut (hanya lebih halus) dan berwarna hitam, coklat, putih, kuning, merah jambu atau hijau-kebiruan. Biasanya spora jamur terdapat di dinding, karpet, toilet, dan bagian bawah perabot kayu. Spora jamur yang beterbangan di udara dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur pernafasan. Selain dinding yang lembab, tanah dalam pot dan sampah organik (kompos) juga dapat menjadi sumber spora jamur.

Pada bagian ini akan dibahas tentang penambahan larutan nanopartikel perak ke dalam cat dinding. Selanjutnya, cat dinding tersebut akan diuji sifat anti-jamur.

Metode Eksperimen



Metode penumbuhan jamur dalam percobaan ini diberikan oleh bagan di atas. Sedangkan berbagai dokumentasi terkait dengan penumbuhan jamur dapat diamati pada foto-foto di bawah ini. Lebih lanjut, alat dan bahan yang harus disterilisasi juga diberikan pada penjelasan di bawah ini.



saat memanaskan media PDA



media PDA yang telah jadi



Alat-alat yang disterilisasi adalah alat-alat dengan kontak secara langsung dengan isolat atau jamur, yaitu:

- 1) Botol kultur, hanya perlu ditutup dengan kapas dan kertas payung yang diikat dengan karet pada mulut botol,
- 2) *Petri dish*, cukup dibungkus dengan kertas payung,
- 3) *Blue tip* dimasukkan ke dalam gelas beaker kemudian ditutup dengan kertas payung.

Alat-alat yang telah siap disterilisasi kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* pada suhu 121 °C dan tekanan 15 psi selama 15 menit. Setelah selesai, alat-alat tersebut kemudian disimpan dalam oven.

Bahan-bahan yang disterilisasi yaitu media, baik media PDA dan PDB. Media yang telah dibuat dimasukkan ke dalam *autoclave* pada suhu 121 °C dan tekanan 15 psi selama 15 menit. Setelah selesai, media yang ada di dalam tabung reaksi disimpan dalam posisi miring, sedangkan yang lainnya disimpan dalam rak penyimpanan media.

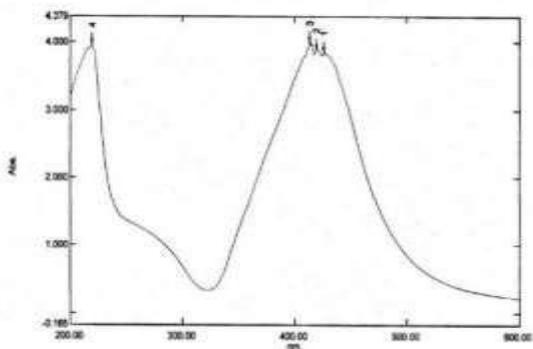
Pengujian anti-jamur dilakukan untuk enam sampel yang terdiri atas satu sampel cat dinding tanpa diberi nanopartikel perak dan lima sampel cat dinding diberi nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi. Pengujian anti-jamur dilakukan dengan mengambil jamur yang sudah dikembangbiakkan di media PDB menggunakan mikropipet sebanyak 100 μ l dan ditanam dalam *petridish* yang sudah diberi media PDA dengan cara diratakan

menggunakan *dry galsky*. Lalu, *paperdish* yang sudah dicelupkan sampel cat dinding tanpa diberi nanopartikel perak ditempelkan di *petri dish* yang baru saja ditanami jamur sebanyak tiga kali pengulangan. Kemudian ditunggu selama kurang lebih tiga hari untuk proses pertumbuhan jamur tersebut. Pada jamur yang sudah tumbuh dilakukan pengukuran diameter zona jernih dari nanopartikel perak dengan menggunakan alat jangka sorong. Pengukuran menggunakan jangka sorong dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Pengujian sampel larutan nanopartikel perak melalui uji spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui absorbansi dan panjang gelombang saat absorbansi maksimum untuk sampel larutan nanopartikel perak. Pengujian spektrofotometri UV-Vis diperlukan untuk mengetahui kualitas obyek penelitian melalui serapan panjang gelombang yang dihasilkan oleh obyek tersebut. Pengujian dilakukan menggunakan lima sampel dengan konsentrasi nanopartikel perak yang berbeda. Hal ini dapat diamati pada Gambar 6.23 di bawah ini.

Spectrum Peak Pick Report

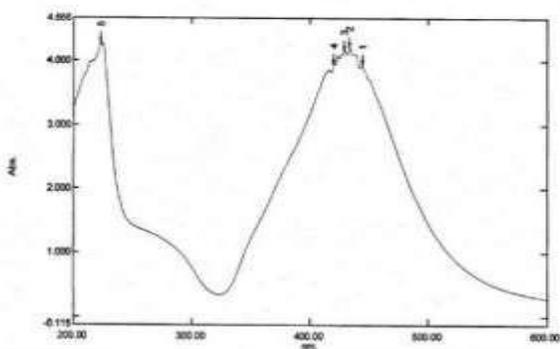
Data Set: 14-1-15 1mM - RawData



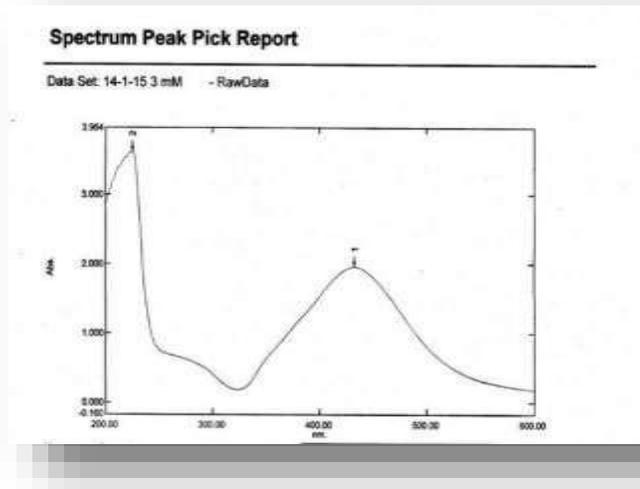
(a)

Spectrum Peak Pick Report

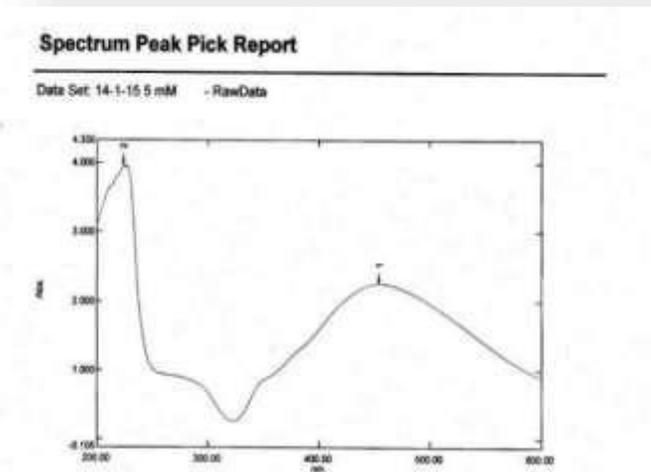
Data Set: 14-1-15 2mM - RawData



(b)



(c)



(d)

Gambar 6.23 Hasil spektrofotometer UV-Vis larutan *nanosilver*: (a) konsentrasi 1 mM, (b) konsentrasi 2 mM, (c) konsentrasi 3 mM, dan (d) konsentrasi 5 mM.

Gambar 6.23(a) menunjukkan grafik hasil analisis spektrofotometer UV-Vis larutan *nanosilver* dengan konsentrasi 1 mM. Nilai absorbansi maksimum terdapat pada rentang panjang gelombang 400 nm - 500 nm. Pada rentang tersebut terdapat tiga titik puncak, yaitu pada puncak pertama dengan panjang gelombang 413,5 nm menunjukkan puncak absorbansi sekitar 4,000. Pada puncak kedua, yaitu 419,5 nm dengan puncak absorbansi sekitar 3,898. Pada puncak ketiga, yaitu 425,0 nm dengan puncak absorbansi sekitar 3,850. Dari hasil di atas, dapat diartikan bahwa larutan *nanosilver* tersebut dapat menyerap secara maksimal pada panjang gelombang 413,5 nm. Puncak keempat merupakan partikel pengotor yang terserap pada panjang gelombang 219,0 nm.

Gambar 6.23(b) menunjukkan grafik hasil analisis spektrofotometer UV-Vis larutan *nanosilver* dengan konsentrasi 2 mM. Terdapat empat titik puncak, yaitu pada puncak pertama dengan panjang gelombang 420,0 nm menunjukkan puncak absorbansi sekitar 3,949. Pada puncak kedua, yaitu 429,0 nm dengan puncak absorbansi sekitar 4,157. Pada puncak ketiga, yaitu 433,5 nm dengan puncak absorbansi sekitar 4,212. Pada puncak keempat, yaitu 444,5 nm dengan puncak absorbansi sekitar 3,927. Dari hasil di atas, dapat diartikan bahwa larutan *nanosilver* dapat menyerap secara maksimal pada panjang gelombang 433,5 nm. Puncak kelima merupakan partikel pengotor yang terserap pada panjang gelombang 223,0 nm.

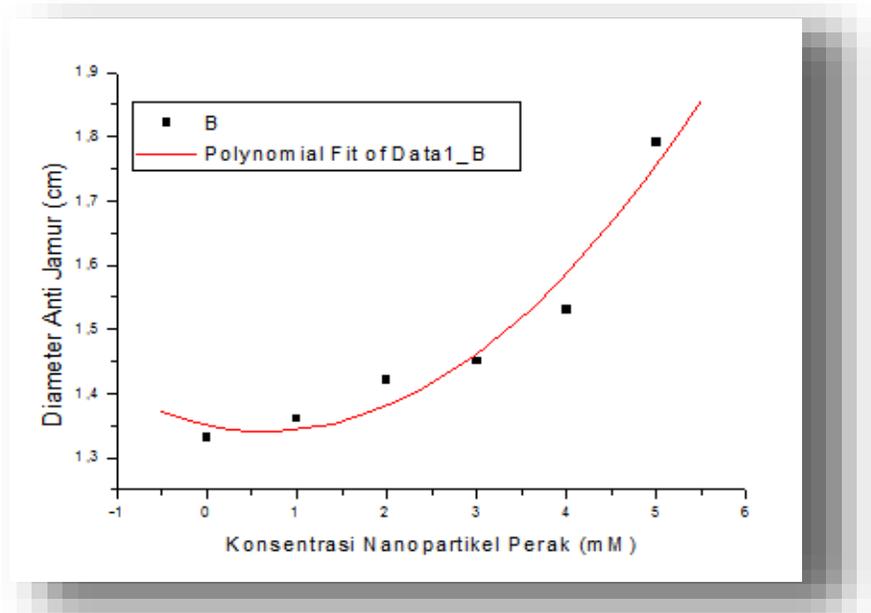
Gambar 6.23(c) menunjukkan grafik hasil analisis spektrofotometer UV-Vis larutan *nanosilver* dengan konsentrasi 3 mM. Terdapat satu titik puncak dengan panjang gelombang 432,5 nm dengan puncak absorbansi sekitar 1,958. Berdasarkan hasil di atas, dapat diartikan bahwa larutan *nanosilver* tersebut dapat menyerap secara maksimal pada panjang gelombang 432,5 nm. Puncak kedua merupakan partikel pengotor yang terserap pada panjang gelombang 225,0 nm.

Gambar 6.23(d) menunjukkan grafik hasil analisis spektrofotometer UV-Vis larutan *nanosilver* dengan konsentrasi 5 mM. Terdapat satu titik puncak pada panjang gelombang 454,0 nm dengan puncak absorbansi sekitar 2,257. Dari hasil di atas, dapat diartikan bahwa larutan *nanosilver* tersebut dapat menyerap secara maksimal pada panjang gelombang 454,0 nm. Puncak kedua merupakan partikel pengotor yang terserap pada panjang gelombang 224,0 nm.

Cat dinding yang diberi larutan nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi 1 mM, 2 mM, 3 mM, 4 mM, dan 5mM menghasilkan pengukuran diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui pengaruh anti-jamur pada cat dinding. Dalam percobaan ini, setiap sampel dilakukan perulangan sebanyak tiga kali. Terdapat enam sampel dalam percobaan ini. Sampel tersebut terdiri atas satu sampel cat dinding tanpa diberi nanopartikel perak dan lima sampel cat dinding diberi nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi. Konsentrasi nanopartikel perak yang digunakan adalah 1 mM, 2 mM, 3 mM, 4 mM, dan 5 mM. Pengukuran diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur ditunjukkan pada Gambar 6.25.

Pada Gambar 6.25(a), cat dinding tanpa nanopartikel perak diperoleh diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding sebesar 1,33 cm. Pada Gambar 6.25(b), cat dinding yang diberi nanopartikel perak dengan konsentrasi 1 mM diperoleh diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding sebesar 1,36 cm. Pada Gambar 6.25(c), cat dinding yang diberi nanopartikel perak dengan konsentrasi 2 mM diperoleh diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding sebesar 1,42 cm. Pada Gambar 6.25(d), cat dinding yang diberi nanopartikel perak dengan konsentrasi 3 mM diperoleh diameter zona jernih hasil

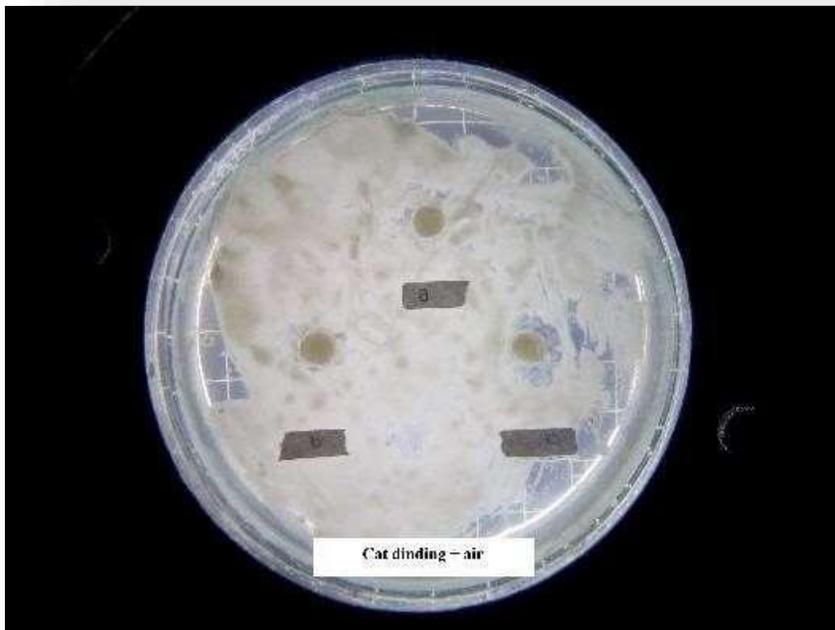
aktivasi anti-jamur cat dinding sebesar 1,45 cm. Pada Gambar 6.25(e), cat dinding yang diberi nanopartikel perak dengan konsentrasi 4 mM diperoleh diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding sebesar 1,53 cm. Pada Gambar 6.25(f), cat dinding yang diberi nanopartikel perak dengan konsentrasi 5 mM diperoleh diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding sebesar 1,79 cm.



Gambar 6.24 Grafik hubungan antara diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding dengan konsentrasi nanopartikel perak.

Dari perhitungan diameter anti-jamur di atas, dapat diberikan grafik hubungan antara diameter anti-jamur cat dinding dengan konsentrasi nanopartikel perak (Gambar 6.24). Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan nanopartikel perak yang digunakan maka diameter zona jernih hasil aktivasi anti-jamur cat dinding

akan semakin besar. Selain itu, nampak pula kenaikan diameter zona jernih cat dinding bersifat kuadratik terhadap konsentrasi larutan nanopartikel perak. Dapat diketahui bahwa cat dinding yang diberi tambahan nanopartikel perak dapat menghambat pertumbuhan jamur pada cat dinding. Hal ini disebabkan semakin besar konsentrasi suatu larutan, maka jumlah partikel dalam larutan tersebut akan semakin banyak. Logam perak juga merupakan anti-jamur yang kuat dan juga bersifat toksik bagi sel. Aktivitas anti-jamur nanopartikel perak juga dipengaruhi konsentrasi nanopartikel perak dan ukuran nanopartikel perak. Ukuran nanopartikel perak akan mempengaruhi proses penetrasi ke dalam jaringan jamur.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 6.25 Diameter anti-jamur: (a) cat dinding tanpa *nanosilver*, (b) cat dinding diberi *nanosilver* konsentrasi 1 mM, (c) cat dinding diberi *nanosilver* konsentrasi 2 mM, (d) cat dinding diberi *nanosilver* konsentrasi 3 mM, (e) cat dinding diberi *nanosilver* konsentrasi 4 mM, dan (f) cat dinding diberi *nanosilver* konsentrasi 5mM.

G. PENAMBAHAN NANOPARTIKEL PERAK DALAM GERABAH TERHADAP POROSITAS DAN KUAT TEKAN GERABAH

Keramik dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *earthenware* yang merupakan keramik dengan suhu pembakaran 600 °C (bakaran rendah), *stoneware* yang merupakan keramik dengan suhu pembakaran 850 °C (bakaran sedang), dan *porcelain* yang merupakan keramik dengan suhu pembakaran 1300 °C (bakaran tinggi). Kualitas gerabah sangat ditentukan oleh struktur kristal, komposisi kimia, dan material bawaan pada lingkungan geologi dimana bahan baku keramik tersebut diperoleh. Sifat umum yang mudah dilihat secara fisik pada sebagian besar gerabah adalah rapuh dan mudah pecah apabila keretakan cepat terbentuk. Retakan tumbuh melalui butiran kasar dan sepanjang bidang keretakan. Permukaan tempat keretakan yang dihasilkan disebabkan oleh permukaan gerabah yang bertekstur kasar. Untuk mengatasi hal tersebut, maka digunakan teknologi nanopartikel untuk meningkatkan kualitas gerabah.

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dan volume bahan baku total. Porositas menunjukkan seberapa besar pori yang ada dalam bahan baku dan dapat diukur dalam persentase. Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya porositas yang terdapat pada benda uji. Semakin banyak pori-pori yang terdapat dalam benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya. Kuat tekan adalah kemampuan suatu benda untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan gerabah mengidentifikasi mutu dari sebuah gerabah. Semakin tinggi kuat tekan gerabah, semakin tinggi pula mutu gerabah yang dihasilkan (Buckman dan Brandy, 1982). Nilai kuat tekan benda uji diperoleh dari hasil pengujian yang

dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk benda uji, serta elemen uji lainnya, seperti faktor air, bahan baku, kepadatan, dan cara pembebanannya.

Pembuatan Gerabah menggunakan metode tanah kering dimana perbandingan tanah liat dan air adalah 70% : 30%. Sebelum pembuatan gerabah, dilakukan pengeringan dan pengayakan tanah liat. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan kandungan air dalam bahan baku dan mengubah tanah liat kering menjadi partikel lebih kecil atau butiran halus.

Sampel gerabah akan dibuat dalam cetakan yang berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$. Untuk membuat gerabah yang berukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ dibutuhkan 200 gram tanah liat kering dengan 60 mL aquades dan larutan nanopartikel perak dengan variasi volume (dalam mL) 8, 10, 12, 14, dan 16. Untuk sampel gerabah yang ditambahkan larutan nanopartikel perak, volume total larutan tetap 60 mL sehingga aquades yang dibutuhkan adalah selisih dari 60 mL dengan volume larutan nanopartikel perak.

Tanah liat dituangkan ke dalam cawan pengaduk. Setelah itu, *aquades* tanpa nanopartikel perak atau *aquades* yang telah dicampur larutan nanopartikel perak ditambahkan ke dalam cawan pengaduk, sedikit demi sedikit ke dalam tanah liat. Campuran diaduk sampai semua bahan tercampur rata dan adonan gerabah homogen.

Pencetakan gerabah dilakukan dengan cara memasukkan adonan gerabah ke dalam cetakan gerabah dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ yang telah diolesi oli. Adonan dimasukkan ke dalam cetakan setinggi $1/3$ dari tinggi cetakan dan kemudian dipadatkan. Dilakukan kembali memasukkan adonan ke dalam cetakan sampai setinggi $2/3$ dari tinggi cetakan, dan dipadatkan

kembali. Memasukkan kembali adonan ke dalam cetakan sampai terisi penuh dan dipadatkan sampai benar-benar padat.

Proses pembakaran gerabah dilakukan menggunakan *furnace* dengan suhu pembakaran 700 °C dengan lama proses pembakaran selama 2 (dua) jam. *Furnace* ini digunakan untuk menghilangkan kadar air dalam gerabah secara bertahap dan membakar gerabah dengan proses pembakaran yang sempurna.

Pengujian porositas gerabah dilakukan untuk mengetahui besarnya porositas gerabah. Sebelum dilakukan uji porositas, gerabah direndam dalam wadah yang berisi air selama 24 jam. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan air benar-benar terserap ke dalam gerabah. Tahap pengujian porositas dilakukan sebagai berikut:

- a) Mengambil gerabah dari wadah yang berisi air kemudian dikeringkan menggunakan kain lap kering sampai tidak ada air yang menetes.
- b) Menimbang gerabah yang telah dikeringkan untuk mengetahui berat basah gerabah.
- c) Memasukkan gerabah ke dalam oven bersuhu 50 °C selama 24 jam.
- d) Menimbang kembali gerabah untuk mengetahui berat kering gerabah.
- e) Mengulangi langkah pengujian untuk gerabah yang lain.

Menghitung nilai porositas gerabah menggunakan rumus:

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{m_b - m_k}{V_b} \times 100\% \quad (6.5)$$

Pengujian kuat tekan gerabah bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dari gerabah tersebut. Untuk menguji kuat tekan gerabah digunakan *universal testing machine* (UTM). Tahap pengujian kuat tekan gerabah dilakukan sebagai berikut:

- a) Meletakkan gerabah yang akan diuji kuat tekannya pada UTM yang telah terhubung ke dalam komputer yang menayangkan gaya tekan (F).
- b) Memberikan tekanan secara perlahan pada gerabah yang diuji melalui komputer.
- c) Saat gerabah hancur, secara otomatis komputer akan berhenti menghitung. Nilai yang dihasilkan komputer dari pengujian kuat tekan gerabah dicatat sebagai nilai gaya tekan maksimum sampel gerabah tersebut.

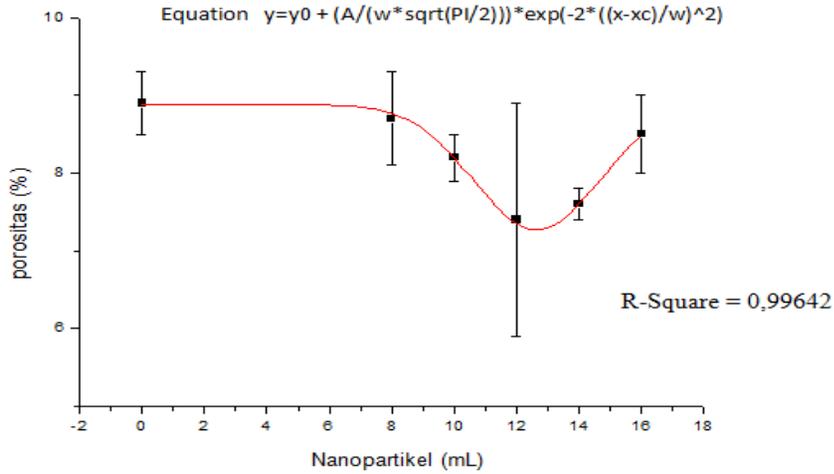
Hasil pengujian porositas gerabah dapat diamati pada Grafik 6.26. Grafik ini memperlihatkan hubungan antara nilai porositas (%) dengan volume larutan nanopartikel perak (mL). Dapat diamati pada Grafik 6.26 bahwa sampel gerabah yang telah ditambah larutan nanopartikel perak memiliki porositas yang cenderung lebih kecil daripada sampel gerabah tanpa larutan nanopartikel perak. Lebih jauh, semakin tinggi volume larutan nanopartikel perak, maka porositas sampel gerabah mengalami penurunan, namun kemudian mengalami peningkatan. Dengan demikian, terdapat volume larutan nanopartikel perak yang menyebabkan nilai porositas gerabah menjadi yang paling rendah. Volume nanopartikel perak dengan porositas terendah terjadi di sekitar 12 mL. Volume larutan nanopartikel perak terkait dengan jumlah nanopartikel perak yang berada di dalam larutan. Semakin besar volume larutan semakin banyak pula jumlah nanopartikel perak. Pada awalnya, penambahan nanopartikel perak (volume nanopartikel bertambah) akan mengisi rongga atau pori

dalam sampel gerabah sehingga nilai porositas gerabah berkurang sampai nilai minimum tertentu. Namun, penambahan jumlah nanopartikel perak lebih lanjut menyebabkan terjadinya pori-pori baru sehingga nilai porositas gerabah naik, walaupun masih di bawah nilai porositas gerabah tanpa penambahan larutan nanopartikel perak.

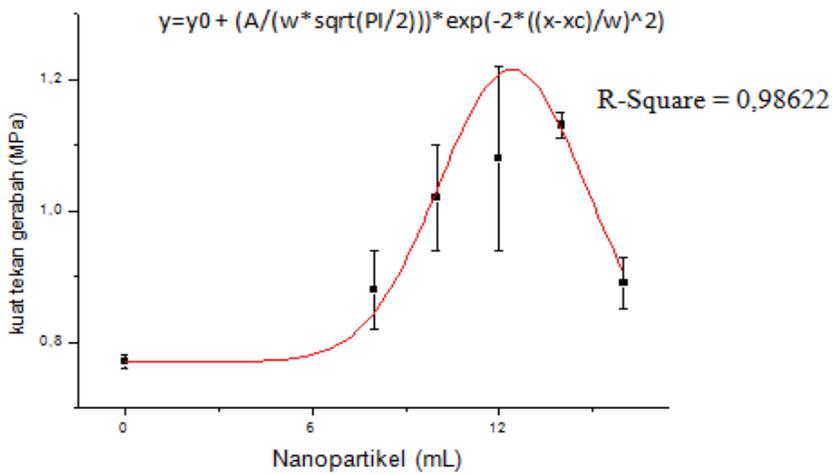
Selanjutnya, hasil pengujian kuat tekan gerabah dapat diamati pada Grafik 6.27. Grafik ini menunjukkan hubungan antara kuat tekan (MPa) dengan volume larutan nanopartikel perak. Dapat diamati pada Grafik 6.27 bahwa sampel gerabah yang telah ditambah larutan nanopartikel perak memiliki kuat tekan yang lebih besar daripada sampel gerabah tanpa larutan nanopartikel perak. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan larutan nanopartikel perak dapat meningkatkan kuat tekan gerabah yang berarti pula menambah kualitas gerabah. Seiring bertambahnya volume larutan nanopartikel perak maka kuat tekan semakin besar sampai pada nilai maksimum tertentu, kemudian turun kembali. Dengan demikian, nilai kuat tekan mencapai sebuah titik maksimum pada volume larutan nanopartikel perak sebesar 12 mL. Sebagaimana penjelasan fisis untuk nilai porositas nanopartikel perak akan mengisi rongga atau pori-pori dalam gerabah sehingga memperkuat gerabah terhadap tekanan mekanis. Namun demikian, dengan penambahan nanopartikel perak lebih banyak lagi menyebabkan terbentuknya pori-pori baru yang justru mengurangi nilai kuat tekan gerabah walaupun masih di atas nilai kuat tekan gerabah tanpa larutan nanopartikel perak.

Dari Gambar 6.26 dan 6.27 dapat diamati bahwa variasi volume larutan nanopartikel perak menghasilkan perilaku dua

besaran fisis, yaitu kuat tekan dan porositas yang saling berlawanan. Semakin besar kuat tekan gerabah semakin kecil porositasnya atau untuk menghasilkan gerabah berkualitas baik (kuat tekan tinggi) maka pori-pori atau rongga dalam gerabah tersebut hendaknya diminimalkan. Hal inilah yang bertepatan dengan fungsi penambahan larutan nanopartikel perak ke dalam adonan gerabah. Selain itu, dapat pula diamati konsistensi volume larutan nanopartikel perak ketika terjadinya nilai minimum untuk porositas dan nilai maksimum untuk kuat tekan, yaitu pada volume 12 mL. Pada saat porositasnya terendah, nilai kuat tekannya tertinggi. Inilah yang memang diharapkan dari percobaan yang telah dilakukan.***



Gambar 6.26 Grafik hubungan antara porositas (%) dengan volume larutan nanopartikel perak untuk sampel gerabah.



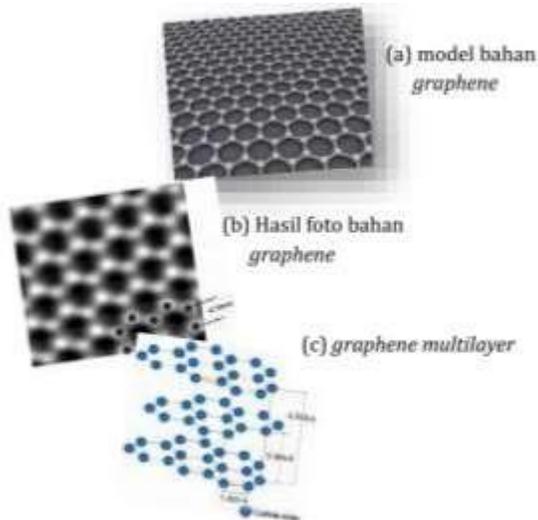
Gambar 6.27 Grafik hubungan antara kuat tekan (MPa) dengan volume larutan nanopartikel perak (mL) untuk sampel gerabah.

BAB VII

GRAPHENE

A.DEFINISI DAN SIFAT-SIFAT FISISNYA

Belakangan ini ditemukan material baru berskala nanometer yang memiliki kualitas sangat baik dilihat dari berbagai aspeknya. Material yang ditemukan oleh Andrew K. Geim dan Konstantin Novoselov pada tahun 2004 tersebut dinamakan material *graphene* (Randviir dkk., 2014). Berkat penemuannya tersebut, kedua ilmuwan ini mendapatkan hadiah nobel pada tahun 2010 (Low dkk., 2012).



Gambar 7.1 struktur *graphene*

Graphene atau *grafena* adalah material baru tertipis, terkuat, dan terunggul di dunia saat ini yang terbentuk dari satu lapis atom karbon yang memiliki struktur heksagonal menyerupai

sarang lebah. Nama *graphene* atau *grafena* berasal dari *graphite + ene* (Truong, 2013). *Graphite* sendiri merupakan material yang terdiri dari banyak lembaran *graphene* yang ditumpuk secara bersama. Lembaran *graphene* satu dengan lainnya diikat oleh ikatan *van der Waals* dan antar lembaran yang sejajar memiliki jarak 0,67 nm (Geim, 2007). Dengan demikian, jarak antara lembar *graphene* satu dengan lainnya yaitu 0,335 nm (lihat Gambar 7.1(c)). Sedangkan, jarak antar atom dalam sebuah lembaran *graphene* adalah 0,142 nm. Sebuah material yang memiliki dua sampai sepuluh lapis *graphene* disebut *graphene double layer* dan apabila memiliki lebih dari sepuluh lapis *graphene* disebut *graphene multi-layer* (Geim, 2007).

Graphene memiliki berbagai sifat yang unggul. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah mobilitas elektron yang tinggi mencapai 200.000 cm²/Vs, konduktivitas listrik yang tinggi, yakni: $0,96 \times 10^6 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, konduktivitas termal yang tinggi mencapai 5000 W/mK, transparansi optik yang baik, yaitu: 97,7%, dan memiliki kekuatan tarik 1 TPa, serta memiliki kekuatan 200 kali lebih keras dari baja dan 20 kali lebih keras dari berlian (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2010). Sifat lain yang unggul dan menarik dari *graphene* adalah keelastisan bahannya (Geim, 2007). *Graphene* sangat elastis meskipun lebih keras dari intan (lihat Gambar 7.2).



Gambar 7.2 sifat elastis *graphene*

Sifat-sifat unggul yang dimiliki *graphene* tersebut dapat dimanfaatkan atau diaplikasikan ke suatu objek atau bidang tertentu. Beberapa aplikasi dari *graphene*, yaitu sebagai material pembuatan superkapasitor, transistor, elektroda konduktif yang transparan, dan lain sebagainya (Truong, 2013). Banyaknya manfaat yang didapat dari *graphene* menarik perhatian ilmuwan atau akademisi untuk lebih mengembangkan material ini baik dalam produksi maupun pengaplikasiannya.

Pada saat ini, di negara maju maupun berkembang, pengembangan material *graphene* sebagian besar masih dalam taraf penelitian untuk memproduksi material *graphene* dengan jumlah yang besar tanpa mengurangi kualitas dari material itu sendiri. Namun, di beberapa negara maju riset tentang *graphene* sudah ada yang mencapai taraf aplikasi. Di Indonesia penelitian tentang *graphene* masih sangat terbatas dan masih dalam skala laboratorium yang juga masih sangat terbatas. Untuk itu, masih sangat diperlukan pengkajian yang lebih mendalam tentang bagaimana mensintesis *graphene* sehingga dapat diproduksi

graphene dengan kualitas yang baik dalam skala besar serta dapat dimanfaatkan atau diaplikasikan pada berbagai bidang.



Gambar 7.3 metode ME

B. METODE SINTESIS GRAPHENE

Secara garis besar, sintesis material *graphene* dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu: metode *top down* dan metode *bottom up* (Truong, 2013). Metode *top-down* adalah metode sintesis *graphene* dengan cara membelah material *graphite* menjadi lembar-lembar *graphene*. Sedangkan metode *bottom-up* adalah metode sintesis *graphene* dengan cara menggabungkan secara langsung atom-atom karbon menjadi *graphene*. Ada beberapa metode sintesis material *graphene* yang sudah digunakan, misalnya: metode *mechanical exfoliation* (ME), *chemical vapor deposition* (CVD), reduksi *graphene oxide* (rGO), *liquid exfoliation* (LE), dan masih banyak metode lainnya.

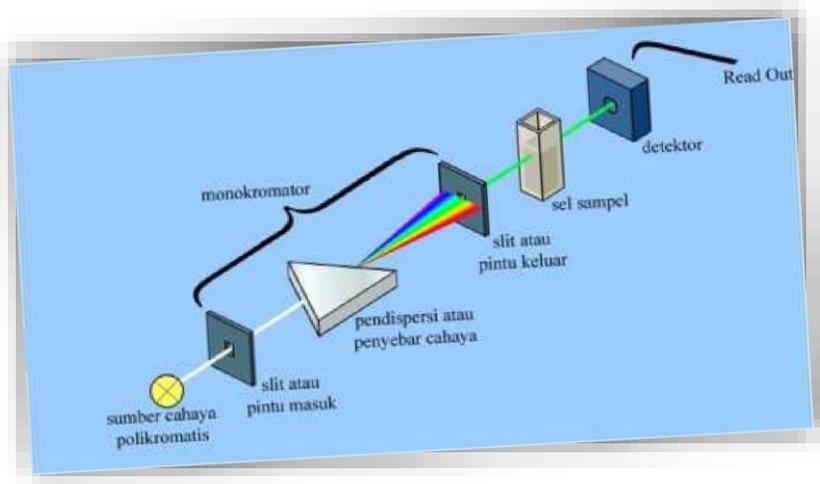
Metode ME merupakan metode berbasis *top-down* yang pertama kali dipakai untuk mensintesis *graphene* oleh penemu *graphene* sendiri, yaitu Geim dan Novoselov. Mereka membuat *graphene* dengan cara mengelupas lapisan- lapisan kristalin *graphite* atau karbon hingga skala mikrometer menggunakan selotip (Geim, 2007). Satu lembar *graphene* teramati menggantung pada substrat silikon oksida dengan mikroskop optik (Geim, 2007). Metode ini merupakan metode yang menghasilkan *graphene* dengan kemurnian dan kualitas yang sangat baik dimana semua sifat unggulnya tidak ada yang hilang. Akan tetapi, metode ini tidak dapat menghasilkan *graphene* dalam skala besar sehingga *graphene* yang dihasilkan menggunakan metode ini belum dapat dimanfaatkan atau diaplikasikan.

Salah satu contoh metode *bottom up* adalah CVD. CVD adalah metode sintesis *graphene* yang menggunakan substrat SiO_2 sebagai media penggabungan atau pertumbuhan atom-atom karbon menjadi *graphene*. Metode ini dapat menghasilkan *graphene* dalam jumlah banyak tetapi kualitasnya tidak sebaik metode lainnya. CVD juga membutuhkan biaya yang mahal karena menggunakan substrat SiO_2 dan peralatan penunjang yang berteknologi tinggi.

Metode rGO adalah metode sintesis *graphene* secara kimiawi, dimana serbuk *graphite* dioksidasi menggunakan bahan kimia seperti asam sulfat, asam nitrat, kalium klorat, dan lain sebagainya. Sintesis menggunakan metode rGO melewati dua tahap pengoksidasian, yaitu dari *graphite* menjadi *graphite oxide* dan *graphite oxide* menjadi *graphene oxide* (GO). Setelah melalui kedua tahap itu barulah didapatkan material *graphene* atau lembaran *graphene* yang tipis.

Metode sintesis *graphene* lainnya yang cukup menarik untuk dikaji lebih mendalam adalah metode LE. Metode ini menggunakan teknologi surfaktan sebagai pensintesisnya. Hasil dari sintesis metode ini memang tidak sebaik metode ME karena ada beberapa sifat unggulnya yang rusak. Akan tetapi, metode ini sama seperti metode CVD yang sudah dapat dimanfaatkan atau diaplikasikan lebih jauh lagi. Metode ini tidak membutuhkan biaya yang besar dalam prosesnya. Semua metode sintesis *graphene* yang ada memiliki kelebihan dan kelemahannya masing-masing. Untuk itu, ilmuwan yang mengkaji tentang *graphene* akan memilih metode sintesis *graphene* sesuai dengan kebutuhan dan tujuannya masing-masing.

C. KARAKTERISASI GRAPHENE



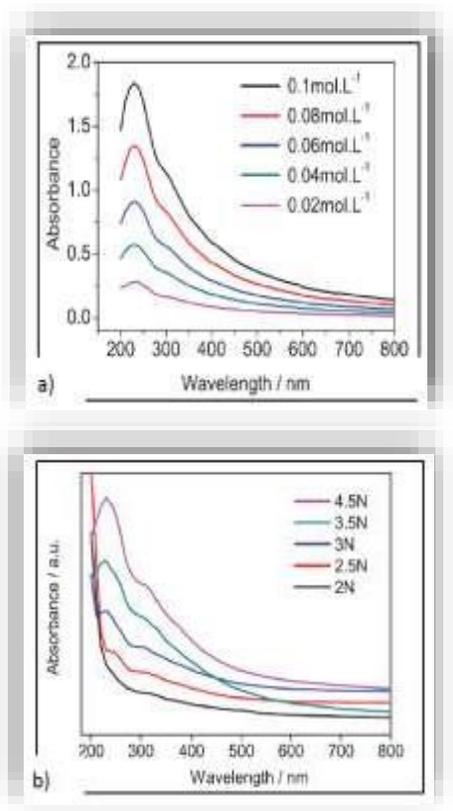
Gambar 7.4 diagram kerja spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri sinar tampak (UV-Vis) adalah metode analisis yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat dan sinar tampak pada instrumen spektrofotometer. Sinar ultraviolet (UV) mempunyai panjang gelombang 200 nm - 400 nm dan sinar tampak (*visible*) mempunyai panjang gelombang 400 nm - 750 nm. Spektrum UV-Vis sangat berguna untuk karakterisasi sebuah sampel secara kuantitatif.

Hasil dari karakterisasi menggunakan UV-Vis adalah grafik hubungan antara absorbansi dengan panjang gelombang. Grafik tersebut biasanya berupa puncak-puncak absorbansi pada panjang gelombang tertentu. Radiasi UV-Vis yang memiliki frekuensi yang sama dengan partikel sampel akan beresonansi, sehingga radiasi tersebut akan diabsorpsi oleh sampel. Absorbansi oleh sampel akan mengakibatkan terjadinya transisi elektron, yaitu elektron-elektron dari orbital dasar akan tereksitasi ke orbital yang lebih tinggi. Ketika elektron kembali ke orbital asal, elektron tersebut memancarkan energi dan energi itulah yang terdeteksi sebagai puncak-puncak absorbansi.

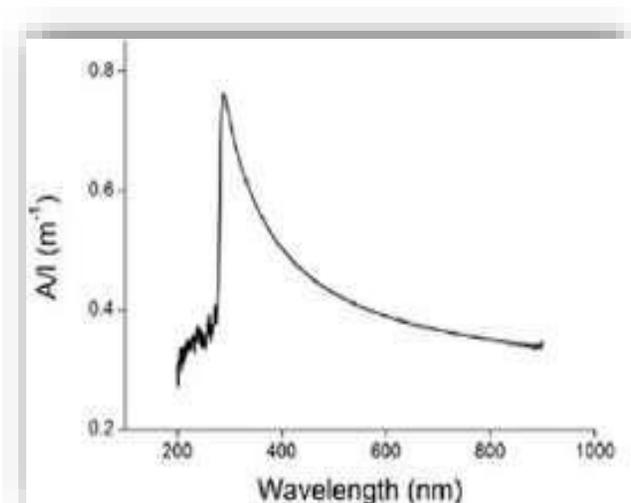
Gambar 7.4 memperlihatkan prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis. Sumber radiasi berasal dari sinar polikromatik. Sinar polikromatik didispersikan menjadi sinar monokromatik yang dikenakan pada sampel yang kemudian sinar transmisinya terdeteksi oleh detektor. Hasil yang terbaca oleh detektor yaitu berupa data absorbansi cahaya yang diserap oleh sampel pada panjang gelombang tertentu. Absorbansi di panjang gelombang tertentu menunjukkan karakter dari suatu senyawa atau partikel. Nilai absorbansi menunjukkan jumlah partikel yang terbentuk, sedangkan panjang gelombang yang terserap menunjukkan ukuran partikel (Octavia, 2014). Semakin besar ukuran partikel maka semakin besar panjang gelombang yang

terserap karena partikel yang lebih besar memiliki atom yang lebih banyak untuk menyerap panjang gelombang dari sumber cahaya. Ada beberapa karakterisasi material GO menggunakan UV- Vis yang telah dilakukan para ilmuwan atau akademisi dengan metode yang berbeda-beda. Lai dkk (2012) melakukan uji spektrum UV-Vis terhadap sintesis material *graphene* yang disintesis menggunakan metode rGO. Hasil karakterisasinya dapat dilihat pada Gambar 7.5.



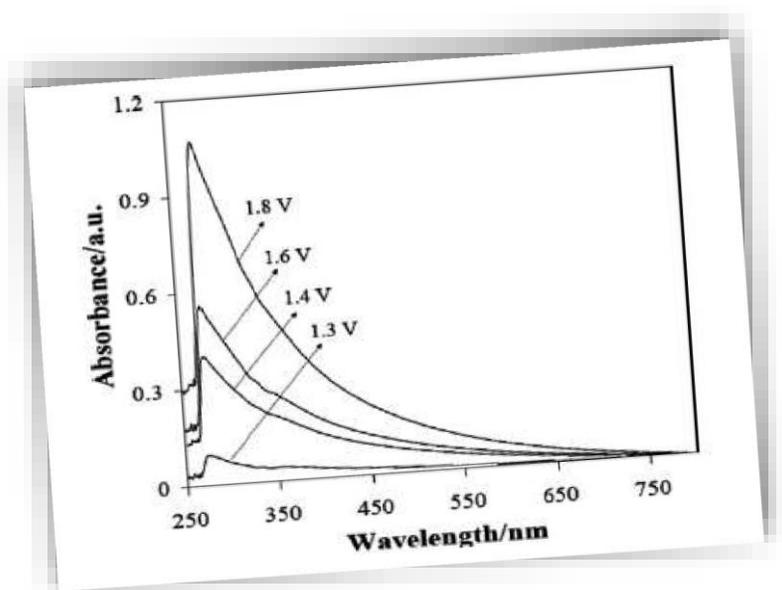
Gambar 7.5 (a) Spektrum absorpsi GO dengan variasi KMnO_4 yang didispersi dalam aquades, (b) spektrum absorpsi GO dengan variasi konsentrasi GO.

Puncak diamati pada panjang gelombang sekitar 230 nm dan 310 nm yang merupakan karakterisasi dari GO. Untuk metode LE, melakukan karakterisasi spektrum UV-Vis yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 Spektrum absorpsi UV-Vis dengan metode LE

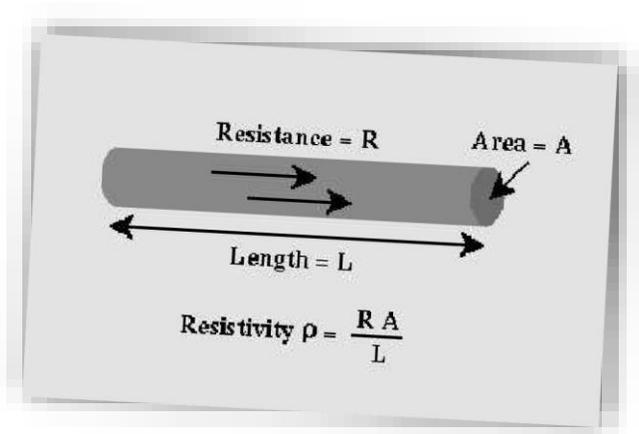
Puncak diamati pada panjang gelombang antara 200 nm sampai 400 nm yang merupakan karakterisasi dari *graphene* atau GO. Karakterisasi lain dilakukan oleh Murat (2011) yang sintesisnya menggunakan metode LE yang dikombinasikan dengan metode elektrolisis. Hasil karakterisasinya dapat dilihat pada Gambar 7.7.



Gambar 7.7 Spektrum absorpsi UV-Vis dengan metode LE dan elektrolisis

Puncak diamati pada panjang gelombang 270 nm dan 350 nm yang merupakan karakterisasi dari GO atau *graphene* banyak lapis. Dari beberapa karakterisasi yang telah diuraikan menunjukkan bahwa *graphene* memiliki karakteristik puncak UV-Vis pada panjang gelombang antara 200 nm sampai 400 nm.

Resistivitas atau tahanan jenis adalah kemampuan suatu bahan atau medium untuk menghambat arus listrik. Satuan untuk resistivitas adalah ohm meter (Ωm). Resistivitas suatu bahan bergantung pada besar tahanan, panjang, dan luas penampang bahan tersebut (lihat Gambar 7.8).



Gambar 7.8 Tahanan dan resistivitas suatu bahan

Semakin panjang bahan maka semakin kecil resistivitasnya begitu juga sebaliknya. Semakin besar luas penampang bahan maka semakin besar resistivitasnya. Resistivitas biasanya diukur dari besar tahananannya karena tahanan suatu bahan sebanding dengan resistivitasnya. Konduktivitas adalah kemampuan suatu bahan atau medium untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas biasanya diukur dari hubungan antara konduktivitas dengan resistivitas.

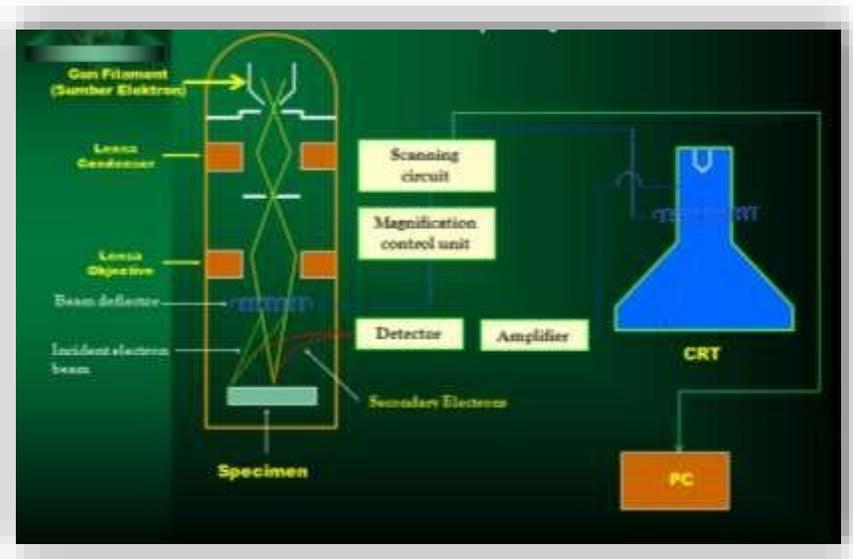
Resistivitas dan konduktivitas adalah besaran-besaran yang dapat digunakan sebagai parameter dasar dalam menentukan sifat listrik suatu bahan atau material. Semakin besar nilai konduktivitas maka semakin tipis lapisan *graphene* yang terbentuk, begitu juga sebaliknya. Hal tersebut mengacu pada *graphene* dengan lapisan *single-layer* (satu lapis). Besaran konduktivitas dapat ditentukan dengan mengukur besar tahanan bahan tersebut.

SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek padat secara langsung. SEM memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. Bagian utama peralatan SEM, yaitu penembak elektron (*electron gun*), lensa magnetik dan lensa objektif (*scanning coils*), *fine probe*, detektor, *speciment*, dan monitor CRT (*cathode ray tube*).

Penembak elektron berfungsi untuk menembakkan elektron ke sampel. Lensa magnetik dan lensa objektif berfungsi membengkokkan dan memfokuskan berkas elektron. *Fine probe* berfungsi membaca permukaan sampel. Detektor berfungsi menangkap hamburan elektron. *Speciment* berfungsi untuk meletakkan sampel yang akan diuji. Monitor CRT berfungsi untuk mengamati struktur sampel antara lain berupa topografi, morfologi, dan komposisi unsur atau senyawa yang terkandung di dalam objek.

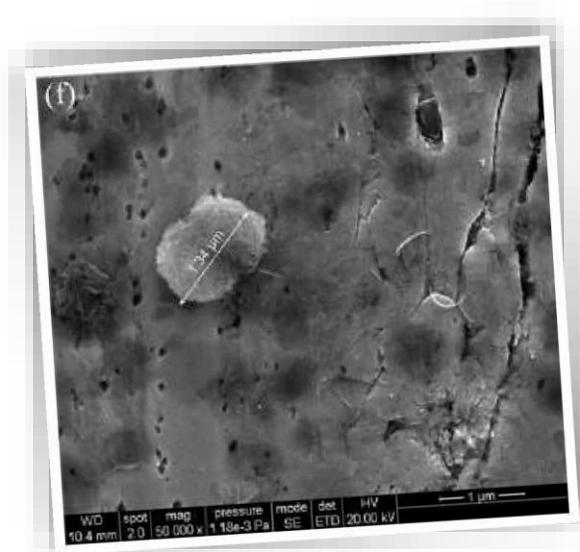
Berkas elektron yang dihasilkan oleh *elektron gun* difokuskan pada ruang vakum sehingga membentuk *fine probe*. Berkas elektron dilewatkan melalui lensa magnetik dan lensa objektif. Lensa objektif berfungsi sebagai pembelok berkas elektron secara horisontal dan vertikal, sehingga berkas dapat membaca seluruh permukaan sampel. Berkas elektron yang sampai ke permukaan sampel mengalami interaksi dengan elektron pada permukaan sampel. Tumbukan elektron dengan permukaan sampel menghasilkan beberapa sinyal. Sinyal tersebut diantaranya *secondary electrons*, *backscattered electrons* (BSE), dan *diffracted backscattered electrons* (EBSD). *Secondary electrons* memberikan informasi morfologi dan

topologi pada sampel. *Backscattered electrons* biasanya digunakan untuk memberikan gambaran kontras pada sampel. Selanjutnya, sinyal-sinyal tersebut diperkuat dan besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada monitor CRT. Pada layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar dapat diamati.



Gambar 7.9 Prinsip kerja SEM

Morfologi *graphene* dapat dilihat dari uji SEM. Ada beberapa hasil uji SEM dari material *graphene* yang telah dilakukan para penelitian atau akademisi dengan metode sintesis yang berbeda-beda. Salah satunya yaitu yang melakukan uji SEM terhadap hasil sintesis material *graphene* yang disintesis menggunakan metode LE dikombinasikan dengan metode elektrolisis. Hasil uji SEM yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 7.10.



Gambar 7.10 Hasil uji SEM terhadap sintesis material *graphene* menggunakan metode LE dan elektrolisis

Dari Gambar 7.10, dapat dilihat terdapat lapisan yang berbentuk mirip bulatan oval yang menjadi ciri khas dari material *graphene*. Lapisan yang masih tebal tersebut merupakan *graphene multi-layer* dengan panjang 1,34 mikrometer.

D. KARAKTERISASI SERBUK PENSIL HASIL EKSFOLIASI MEKANIK

Dalam bagian ini akan dijelaskan cara mendapatkan nanomaterial dari grafit pensil 2B. Selain itu, akan didapatkan pula berbagai hasil uji menggunakan XRD, mikroskop cahaya, dan SEM-EDX (JEOL JSM-6510 LA) terhadap nanomaterial yang dihasilkan melalui metode ME terhadap serbuk pensil 2B

Pembuatan sampel dilakukan dengan cara mengamplas kaca preparat dengan beberapa jenis amplas yang memiliki tingkat

kekasaran berbeda. Setelah diampelas, preparat tersebut digores menggunakan material grafit dari pensil 2B. Teknik ME dilakukan untuk mengurangi lapisan grafit pensil yang telah digoreskan pada kaca preparat.

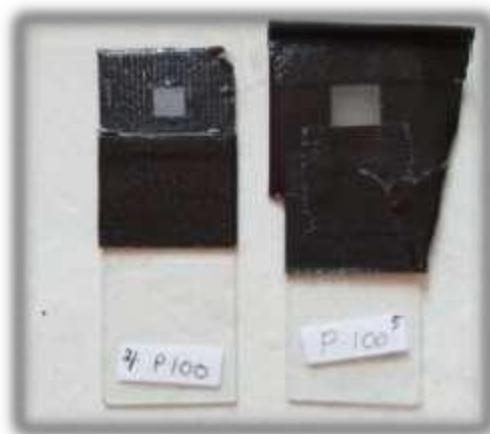
Uji yang pertama yaitu uji transmitansi terhadap preparat yang telah digoreskan pada kaca preparat. Selanjutnya, karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui apakah material yang dihasilkan berbentuk kristal atau amorf, dan uji SEM-EDX serta mikroskop cahaya untuk melihat morfologi permukaan material pada preparat.



Gambar 7.11 Pembersihan kaca preparat dalam *aquades*.

Cara kerja untuk memperoleh bahan nanomaterial dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama-tama dilakukan pembersihan terhadap kaca preparat (Gambar 7.11). Hal ini dilakukan dengan cara memasukkan preparat ke dalam *aquades*. Kemudian, dilakukan pengamplasan preparat (Gambar 7.12). Hal ini dilakukan agar pensil yang digoreskan dapat menempel pada preparat. Pengamplasan preparat dilakukan menggunakan amplas dengan waktu dan tipe amplas yang berbeda. Namun, perlakuan yang dilakukan sama, yaitu mengamplas dengan arah yang sama

(diampelas dari atas ke bawah). Lebih jauh, pengamplasan preparat juga menggunakan aplikasi *android*, yaitu *metronome* untuk mengatur tempo sehingga mengurangi kesalahan dalam mengamplas.



Gambar 7.12 Contoh sampel dari preparat yang telah di-amplas dan digores. Sebagian kaca preparat dilapisi lakban hitam untuk membuat sampel (1 x 1) cm².

Spesifikasi pengamplasan dapat diberikan sebagai berikut:

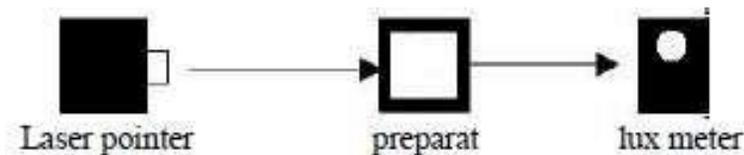
- a. Untuk membuat sampel uji transmitansi, amplas tipe P100, P120, P150, P240, dan P320 masing-masing digunakan untuk mengamplas satu preparat selama lima menit.
- b. Untuk uji mikroskop cahaya digunakan preparat yang diampelas dengan tipe P100 dengan waktu pengamplasan selama lima menit.

Penggoresan pensil 2B dilakukan pada preparat yang sudah diampelas. Penggoresan pensil dilakukan selama dua menit untuk semua preparat yang sudah diampelas. Penggoresan pensil dilakukan dengan penggoresan yang sama, yaitu dari

atas ke bawah. Setelah digores, kemudian dibuat sampel (1 x 1) cm² pada preparat yang dianggap mendapat pengamplasan dan penggoresan yang rata (Gambar 7.12). Langkah berikutnya adalah melakukan teknik ME untuk beberapa pengujian, diantaranya sebagai berikut:

- a. Uji transmitansi (Gambar 7.13) dilakukan pada preparat yang sudah digores pensil 2B dan dilakukan dua kali ME.
- b. Pengujian sampel menggunakan mikroskop cahaya dilakukan variasi ME yaitu 0 ME, 1 ME, 3 ME, 5 ME, 10 ME, dan 20ME.

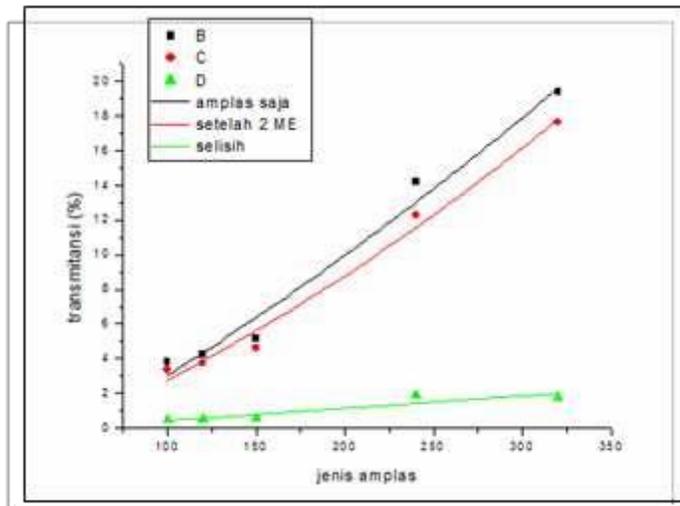
Hasil uji yang pertama adalah uji transmitansi. Variabel bebas yang digunakan yaitu jenis amplas dengan tingkat kekasaran yang berbeda. Tujuan dilakukan uji transmitansi yaitu untuk menentukan jenis amplas yang menghasilkan grafit pensil paling tebal dengan nilai transmitansi terkecil.



Gambar 7.13 Prosedur pengukuran transmitansi pada preparat yang telah diamplas dan digores dengan pensil.

Gambar 7.14 memperlihatkan hasil transmitansi penggoresan pensil 2B selama dua menit pada kaca preparat yang telah diamplas menggunakan variasi jenis (kekasaran) amplas. Sumbu vertikal menunjukkan transmitansi (dalam %) dan sumbu horizontal menunjukkan jenis amplas. Data kotak (hitam) menunjukkan transmitansi kaca yang telah di-amplas saja, data belah ketupat (merah) menunjukkan transmitansi kaca preparat yang telah di-amplas dan digores pensil 2B, dan data segitiga

(hijau) menunjukkan selisih data transmitansi kaca yang di-amplas saja dengan data transmitansi preparat yang di-amplas dan digores. Dengan kata lain, data terakhir ini menunjukkan transmitansi lapisan karbon pensil 2B saja.

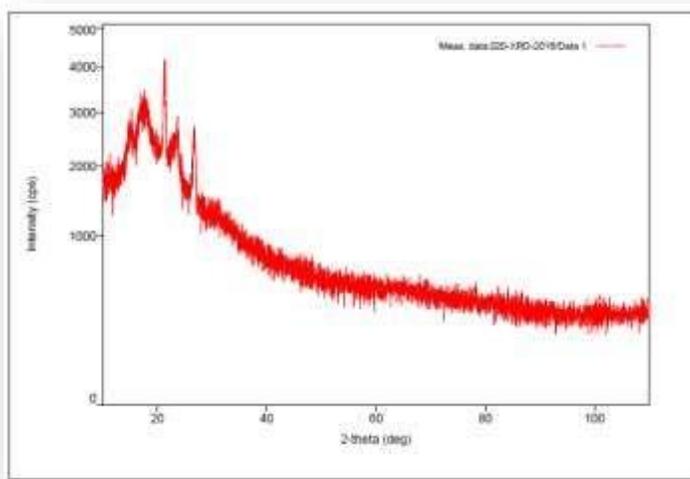


Gambar 7.14 Grafik hubungan jenis ampas dengan transmitansi

Dari Gambar 7.14 terlihat bahwa semakin halus jenis ampasnya (ditunjukkan dengan angka pada sumbu horizontal yang makin tinggi) maka transmitansinya makin besar pula. Dengan demikian, dapat diamati bahwa ampas dengan tipe P100 (paling kasar) menghasilkan nilai transmitansi terkecil dibandingkan dengan tipe lain yang lebih halus. Hal ini terjadi karena semakin kasar jenis ampasnya, maka semakin kasar permukaan kaca preparat yang akhirnya mengakibatkan semakin banyaknya serbuk grafit yang tertempel pada lapisan preparat. Semakin banyak grafit yang tertinggal pada preparat menyebabkan semakin kecilnya cahaya yang diteruskan. Untuk

uji-uji selanjutnya, digunakan amplas yang paling kasar yakni P100.

Pengujian berikutnya adalah uji XRD untuk mengetahui kekristalan material hasil penggoresan pensil 2B dengan pengamplasan lima menit setelah dilakukan dua kali ME. Hasil uji tersebut dapat diamati pada Gambar 7.15.

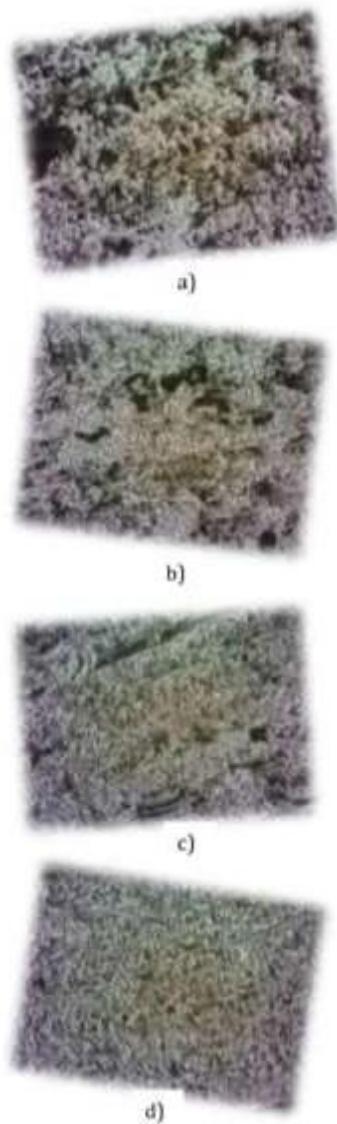


Gambar 7.15 Hasil XRD untuk preparat yang telah di-amplas dan digores dengan pensil.

Dari gambar uji XRD di atas terlihat beberapa puncak yang muncul. Ini menunjukkan bahwa material hasil penggoresan pensil dengan 2 kali ME menghasilkan struktur kristalin.

Uji mikroskop cahaya dan SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui karakteristik morfologi permukaan material

hasil penggoresan pensil setelah dilakukan variasi jumlah ME, yaitu: 0, 3, 10, dan 20 kali.

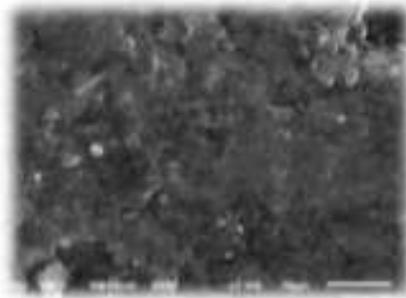


Gambar 7.16 Hasil pengamatan mikroskop cahaya dengan perbesaran 40x. a) 0 kali ME, b) 3 kali ME, c) 10 kali ME, dan d) 20 kali ME.

Untuk uji mikroskop cahaya dapat diamati pada Gambar 7.16. Dari keempat gambar yang ditampilkan ini, terlihat bahwa semakin banyak ME yang dilakukan, maka lapisan yang terdapat pada preparat juga semakin tipis. Hal tersebut ditunjukkan oleh semakin rataanya lapisan yang mengisi sela-sela preparat yang diampelas dan warna yang ditimbulkan tidak terlalu pekat.

Untuk melihat lebih detail morfologi permukaan dari preparat, maka dilakukan uji SEM-EDX. Pada uji SEM (Gambar 7.17) terlihat struktur morfologi hasil penggoresan pensil berbentuk seperti *bulk* atau gumpalan bulat yang cukup homogen. Terlihat pula gumpalan yang berlapis-lapis. Lebar dari berbagai gumpalan tersebut berkisar antara 171 nm sampai 800 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran dari material tersebut sudah ada yang mendekati ukuran nanometer.

Terakhir, hasil EDX (Gambar 7.18) memperlihatkan komposisi atau kandungan bahan kimia yang terdapat pada nanomaterial hasil penggoresan pensil. Selain unsur karbon, muncul unsur-unsur lain yaitu O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe yang terkandung pada tanah liat yang dicampurkan pada pembuatan grafit pensil. Unsur C dan O memiliki persentase (jumlah) atom terbesar, masing-masing 47,12% dan 35,01%.



a)

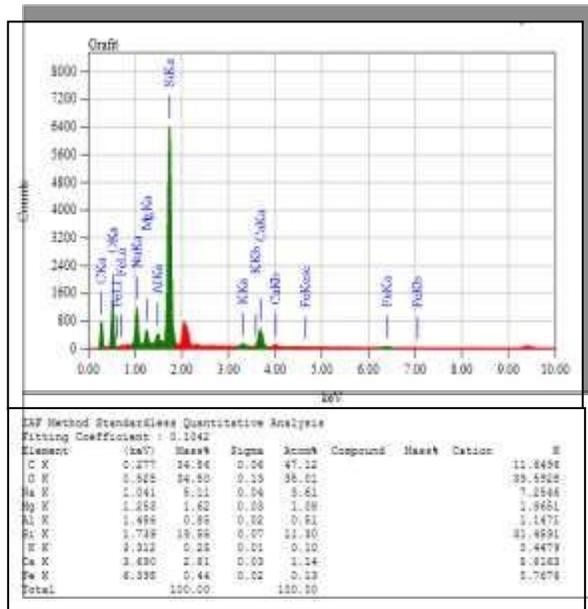


b)



c)

Gambar 7.17 Hasil morfologi permukaan penggoresan pensil pada preparat yang telah di-amplas dengan perbesaran a) 2000X, b) 5000X, dan c) 10000X.



Gambar 7.18 Hasil EDX penggoresan pensil pada preparat yang telah di-amplas.

E. KARAKTERISASI OPTIS SERBUK PENSIL HASIL ESFIOLASI MEKANIK MENGGUNAKAN BLENDER

Serbuk pensil juga dapat diolah menjadi bahan berukuran nano berdasarkan metode eksfoliasi mekanik yang berbasis fase cairan (*liquid mechanical exfoliation* atau disingkat LME) menggunakan alat yang tidak asing lagi dalam kehidupan sehari-hari, yaitu blender (Gambar 7.18). Tidak seperti fase padat seperti pembahasan sebelumnya, dalam fase cairan ini, serbuk pensil dilarutkan dalam pelarut, dalam hal ini air, kemudian diblender dengan frekuensi dan waktu tertentu. Terjadinya turbulensi, *shear stress*, dan gejala fisika lainnya yang bersumber dari rotasi (perputaran) dan pisau blender akan memaksa ikatan van der Waals dalam grafit serbuk pensil untuk tereksfoliasi menjadi lapisan-lapisan yang lebih tipis.

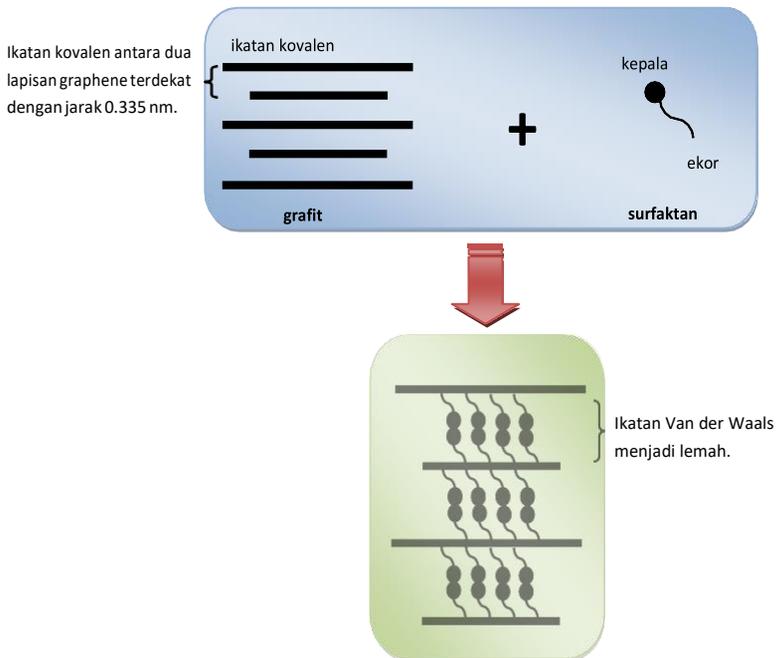
Pelemahan ikatan van der Waals dalam grafit pensil juga dapat dibantu oleh pencampuran surfaktan ke dalam larutan. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 7.19. Surfaktan akan mengisi sela-sela antar beberapa lapisan graphene. Bagian kepala pada surfaktan akan tetap berada dalam air karena bagian ini menyukai air (*hydrophilic*), sedangkan bagian ekor surfaktan akan menempel pada lapisan grafit karena bagian ini tidak menyukai air (*hydrophobic*). Dengan demikian, ikatan antar lapisan graphene akan melemah karena diganggu oleh kehadiran surfaktan.



Gambar 7.18 blender (atas) dan pisau blender (bawah)

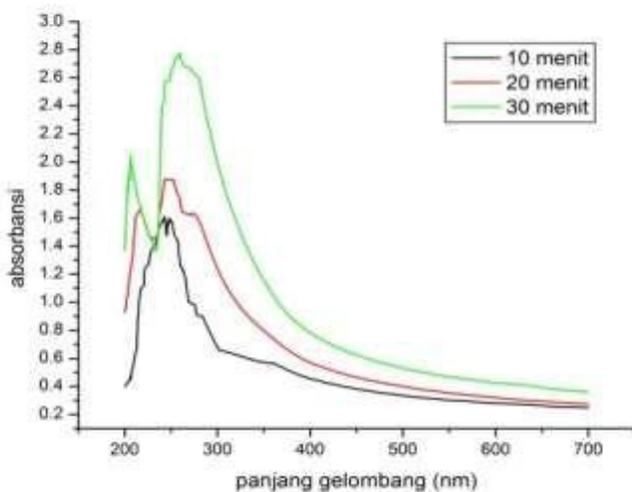
Dalam hal ini, serbuk pensil yang dilarutkan dalam air akan diblender dengan laju putaran yang tetap, yakni 36,89 Hz. Perlu diketahui bahwa laju putar ini adalah laju putar blender sebelum larutan serbuk pensil dimasukkan ke dalamnya. Di sisi lain,

lamanya (waktu) pemutaran blender divariasi sebesar 10 menit, 20 menit, dan 30 menit. Perlu diketahui juga bahwa waktu pemutaran blender ini masih jauh di bawah waktu pemutaran blender untuk menghasilkan graphene oxide (GO) yang baik. Waktu pemutaran blender yang biasa digunakan untuk menghasilkan GO dapat mencapai 4 jam bahkan lebih. Namun demikian, informasi yang diberikan di sini tetap penting untuk memberikan gambaran tentang pembentukan GO yang dapat diamati dari karakteristik optis larutan yang dihasilkan menggunakan UV-Vis.



Gambar 7.19 Interaksi antara grafit dan surfaktan sehingga ikatan van der Waals dalam grafit menjadi lemah.

Prosedur kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut: 1) dihitung frekuensi putar blender menggunakan stroboskop, 2) grafit isi batang pensil 2B merek *faber castell* ditumbuk menggunakan penumbuk mortar hingga halus kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital sebanyak 4 gram, 3) serbuk *graphite*, air sebanyak 100 ml, dan LAS sebanyak 2 ml dituangkan ke dalam blender, 4) blender dinyalakan. Variasi waktu pemutaran blender yang dilakukan adalah (dalam menit) 10, 20, dan 30. Setelah preparasi selesai, selanjutnya karakterisasi larutan yang dihasilkan menggunakan uji UV-Vis.



Gambar 7.20 Hasil uji UV-Vis sampel larutan pensil 2B yang telah ditambahkan surfaktan dan diblender.

Hasil karakterisasi UV-Vis dapat diamati pada Gambar 7.20. Grafik pada Gambar 7.20 merupakan hasil uji UV-Vis yang

menggambarkan hubungan antar besarnya absorbansi (sumbu vertikal) dengan panjang gelombang (sumbu horizontal). Grafik paling atas (warna hijau), tengah (warna merah), dan paling bawah (warna hitam), berturut-turut, menunjukkan pola absorbansi untuk larutan yang telah mengalami 30 menit, 20 menit, dan 10 menit putaran blender. Semakin lama pemutaran blender maka semakin besar pula nilai absorbansi yang dihasilkan. Nampak terjadi absorbansi maksimum pada panjang gelombang tertentu untuk semua grafik. Dapat pula diamati terjadinya pergeseran panjang gelombang pada absorbansi maksimum pada tiap-tiap sampel. Pergeseran panjang gelombang ini menuju panjang gelombang yang makin besar untuk semakin lama waktu pemutaran blender.

Nilai panjang gelombang pada absorbansi maksimum dan *energy gap* untuk tiap-tiap variasi lamanya pemutaran blender dapat dilihat pada Tabel 7.1. Dapat diamati pada tabel bahwa panjang gelombang maksimum untuk variasi lama pemutaran blender semakin menuju pada karakteristik GO, yakni di sekitar 270 nm. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pemutaran blender belum mencukupi untuk menghasilkan GO yang baik. Inilah alasannya mengapa waktu pemutaran blender hendaknya jauh lebih lama untuk menghasilkan GO yang baik.

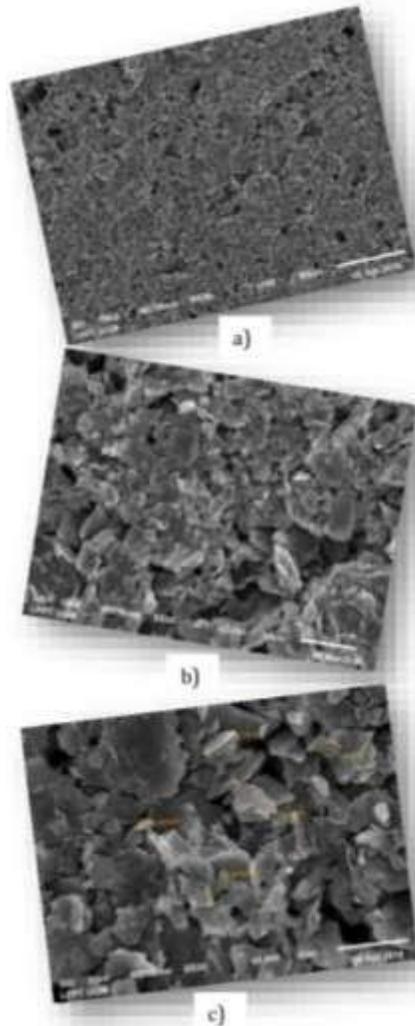
t (menit)	λ (nm)
10	242,500
20	244,000
30	259,500



Gambar 7.21 Hasil sampel larutan pensil 2B yang telah diblender.

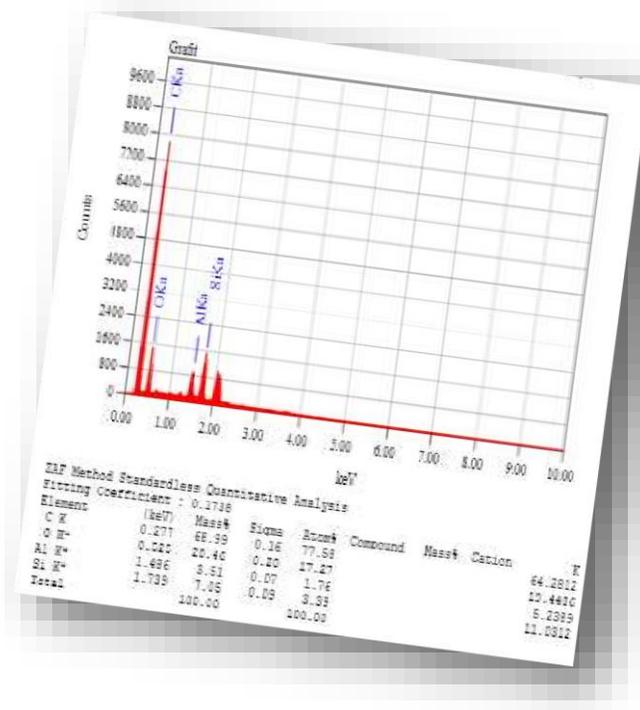
Perlu ditambahkan bahwa sampel yang dihasilkan (setelah diblender dan dibiarkan selama beberapa waktu – Gambar 7.21) adalah bagian cairan (atas) dan endapan padat (di bawah). Pada bagian cairan di atas inilah dilakukan uji UV-Vis. Sedangkan, endapan yang dihasilkan masih berupa grafit pensil yang lebih

halus daripada sebelum diblender (masih serbuk). Bagian endapan ini dapat diuji lebih lanjut menggunakan SEM dengan metode *dip-coating* sederhana (Gambar 7.22).



Gambar 7.22 Hasil SEM bagian endapan sampel pensil 2B yang telah diblender dengan perbesaran a) 500X, b) 2000X, dan c) 5000X.

Dapat diamati pada Gambar 7.22 a) bahwa endapan yang dihasilkan dari proses pemblenderan sampel grafit bersifat homogen. Jika perbesarannya ditambah menjadi 2000X [Gambar 7.22 b)] terlihat material yang berbentuk *flakes*. Ukuran *flakes* nampak bervariasi dengan ketebalan yang berbeda-beda pula. Lebar *flakes* dapat diukur pada perbesaran 5000X, yakni Gambar 7.22 c), yang menunjukkan beberapa contoh *flakes* dengan lebar di sekitar 1200 sampai 3500 nm. Material dalam bentuk flakes ini juga tampak secara homogen tersebar merata. Hasil SEM endapan grafit pensil 2B yang diperoleh menggunakan mode LME dapat dibandingkan dengan hasil SEM sampel goresan pensil pada pembahasan sebelumnya, yakni Gambar 7.17. Nampak perbedaan bentuk material, dimana bahan hasil penggoresan pensil cenderung berbentuk bulat dan menyebar, sedangkan bahan hasil blender berbentuk *flakes* dengan batas-batas yang jelas antar *flakes*. Terakhir, dapat pula diperoleh informasi tentang kandungan unsur pada endapan pensil 2B yang telah diblender melalui EDAX pada Gambar 7.23 di bawah ini.



Gambar 7.23 Hasil EDAX bagian endapan sampel pensil 2B yang telah diblender.

Hasil EDAX menunjukkan kemunculan berbagai bahan dalam endapan grafit pensil, yakni karbon (C), oksigen (O), aluminium (Al), dan silicon (Si). Bahan dasar pembuat pensil 2B adalah karbon. Dengan demikian, masuk akal jika kandungan bahan tersebut paling besar yakni sekitar 78%. Selanjutnya, dapat diamati pula kandungan oksigen sebesar 17%. Hal ini menunjukkan bahwa bahan yang terkandung dalam endapan pensil 2B hasil blender berupa oksida grafit atau dapat pula berupa GO.

F. KARAKTERISASI OPTIS SERBUK PENSIL HASIL EKSFOLIASI MEKANIK DAN ULTRASONIKASI

Metode preparasi dan sintesis *graphene* atau GO berbasis LME dapat dimodifikasi lebih jauh dengan melakukan ultrasonikasi terhadap sampel larutan setelah diblender. Surfaktan masih digunakan untuk membantu proses eksfoliasi ketika sampel diblender dan sonikasi. Dengan perlakuan yang bertahap ini, yakni pemberian surfaktan, blender, dan ultrasonikasi, diharapkan dapat dihasilkan material *graphene* atau GO yang berkualitas dengan ukuran yang memenuhi syarat nanomaterial. Perlu diketahui bahwa alat ultrasonikasi yang digunakan merupakan buatan sendiri (bukan buatan pabrik) yang dirakit secara sederhana menggunakan *speaker* tweeter piezoelektrik.

Alat ultrasonikasi buatan sendiri ini (Gambar 7.24) terdiri dari landasan yang terbuat dari kayu. Selanjutnya di tengah-tengah landasan diberi tiang yang berasal dari botol plastik bekas air mineral yang ditutup dengan lakban. Di ujung atas botol plastik tersebut dipasang kayu panjang yang bersamanya direkatkan kabel panjang yang berujung pada tweeter piezoelektrik (Gambar 7.24 bawah). Sonikator disusun berbentuk prisma segitiga. Tweeter piezoelektrik di rekatkan pada ketiga sisi samping prisma.

Larutan yang akan disonikasi dimasukkan ke dalam sebuah gelas beaker. Selanjutnya, gelas beaker tersebut ditempatkan tepat di tengah-tengah sonikator, sehingga sonikator tenggelam (berada dalam) larutan dan larutan siap untuk disonikasi.

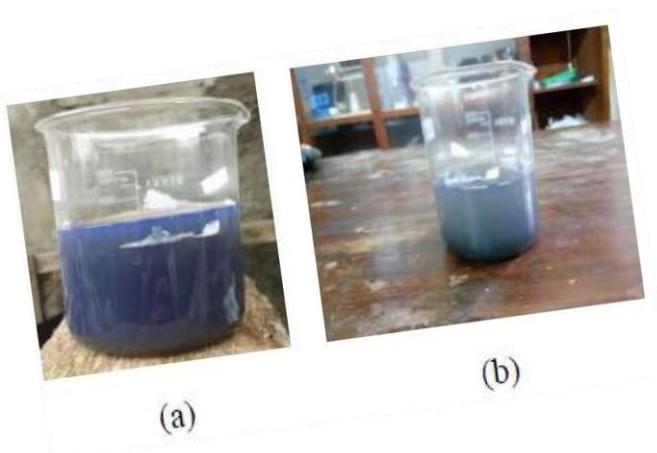


Gambar 7.24 Alat ultrasonikasi rakitan sendiri (atas) menggunakan *speaker* tweeter piezoelektrik (bawah).

Ultrasonikasi dilakukan untuk melepas (mengeksfoliasi) lebih lanjut lapisan-lapisan grafit (pensil 2B) menjadi *graphene* atau GO. Sonifikasi ditambahkan atau dikombinasikan dengan surfaktan untuk membantu kerja surfaktan dalam melepas lembaran *graphene*. Sedangkan, surfaktan yang digunakan yaitu

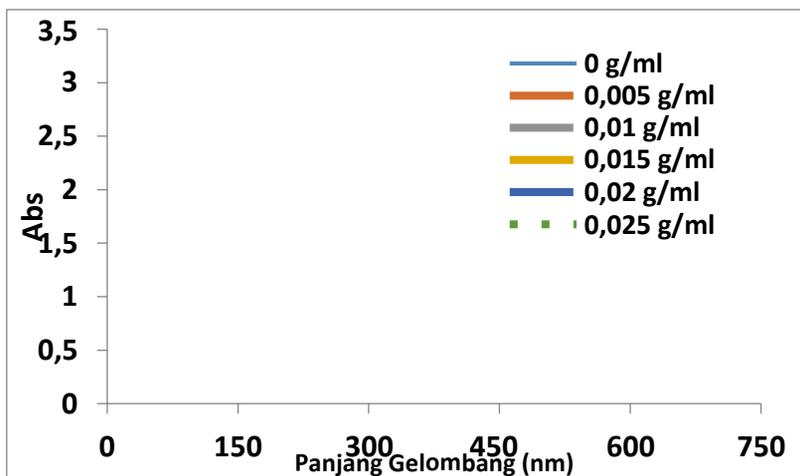
LAS yang berasal dari deterjen komersial. Metode ini dikenal dengan nama *liquid sonication mechanical exfoliation* (LSME). Dalam hal ini, akan dipelajari pengaruh konsentrasi larutan surfaktan terhadap sintesis GO yang dikarakterisasi menggunakan UV-Vis dan SEM.

Proses sintesis GO dengan metode LSME untuk variasi konsentrasi larutan surfaktan dapat diberikan sebagai berikut: a) menimbang serbuk grafit pensil 0,5 gram sebanyak 6 kali menggunakan timbangan digital, b) menimbang deterjen dengan variasi (dalam gram): 1, 2, 3, 4, dan 5 menggunakan timbangan digital, c) menyiapkan aquades 200 ml sebanyak 6 kali, d) mencampurkan serbuk grafit, deterjen, dan aquades menggunakan blender lalu menuangkannya ke gelas beaker dan menandainya sesuai variasi yang ada, e) mengultrasonikasi larutan selama 5 jam dengan frekuensi 30 kHz dan setelah itu mendinginkan larutan tersebut selama satu malam. Sampel yang telah didiamkan semalaman diuji menggunakan UV-Vis dan dilakukan *dip-coating* sederhana untuk uji SEM.



Gambar 7.25 Hasil sampel yang telah diultrasonikasi (a) dan hasil sampel yang telah didiamkan semalaman (b).

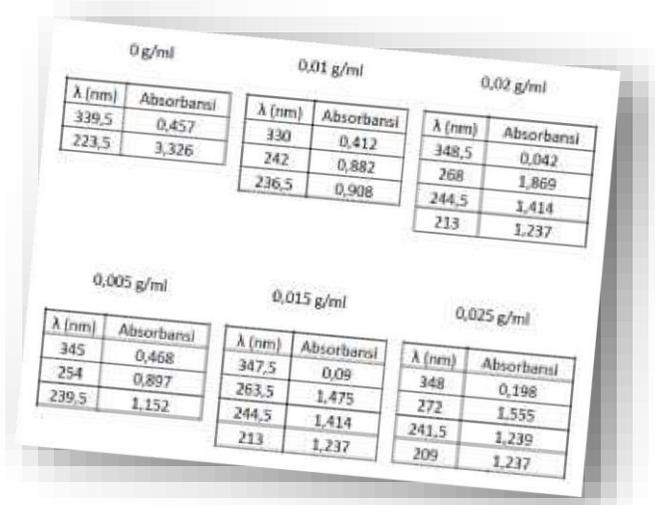
Larutan yang diperoleh setelah dilakukan perlakuan dapat dilihat pada Gambar 7.25. Larutan yang telah diultrasonikasi [Gambar 7.25 a)] nampak berwarna biru ke-ungu-an. Semakin ke bawah, maka larutan semakin terlihat pekat (gelap). Hal ini berbeda dengan larutan yang diperoleh hanya dengan diblender saja. Selain itu, terdeteksi pula gejala kenaikan suhu saat sampel diultrasonikasi dan bertahan beberapa saat setelah ultrasonikasi dihentikan. Namun demikian, setelah didiamkan semalaman, terlihat perubahan warna larutan menjadi ke-abuan yang semakin pekat pada bagian bawah bejana. Bagian larutan yang akan diuji UV-Vis dan SEM adalah bagian larutan paling atas. UV-Vis dilakukan dengan mengambil sampel larutan bagian atas (cairan). SEM dilakukan dengan *dip-coating* sederhana pada bagian atas larutan menggunakan kaca preparat dan kemudian dikeringkan.



Gambar 7.26 Hasil uji UV-Vis sampel yang telah diultrasonikasi dan didiamkan semalaman dengan variasi konsentrasi surfaktan.

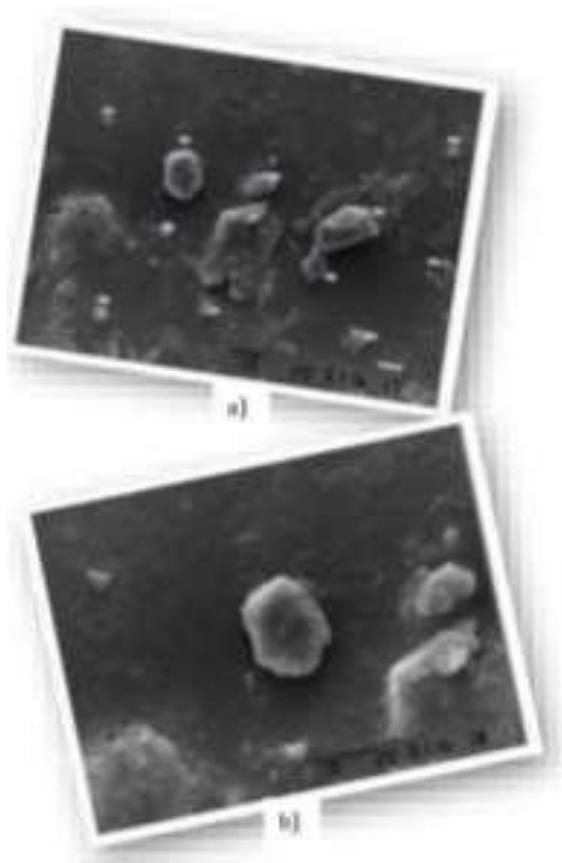
Hasil uji UV-Vis sampel yang telah disintesis diberikan oleh Gambar 7.26. Sampel yang tidak ditambah surfaktan memiliki absorbansi maksimum terbesar. Dengan penambahan surfaktan,

dapat diamati bahwa absorbansi larutan menjadi jauh lebih rendah. Penurunan absorbansi maksimum ini mengindikasikan semakin tipisnya lapisan graphene multi-layer (GO) yang terbentuk. Sebelum ditambahkan surfaktan, absorbansi larutan tinggi, yang berarti larutan mengandung sedikit GO atau bahkan perlakuan yang diberikan tidak cukup untuk menghasilkan GO. Hasil ini menunjukkan bahwa surfaktan menjadi penting untuk mengeksfoliasi grafit yang berasal dari pensil 2B. Semakin besar konsentrasi surfaktan, maka absorbansi maksimum larutan cenderung semakin kecil. Sekali lagi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi surfaktan yang diberikan dalam larutan, maka semakin tipis GO yang dihasilkan karena semakin banyak lapisan grafit yang tereksfoliasi. Puncak-puncak absorbansi (absorbansi maksimum) terjadi pada panjang gelombang di sekitar 200 sampai 350 nm. Hal ini menandakan terbentuknya GO dalam larutan.



Gambar 7.27 Berbagai panjang gelombang yang berkaitan dengan absorbansi maksimum larutan dengan variasi konsentrasi surfaktan.

Untuk lebih jelasnya, dapat dibuat tabel berbagai panjang gelombang yang terkait dengan absorbansi maksimum untuk tiap-tiap larutan dengan variasi konsentrasi surfaktan. Hal ini diberikan pada Gambar 7.27. Penambahan surfaktan memberikan puncak baru pada konsentrasi surfaktan 0,005 gram/ml, yakni di sekitar 345 nm. Nilai panjang gelombang ini muncul pada semua konsentrasi surfaktan yang divariasikan yakni (dalam gram/ml): 0,005; 0,01; 0,015; 0,02, dan 0,025. Namun demikian, nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang ini cenderung semakin berkurang dengan semakin besarnya konsentrasi surfaktan yang ditambahkan ke dalam larutan. Salah satu panjang gelombang pada absorbansi maksimum yang menandakan kehadiran GO atau *graphene* multi-layer adalah 250 sampai 270 nm. Hal ini terobservasi pada semua larutan yang telah ditambahkan surfaktan, terutama untuk konsentrasi surfaktan 0,02 gram/ml dan 0,025 gram/ml, dengan masing-masing panjang gelombang pada absorbansi maksimum di 268 nm dan 272 nm. Di sekitar panjang gelombang ini, terjadi transisi $\pi - \pi^*$ dari ikatan C = C.



Gambar 7.28 Hasil SEM sampel yang telah diultrasonikasi dengan perbesaran a) 1000X dan b) 2000X.

Terakhir, hasil uji SEM terhadap sampel yang telah disonikasi dan didiamkan semalam dapat dilihat pada Gambar 7.28. Dapat diamati bahwa bahan sampel tidak merata (tidak homogen). Terlihat adanya gumpalan-gumpalan material seperti awan (*cloud-like materials*). Gambar 7.28 b) memperlihatkan salah satu gumpalan dengan lebih jelas. Dapat dilihat adanya lapisan-lapisan tipis yang saling tumpang tindih memberikan indikasi terbentuknya GO.***

BAB VIII

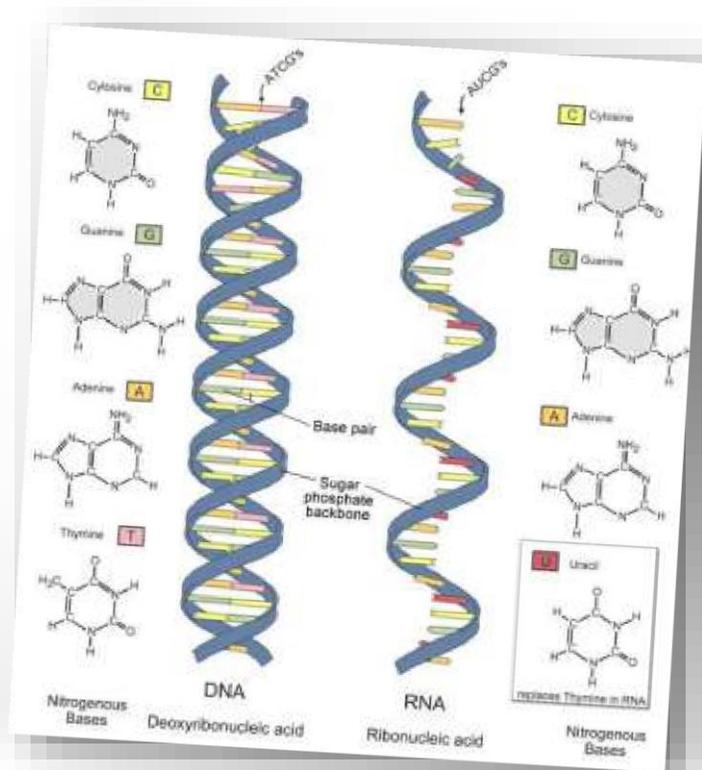
PREPARASI DAN ISOLASI DNA BAKTERI *E. COLI* SEBAGAI NANOBIOMATERIAL

A. SEKILAS TENTANG DNA SEBAGAI NANOBIOMATERIAL

Salah satu objek berukuran nano yang menarik untuk diteliti adalah DNA (*dioxiribo nucleic acid*). Dalam bagian ini, akan dibahas tentang DNA bakteri yang berukuran nano. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *E. coli*. Bakteri ini dipilih karena *E. coli* merupakan bakteri yang pertumbuhannya sangat cepat dan penanganannya mudah. Bakteri *E. coli* digunakan untuk penelitian sel prokariotik. Bakteri ini digunakan dalam bidang bioteknologi dan mikrobiologi sebagai *host organism* untuk DNA rekombinan. *E. coli* digunakan sebagai rekayasa genetika untuk menghasilkan penemuan baru di bidang teknologi, kedokteran, dan lainnya. Dengan demikian, menarik untuk membahas pengaruh kelajuan sentrifugasi dan perbedaan konsentrasi larutan untuk melihat hasil isolasi DNA plasmid bakteri *E. coli* sebagai nanopartikel.

Sel memiliki DNA yang merupakan materi genetik dan bersifat hereditas (turunan) dalam seluruh sistem kehidupan. Genom adalah set lengkap materi genetik (DNA) yang dimiliki oleh suatu organisme dan tersusun menjadi kromosom. Pada dasarnya, sel mengandung dua asam nukleat, yaitu *ribonucleic acid* (RNA) dan DNA. RNA terdiri dari empat basa nitrogen yaitu *cytosine*,

guanine, adenine, dan uracil. DNA yang dijumpai di dalam nukleus disebut DNA kromosomal. DNA lain yang terdapat dalam sel di luar nukleus yaitu DNA mitokondria, DNA kloroplas, dan DNA plasmid. Ketiga jenis DNA terakhir ini disebut DNA ekstrakromosomal. Ilustrasi DNA dan RNA dapat diamati pada Gambar 8.1.



Gambar 8.1 Ilustrasi rantai basa nitrogen RNA dan DNA.

Double helix DNA memiliki diameter sekitar 2 nm dan ribosom memiliki diameter sekitar 25 nm (Mikrajuddin, 2009: 2).

Dengan demikian, DNA maupun ribosom termasuk dalam materi berukuran nanometer atau bionanomaterial.

Berbagai metode untuk mendapatkan material nanopartikel diantaranya dengan menggunakan metode fisika, kimia, ataupun metode biologi. Metode biologi yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nanopartikel adalah isolasi DNA. Berbagai tahapan dalam isolasi DNA, yaitu (1) isolasi sel; (2) lisis dinding dan membran sel; (3) ekstraksi dalam larutan; (4) purifikasi; dan (5) presipitasi. Isolasi sel merupakan tahap awal dalam proses rekayasa genetika. Proses isolasi sel dengan cara melisis atau memecah dinding dan membran sel sehingga akan terbentuk ekstraksi sel. Purifikasi (pemurnian) dilakukan untuk mendapatkan DNA setelah ekstraksi sel.

Prinsip-prinsip dalam isolasi ada dua, yaitu sentrifugasi dan presipitasi. Prinsip utama sentrifugasi adalah memisahkan substansi berdasarkan berat jenis molekul dengan cara memberikan gaya sentrifugal sehingga substansi yang lebih berat berada di dasar, sedangkan substansi yang lebih ringan akan terletak di atas. Teknik sentrifugasi tersebut dilakukan di dalam sebuah mesin yang bernama mesin sentrifugasi dengan kelajuan dalam *round per minute* (rpm).

Fisika, biologi dan kimia sangat erat keterkaitannya dalam penelitian ini. Fisika merupakan dasar dari ilmu alam yang mengkaji fenomena-fenomena alam baik dari ukuran makroskopis sampai ukuran mikroskopis dan sekarang gencar-gencarnya ilmuwan di bidang sains dan teknologi menyelidiki

fenomena dalam ukuran nanometer. Biologi sendiri mengkaji tentang kehidupan yang ada di alam dan kimia mempelajari berbagai struktur kimiawi yang ada di alam. Maka dari itu, kajian ini lengkap untuk dibahas karena terkait dengan semua informasi ilmu yang dipelajari di bidangnya. Lebih jauh lagi, penelitian ini menunjukkan hubungan yang erat antara Fisika, Biologi, dan Kimia, yang menandakan nanosains bersifat interdisipliner.

Pengujian isolat DNA secara kuantitatif dan kualitatif dapat menggunakan spektrofotometer UV-Vis. DNA murni dapat menyerap cahaya ultraviolet karena keberadaan basa-basa purin dan pirimidin. Pita ganda (*double helix*) DNA dapat menyerap cahaya UV pada panjang gelombang 260 nm, sedang kontaminan protein atau phenol akan menyerap cahaya pada panjang gelombang 280 nm. Kemurnian DNA dapat diukur dengan menghitung nilai absorbansi panjang gelombang 260 nm dibagi dengan nilai absorbansi panjang gelombang 280 ($\lambda_{260}/\lambda_{280}$), dan nilai kemurnian DNA berkisar antara 1.8-2.0.

Sentrifugasi merupakan salah satu metode dasar yang sangat penting dalam studi biologi sel maupun biologi molekuler. Sentrifugasi tidak hanya dapat di pergunakan untuk memisahkan sel atau organel subseluler, tetapi dapat juga digunakan untuk pemisahan molekuler. Prinsip sentrifugasi didasarkan atas fenomena bahwa partikel yang tersuspensi di dalam suatu wadah atau tabung akan mengendap ke dasar wadah karena pengaruh gravitasi. Laju pengendapan tersebut dapat ditingkatkan dengan

cara meningkatkan pengaruh gravitasional terhadap partikel. Hal ini dapat dilakukan dengan menempatkan tabung berisi suspensi partikel ke dalam rotor suatu mesin sentrifugasi kemudian diputar dengan kecepatan tinggi. Jika gaya F diterapkan pada suatu partikel dengan massa m , maka partikel akan dipercepat sesuai dengan hukum II Newton, yaitu:

$$F = ma, \quad (8.1)$$

dengan a adalah percepatan partikel. Selanjutnya pada sentrifugasi juga terjadi percepatan anguler, sehingga:

$$a = r\omega^2, \quad (8.2)$$

dengan ω adalah kecepatan rotasi dan r adalah jari-jari sentrifugasi. Besarnya gaya partikel yang disentrifugasi dapat berupa nilai relatif, yaitu dibandingkan dengan gaya tarik gravitasi bumi yang juga berlaku pada partikel tersebut. Gaya tersebut disebut gaya sentrifugasi relatif (*relative centrifugal force*, - RCF). Gaya gravitasi yang berlaku pada partikel dengan massa m adalah

$$F = mg, \quad (8.3)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi yang besarnya 9,80 m/s². Dengan demikian RCF adalah

$$\text{RCF} = 0,001118rN^2 \quad (8.4)$$

dengan N adalah kelajuan sentrifugasi dalam radian. RCF tidak mempunyai satuan namun biasanya diberi simbol g (gravitasi).

Terdapat dua macam prinsip sentrifugasi yang umum digunakan untuk pemisahan partikel didasarkan pada massa, ukuran, panjang partikel, dan massa jenis partikel. Pertama, sentrifugasi zonal, yaitu partikel atau molekul berada di dalam suatu kolom cairan di dalam tabung kemudian disentrifugasi, maka partikel atau molekul tersebut akan mengendap. Laju pengendapan tersebut ditentukan oleh massa partikel, perbedaan densitas antara partikel dengan cairan, dan gaya gesekan antara partikel dengan cairan. Jika partikel tersebut terdiri atas beberapa macam partikel yang berbeda ukurannya akan terpisah pada lapisan-lapisan yang berbeda pada tabung sentrifugasi.

Sentrifugasi jenis kedua adalah keseimbangan gradien-densitas. Dalam teknik sentrifugasi ini, partikel berada di dalam suatu yang densitasnya bergradien dari atas ke bawah. Setelah disentrifugasi, partikel di dalam cairan tersebut akan berada di lapisan cairan yang densitasnya sama dengan densitas partikel tersebut. Meskipun disentrifugasi dengan kecepatan yang sangat besar, partikel tersebut tidak akan mengendap melalui lapisan cairan yang densitasnya lebih tinggi daripada partikel tersebut. Prinsip sentrifugasi semacam ini disebut sentrifugasi keseimbangan gradien-densitas karena partikel dan cairan berada pada atas keseimbangan densitas (keadaan isopinik). Teknik sentrifugasi ini dapat digunakan untuk memisahkan molekul-

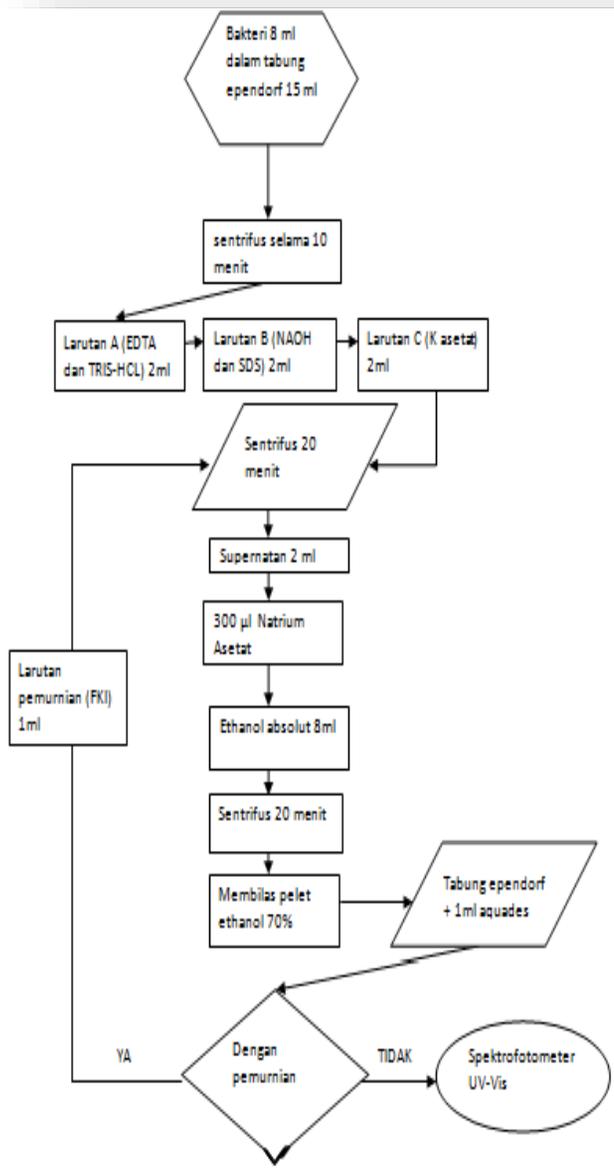
molekul yang perbedaan densitasnya sampai 0,02 g/ml. Teknik senrifugasi semacam ini biasanya digunakan untuk memisahkan molekul-molekul protein, DNA, dan RNA (Triwibowo, 2008: 33-35).

B. CARA KERJA

Alat-alat yang digunakan dalam isolasi DNA bakteri *E. coli* adalah a) timbangan analitik (AND 300) [1 buah], b) mikropipet (soccores) [2 buah], c) tabung Eppendorf (20 buah), d) tabung flakon (50 buah), e) tabung erlenmayer (pyrek) (5 buah), f) pH meter (Ucida) [1 buah], g) sentrifugasi (Thermo) [1 buah], h) magnetic stirrer (Eyela) [1 buah], i) spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-2450) [1 buah], j) vortex (Eyela) [1 buah], k) autoclave (*electric pressure steam sterilizer*) model No. 25x, *bio clean bench* (1 buah), l) inkubator (Eyela) (1 buah), m) kamera SLR (Nikon) [1 buah], n) pipet tip (1 buah), o) gelas ukur (pyrek) [1 buah], p) kulkas (Samsung) [1 buah], dan q) glass beaker (pyrek) [1 buah]. Sedangkan, bahan-bahan yang digunakan adalah a) bakteri yang mengandung plasmid, b) *nutrient broth* (NB) (Merck) 3,2 gram, c) aquadest 450 ml, d) 0,5M EDTA 125 ml (Merck), e) 1 M TRIS 250 ml (Merck), f) 3 M NaOAc 100 ml (Merck), g) 1,3 M KOAc 100 ml (Merck), h) 10M NaOH 100 ml (Merck), i) ethanol absolute 150 ml, j) ethanol 70% 50 ml (Merck), k) white tip 1 lembar, dan HCL (Merck) 25 ml.

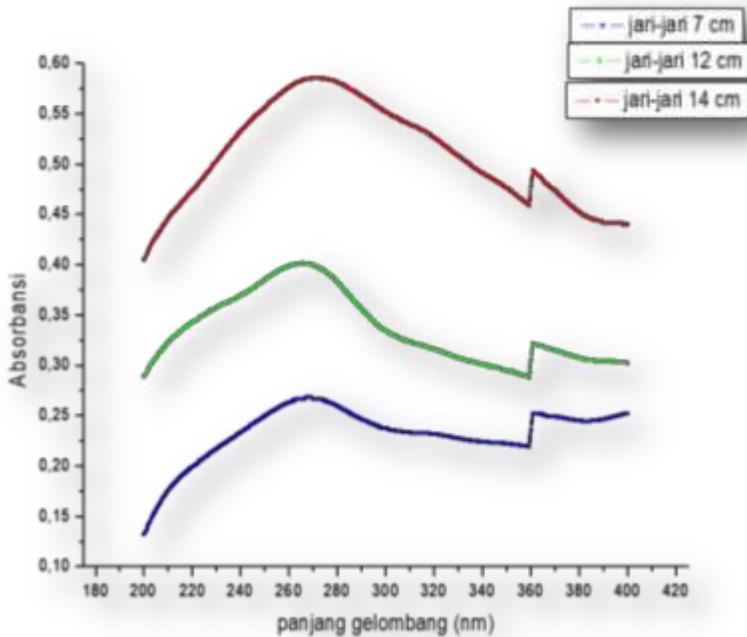
Cara kerja untuk memperoleh DNA bakteri *E. coli* dapat dilihat pada Gambar 8.2. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jari-jari sentrifugasi pada mesin sentrifus dan kelajuan putaran mesin sentrifugasi. Jari-jari sentrifugasi divariasikan pada nilai 7 cm, 12 cm, dan 14 cm. Sedangkan, variasi kelajuan putaran mesin sentrifugasi, yakni: 3000 rpm, 3500 rpm, dan 4000 rpm. Dalam percobaan ini, dilakukan pula perlakuan dengan pemurnian dan tanpa pemurnian.

Alat uji yang digunakan adalah UV-Vis. Hasil isolasi DNA plasmid *E. coli* sebagai nanopartikel dapat dilihat secara kualitatif menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis. Secara kualitatif, hasil pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik ini menunjukkan hubungan nilai absorbansi dengan panjang gelombang.



Gambar 8.2 Cara kerja untuk memperoleh DNA *E. coli*.

C. HASIL UV-Vis

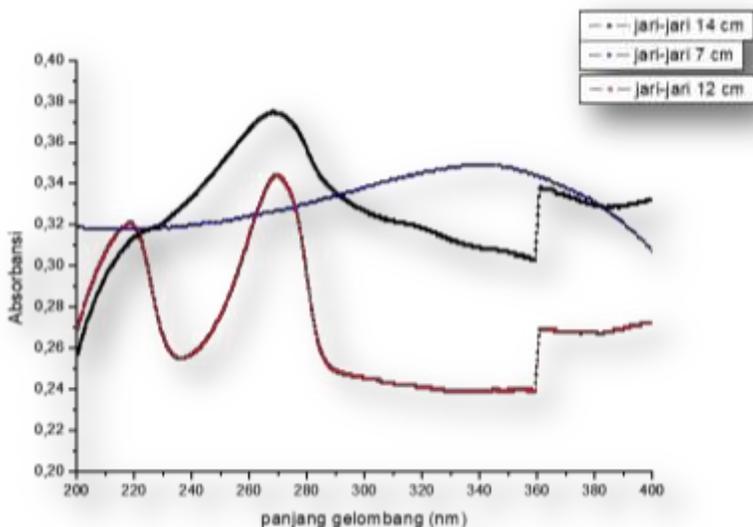


Gambar 8.3 Hasil spektrofotometer UV-Vis larutan DNA plasmid bakteri *E.coli* tanpa pemurnian.

Gambar di atas adalah grafik hasil dari spektrofotometer UV-Vis untuk hasil isolasi DNA tanpa pemurnian. Kelajuan sentrifus yang digunakan adalah 3500 rpm. Dari grafik di atas, terdapat tiga sampel hasil dari isolasi DNA tanpa pemurnian. Data-data warna merah, warna hijau, dan warna biru, masing-masing merupakan grafik absorbansi untuk jari-jari sentrifugasi 14, 12, dan 7 cm.

Data absorbansi tertinggi diperoleh untuk je jari sentrifugasi 14 cm, diikuti oleh je jari sentrifugasi 12 cm, dan terakhir je jari 7 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang jari-jari sentifugasi maka nilai absorbansinya makin besar. Selain

itu, ketiga sampel tersebut menunjukkan karakteristik yang sama, yaitu puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 270 nm.



Gambar 8.4 Hasil spektrofotometer UV-Vis larutan DNA plasmid bakteri *E.coli* dengan pemurnian.

Gambar 8.4 di atas adalah grafik hasil spektrofotometer UV-Vis untuk isolasi DNA bakteri *E. coli* dengan pemurnian. Sebagaimana sebelumnya, kelajuan sentrifus yang digunakan adalah 3500 rpm. Dari grafik di atas, dua sampel menunjukkan karakteristik yang sama, yaitu puncak absorbansi berada dalam panjang gelombang 270 nm, yakni untuk jari-jari sentrifugasi 12 dan 14 cm. Sementara itu, untuk jari-jari sentrifugasi tabung 7 cm puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 340 nm. Dapat diamati bahwa puncak absorbansi untuk isolasi DNA dengan jejari 7 cm jauh bergeser dibandingkan dengan kedua sampel lainnya. Hal ini dapat diakibatkan oleh menurunnya konsentrasi DNA sampel larutan untuk jari-jari 7 cm. Selain itu, dapat diamati pula

bahwa absorbansi terbesar diperoleh untuk sampel dengan jejari sentrifugasi 14 cm, sesuai dengan hasil sampel tanpa pemurnian.

Dari kedua grafik di atas, dapat diketahui bahwa absorbansi maksimum sampel DNA bakteri *E. coli* dengan dan tanpa pemurnian berada pada panjang gelombang 270 nm. Nilai panjang gelombang ini berada di antara DNA murni sebesar 260 dan kontaminan protein sebesar 280 nm. Dengan demikian, hasil UV-Vis mengindikasikan terdapatnya bionanomaterial DNA, namun demikian masih terdapat kontaminan protein (walau sudah dilakukan pemurnian).

Selain itu, dapat pula diamati bahwa jari-jari sentrifugasi berpengaruh terhadap absorbansi sampel isolasi DNA bakteri *E. coli*. Semakin besar jari-jari sentrifugasi, maka absorbansi bionanomaterial cenderung semakin besar pula.***

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Ainul Fikri, 2016, Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan dan Waktu Ultrasonikasi terhadap Sintesis Material Graphene dengan Metode Liquid Sonication Exfoliation Menggunakan Tweeter Ultrasonication Graphite Oxide Generator, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Andrew K. Geim dan Konstantin S. Novoselov, 2007, The Rise of Graphene, Nature Materials, 6: 1 – 14.
- Ayu Fika Agustin, 2014, Pengaruh Konsentrasi Larutan H₂SO₄ yang diberi Tambahan Nanopartikel Perak (Nanosilver) terhadap Tegangan Keluaran Sel Volta, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bakir, 2011, Pengembangan Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Air Rebusan Daun Bisbul (Diospyros Blancoi) untuk Deteksi Ion tembaga (II) dengan Metode Kolorimetri, Skripsi, Jakarta, FMIPA UI.
- Dien Almas Rasis, 2016, Karakterisasi Fisis Nanomaterial Berbasis Grafit dari Lapisan Tipis Hasil Penggoresan Pensil 2b dengan Metode Mechanical Exfoliation, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- DNA Nanotechnology, Wikipedia, www.wikipedia.com, diunduh tanggal: September 2012.
- Edward P. Randviir, et.al, 2014, Review a Decade of Graphene Research, Elsevier.

H. O. Buckman dan N. C. Bradi, 1982, Ilmu Tanah, Bhratara Karya Aksara, Jakarta.

Iqra Zubair Awan, S. B. Hussain, A. Ul Haq, dan Abdul Qadeer Khan, 2016, Wondrous Nanotechnology, J. Chem.Soc.Pak., 38 (06): 1026.

Joko Marwito, 2013, Pengaruh Pemberian Panas Terhadap Perilaku Kenaikan Suhu Larutan Nanopartikel Perak, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

Mikhrajuddin Abdullah, 2009, Pengantar Nanosains, Penerbit ITB.

Monwhea Jeng, 2005, Hot Water Can Freeze Faster than Cold!?, arXiv: physics/0512262v1 [physics.hist-ph].

Pekik Pabayita, 2013, Preparasi dan Isolasi DNA Plasmid Bakteri E.coli sebagai Nanopartikel dengan Variasi Jari-Jari Sentrifugasi pada Mesin Sentrifus, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

Phatma Dhian Pratiwi, 2016, Preparasi Nanomaterial Karbon Menggunakan Metode Liquid Mechanical Exfoliation dibantu oleh Linear Alkylbenzene Sulfonate dengan Variasi Waktu Pencampuran, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

Rifia Pratiwi, 2014, Pengaruh Volume Larutan Nanopartikel Perak Terhadap Tegangan Keluaran Sel Volta Yang Berisi Larutan H₂SO₄, Skripsi, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

S. Alfarisa, W. S. B. Dwardaru, dan D. Darmawan, 2016, Makara J. Sci. 20(1): 28-32. DOI: 7454/mss.v20i1.5658.

Truong dan Lee, 2013, Graphene from Fundamental to Future Application, Chonbuk National University, South Korea.

Unraveling the Physics of DNA's Double Helix, Science Daily, www.sciencedaily.com, diunduh tanggal: September 2012.

W. S. B. Dwandaru and D. Darmawan, Advanced Studies in Theoretical Physics 10(1), 23–32 (2016). DOI: 10.12988/astp.2016.51098.

Zekka Maulita Chrishar Putri, 2015, Pengaruh Konsentrasi Larutan Nanopartikel Perak Sebagai Bahan Aditif Dalam Cat Dinding Terhadap Sifat Anti-Jamur Cat Dinding, Skripsi, FMIPA, Universitas negeri Yogyakarta

<http://apnanowp.rack.comrax.com/coatings/nanomaterial-enhanced-polymer-film-2/>

<http://www.european-coatings.com/Raw-materials-technologies/Technologies/Nanotechnology/Nanomaterials-critically-evaluated>

<http://www.bluenanoinc.com/nanomaterials/silver-nanowires.html>

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2013/feb/19/scientists-delve-deeper-into-carbon-nanotubes>

<http://newsroom.unl.edu/releases/2013/04/23/UNL+team's+discovery+yields+supertough,+strong+nanofibers>

https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_dot

<http://innovation.ox.ac.uk/licence-details/electrochemical-detection-tagged-nanoparticles/>

<http://adamaesyapura.wordpress.com>

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2004/feb/27/zinc-oxide-nanorings-circle-new-applications>

<http://www.nanoparticles-microspheres.com/nanotechnology-application.html>

<http://nano-cemms.illinois.edu>

