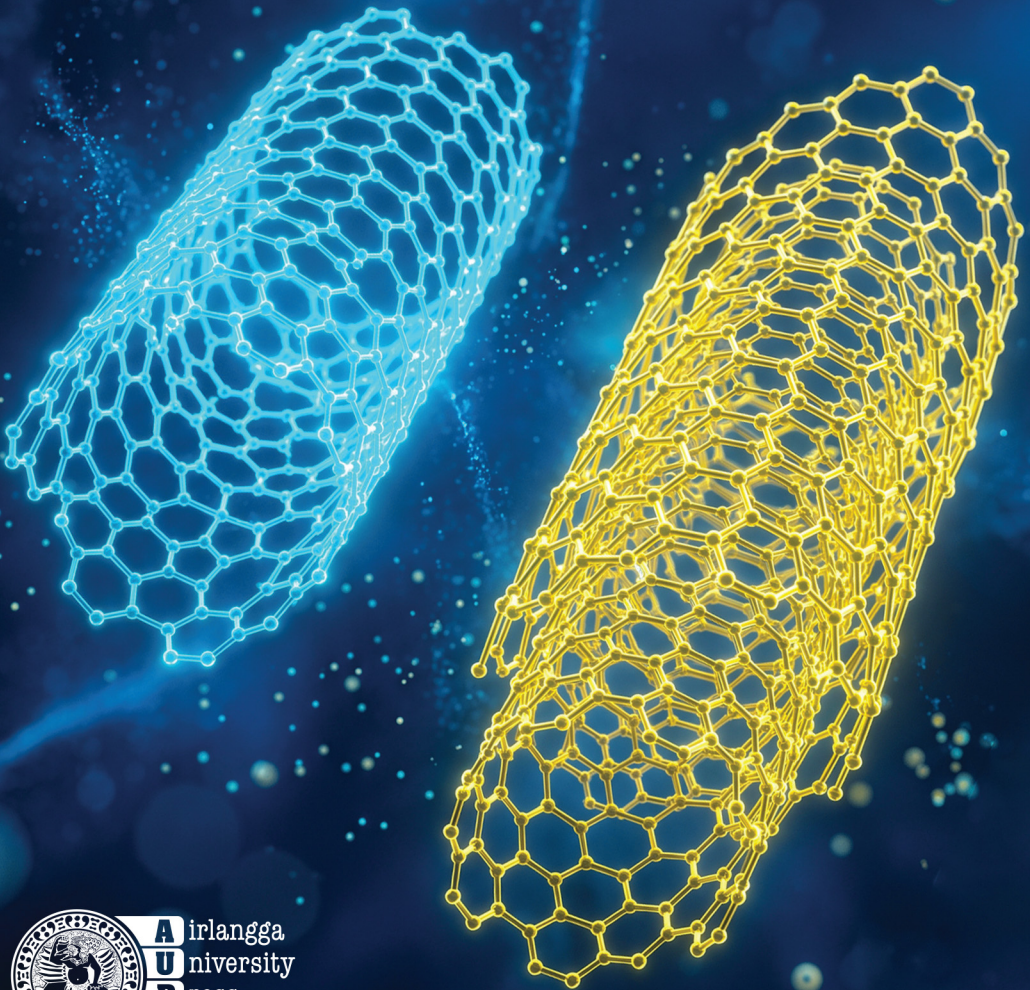


Fadjar Mulya
Adya Rizky Pradipta
Raden Joko Kuncoroningrat Susilo

Teknik Sintesis Nanomaterial



Airlangga
University
Press

Teknik Sintesis **Nanomaterial**

Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta:

- (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).

Teknik Sintesis Nanomaterial

Fadjar Mulya
Adya Rizky Pradipta
Raden Joko Kuncoroningrat Susilo



TEKNIK SINTESIS NANOMATERIAL

Fadjar Mulya, Adya Rizky Pradipta, Raden Joko Kuncoroningrat Susilo

ISBN: 978-634-7497-97-0 (PDF)

© 2026 Penerbit **Airlangga University Press**

Anggota IKAPI dan APPTI Jawa Timur
Kampus C Unair, Mulyorejo Surabaya 60115
E-mail: adm@aup. unair.ac.id

Redaktur (Anas Abadi)
Layout (Djaiful Eko Suharto)
Cover (Roy Wahyudi)
AUP (16902/09.26)

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip dan/atau memperbanyak tanpa izin tertulis
dari Penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun.

Prakata

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya penyusunan buku ajar berjudul **“Teknik Sintesis Nanomaterial”**. Buku ini hadir sebagai upaya untuk memberikan akses yang lebih luas terhadap pemahaman dasar hingga lanjut mengenai proses pembentukan materi pada skala nano, yang kini menjadi tulang punggung inovasi teknologi di berbagai sektor. Secara khusus, buku ini disusun untuk menunjang capaian pembelajaran pada mata kuliah Pengantar Nanoteknologi 1 dan 2 (RND101 dan RND201), namun tetap relevan bagi siapapun yang ingin mendalami rekayasa material.

Buku ini disusun melalui kolaborasi akademisi yang mendalami ilmu nanosains dan nanoteknologi. Harapan besar kami, buku ini dapat menjadi referensi utama bagi mahasiswa di kedua kampus tersebut, serta menjadi pegangan bagi mahasiswa dari berbagai disiplin ilmu terkait seperti ilmu material, kimia, fisika, hingga rekayasa. Sasaran pembaca buku ini mencakup mahasiswa program sarjana dan pascasarjana, maupun praktisi yang ingin memperdalam teknik fabrikasi material berskala nano.

Secara garis besar, buku ini membahas filosofi sintesis melalui pendekatan *top-down* dan *bottom-up*, prinsip termodinamika dan kinetika pertumbuhan kristal, hingga metode spesifik untuk nanomaterial karbon dan material berkelanjutan melalui *green synthesis*. Setiap bab disusun secara sistematis agar mudah dipahami, dilengkapi dengan ilustrasi teknis, ringkasan naratif, serta latihan soal esai untuk mendorong kemampuan analisis dan inovasi mahasiswa dalam riset nanomaterial.

Penyusunan buku ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan referensi berbahasa Indonesia yang komprehensif dan aplikatif di tengah pesatnya perkembangan sains material. Ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada pimpinan Universitas Airlangga, khususnya pusat penerbitan Airlangga University Press (AUP), yang telah memfasilitasi program Ketahanan Buku 2026, sehingga karya ini dapat diterbitkan.

Apresiasi dan rasa hormat yang mendalam juga kami berikan kepada para guru dan dosen pembimbing kami, yang telah menanamkan dasar-dasar keilmuan dan menuntun kami selama menempuh studi formal hingga saat ini. Tak lupa, penghargaan tulus kami sampaikan kepada keluarga tercinta atas dukungan dan motivasi yang tak pernah putus selama proses penulisan. Semoga buku ini memberikan manfaat seluas-luasnya, menjadi referensi yang berguna bagi proses pembelajaran dan riset, serta menjadi amal jariah bagi seluruh pihak yang terlibat dalam penulisannya.

Surabaya & Bogor,

Tim Penulis

Kata Pengantar

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 menunjukkan bahwa nanomaterial telah menjadi fondasi penting bagi berbagai inovasi strategis, mulai dari energi terbarukan, katalisis, sensor, biomedis, hingga teknologi lingkungan. Kemampuan untuk merekayasa materi pada skala nanometer, ketika sifat fisikokimia ditentukan oleh efek kuantum dan dominasi permukaan, telah mengubah cara kita memahami, merancang, dan memanfaatkan material. Dalam konteks tersebut, penguasaan prinsip dan teknik sintesis nanomaterial tidak lagi bersifat opsional, melainkan menjadi kompetensi inti bagi mahasiswa dan peneliti di bidang sains dan rekayasa material.

Sebagai pengampu mata kuliah nanomaterial di Program Studi Kimia Universitas Gadjah Mada, sekaligus peneliti yang secara aktif terlibat dalam riset sintesis dan karakterisasi material nano, saya menyaksikan secara langsung adanya kesenjangan antara perkembangan riset mutakhir dan ketersediaan bahan ajar yang sistematis, kontekstual, serta mudah diakses oleh mahasiswa. Banyak referensi internasional yang sangat baik secara ilmiah, namun sering kali sulit dijadikan pegangan perkuliahan karena perbedaan latar belakang mahasiswa, keterbatasan konteks lokal, serta kurangnya pengaitan langsung antara konsep teoretis dan praktik laboratorium. Buku ajar *Teknik Sintesis Nanomaterial* hadir untuk menjembatani kebutuhan tersebut.

Buku ini tidak hanya menyajikan kumpulan metode sintesis, tetapi dibangun di atas kerangka konseptual yang menempatkan sintesis sebagai jantung dari nanoteknologi. Setiap bab dirancang untuk menuntun pembaca memahami hubungan sebab-akibat antara parameter sintesis, seperti suhu, pH, konsentrasi prekursor, pelarut, dan agen penstabil dengan struktur, morfologi, serta sifat fungsional nanomaterial yang dihasilkan. Pendekatan ini sangat relevan dalam perkuliahan karena membantu mahasiswa berpindah dari pola pikir prosedural menuju pola pikir analitis dan prediktif, yang merupakan ciri utama peneliti nanomaterial yang matang.

Dari perspektif pengajaran, kontribusi utama buku ini terletak pada strukturnya yang selaras dengan capaian pembelajaran mata kuliah (CPMK). Pembahasan dimulai dari filosofi dasar sintesis melalui pendekatan *top-down* dan *bottom-up*, dilanjutkan dengan teori nukleasi dan pertumbuhan kristal, hingga aplikasi metode spesifik seperti sol-gel, hidrotermal, CVD, dan *green synthesis*. Setiap bab dilengkapi dengan ringkasan konseptual dan latihan soal esai yang mendorong mahasiswa untuk mengaitkan teori dengan fenomena nyata di laboratorium. Dengan demikian, buku ini tidak hanya berfungsi sebagai sumber bacaan, tetapi juga sebagai instrumen pedagogis untuk melatih penalaran ilmiah, kemampuan analisis data, dan keterampilan *problem solving*.

Dalam praktik penelitian, buku ajar ini memberikan kontribusi yang tidak kalah penting. Banyak mahasiswa pascasarjana dan peneliti pemula menghadapi kesulitan dalam merancang eksperimen sintesis yang rasional. Eksperimen sering dilakukan secara *trial-and-error* tanpa landasan teori yang kuat, sehingga hasil yang diperoleh sulit direproduksi atau diinterpretasikan secara mendalam. Melalui pembahasan prinsip termodinamika dan kinetika pertumbuhan nanomaterial, buku ini membekali pembaca dengan kerangka berpikir ilmiah untuk memahami mengapa suatu metode berhasil atau gagal, serta bagaimana memodifikasi kondisi sintesis secara terarah.

Keunggulan lain dari buku ini adalah penekanannya pada keterkaitan antara sintesis dan karakterisasi. Dalam riset nanomaterial, data XRD, SEM/TEM, FTIR, UV-Vis, maupun analisis sifat magnetik atau optik tidak dapat dipahami secara terpisah dari proses sintesisnya. Buku ini secara implisit menanamkan kesadaran bahwa karakterisasi bukan sekadar tahap verifikasi, melainkan alat refleksi ilmiah untuk mengevaluasi mekanisme pembentukan material. Pendekatan ini sangat penting dalam membentuk budaya riset yang kritis dan bertanggung jawab, terutama dalam konteks publikasi ilmiah bereputasi.

Selain itu, pengintegrasian konsep *green synthesis* dan material berkelanjutan dalam buku ini menunjukkan kepekaan penulis terhadap tantangan global yang dihadapi sains material saat ini. Sebagai peneliti, saya memandang bahwa masa depan nanoteknologi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan metode, tetapi juga oleh aspek keberlanjutan, keamanan, dan dampak lingkungan. Dengan memasukkan prinsip kimia hijau dan contoh aplikatifnya, buku ini mendorong mahasiswa dan peneliti untuk sejak dini mempertimbangkan dimensi etika dan lingkungan dalam setiap aktivitas riset.

Dalam konteks institusi pendidikan tinggi, buku ajar ini memiliki nilai strategis sebagai referensi nasional berbahasa Indonesia yang komprehensif dan aplikatif. Kehadirannya mendukung kemandirian akademik, memperkuat ekosistem riset berbasis laboratorium, serta mempermudah integrasi hasil penelitian dosen ke dalam proses pembelajaran. Bagi mahasiswa, buku ini dapat menjadi pegangan berkelanjutan dari tahap perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir dan publikasi ilmiah. Bagi peneliti, buku ini dapat berfungsi sebagai rujukan konseptual untuk merancang dan mengevaluasi eksperimen sintesis nanomaterial secara lebih sistematis.

Akhir kata, saya memandang buku ajar *Teknik Sintesis Nanomaterial* sebagai kontribusi nyata dalam pengembangan pendidikan dan penelitian nanomaterial di Indonesia. Buku ini tidak hanya mentransfer pengetahuan, tetapi juga membentuk cara berpikir ilmiah yang esensial bagi generasi peneliti masa depan. Semoga buku ini dapat dimanfaatkan secara optimal dalam perkuliahan, menjadi referensi yang hidup dalam aktivitas riset, serta mendorong lahirnya inovasi nanomaterial yang unggul, beretika, dan berkelanjutan.

Prof. Indriana Kartini, S.Si., M.Si., Ph.D.

Guru Besar Ilmu Kimia, Universitas Gadjah Mada

Kata Pengantar

Walaupun nanoteknologi (cabang ilmu dan teknologi yang mempelajari materi pada skala nanometer) bukan merupakan bidang keilmuan yang sepenuhnya baru, pengembangannya di Indonesia relatif terlambat. Aktivitas riset dan pengembangan nanoteknologi di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam satu dekade terakhir, seiring dengan meningkatnya kesadaran akan potensi strategis teknologi ini dalam mendukung inovasi dan daya saing nasional. Dalam konteks Asia Tenggara, Indonesia masih tertinggal dari Singapura yang kerap disebut sebagai negara paling maju, diikuti oleh Thailand dan Malaysia. Ketiga negara tersebut telah berhasil tidak hanya dalam hal publikasi dan aktivitas penelitian, tetapi juga dalam mengaplikasikan nanoteknologi ke sektor kesehatan, manufaktur, dan industri.

Namun, saat ini iklim yang semakin kondusif telah tercipta seiring dengan bertambahnya para pakar muda di bidang nanomaterial, meningkatnya perhatian pemerintah terhadap pengembangan sains dan teknologi nasional, menguatnya kolaborasi riset internasional, serta berkembangnya alat-alat penunjang sintesis dan karakterisasi material. Perkembangan ini tentu saja harus diiringi dengan adanya referensi penunjang yang berisi pengenalan konsep dasar hingga teknik sintesis dan karakterisasi material dalam bahasa Indonesia. Saya rasa terbatasnya ketersediaan referensi di bidang inilah yang menjadi motivasi bagi kedua sahabat saya, Fadjar Mulya, Ph.D., dan Adya Rizky Pradipta, M.Sc., untuk menulis dan menerbitkan buku **“Teknik Sintesis Nanomaterial”** ini. Sebagai dosen nanoteknologi muda yang inspiratif, kedua sahabat saya ini telah bekerja keras dan terus berupaya mendorong perkembangan riset nanoteknologi di Indonesia. Terbukti, Dr. Fadjar telah melakukan perjalanan ke banyak negara untuk menjalin kerja sama dengan kampus-kampus ternama dalam rangka membuka pintu kolaborasi riset untuk generasi peneliti saat ini dan mendatang. Rekam jejak penulisan beliau juga sudah tidak diragukan lagi, dibuktikan dengan banyaknya artikel ilmiah bereputasi dan terbitnya buku ajar Kimia Komputasi yang belum lama ini menjadi pegangan bagi pelajar dan dosen kimia di Indonesia.

Saya yakin bahwa buku ini tepat dibaca bukan hanya oleh akademisi dalam kegiatan belajar mengajar, tetapi juga oleh pembaca umum yang sekadar ingin mengetahui apa itu nanoteknologi dan prinsip-prinsip dasar sintesis nanomaterial. Penulis telah menyusun buku ini dengan bahasa yang mudah dipahami dan materi yang disajikan juga disusun secara sistematis, mulai dari pengenalan, konsep fundamental, hingga contoh aplikasi nyata, dengan gaya penyampaian yang komunikatif dan ringkas. Saya percaya bahwa buku ini juga tidak hanya menambah wawasan, tetapi juga mendorong lahirnya ide-ide baru, kolaborasi, dan inovasi yang dapat memperkuat perkembangan nanoteknologi di Indonesia.

Dengan penuh rasa bangga dan antusiasme, saya menyambut terbitnya buku ini dan merekomendasikannya sebagai bacaan penting bagi siapa saja yang ingin memahami dunia nanoteknologi dari konsep, teknik sintesis nanomaterial, hingga penerapannya.

Sendai, 16 Februari 2026

Philip Anggo Krisbiantoro

Assistant Professor

Department of Applied Chemistry, Tohoku University, Japan

Daftar Isi

v	Prakata
vii	Kata Pengantar Prof. Indriana Kartini, S.Si., M.Si., Ph.D.
xi	Kata Pengantar Philip Anggo Krisbiantoro
xvii	Daftar Gambar

1 BAB 1 Pendahuluan

Definisi dan Ruang Lingkup Nanoteknologi _ 3
Perkembangan Historis Sintesis Nanomaterial _ 4
Klasifikasi Nanomaterial (0D, 1D, 2D, 3D) _ 6
Sifat-Sifat Fisikokimia Nanomaterial _ 8
Tantangan dalam Sintesis dan Aplikasinya _ 11
Ringkasan Materi _ 13
Latihan Soal _ 14

17 BAB 2 Prinsip Umum Sintesis Nanomaterial

Pendekatan <i>Bottom-Up vs Top-Down</i> _ 19
<i>Teori Nucleation</i> dan Pertumbuhan Kristal _ 21
Kontrol Ukuran, Bentuk, dan Agregasi _ 24
Peran Surfaktan, Ligand, dan Medium Sintesis _ 26
Surfaktan sebagai Pengendali Pertumbuhan dan Stabilitas Partikel _ 26
Ligan sebagai Pengatur Kimia Permukaan _ 27
Medium Sintesis sebagai Lingkungan Reaksi _ 27
Interaksi Sinergis antara Surfaktan, Ligan, dan Medium _ 28
Termodinamika dan Kinetika dalam Proses Sintesis _ 29
Ringkasan Materi _ 33
Latihan Soal _ 35

37 BAB 3 Metode Sintesis Top-Down

Pendekatan *Top-Down* _ 39
Mechanical Milling dan High-Energy Ball Milling _ 40
 Litografi (*Optical, Electron Beam, dan Nanoimprint*) _ 42
 Prinsip Umum Litografi dalam Sintesis *Top-Down* _ 44
 Optical Lithography atau Fotolitografi _ 46
 Electron Beam Lithography _ 48
Nanoimprint Lithography _ 51
 Perbandingan Tiga Metode Litografi _ 53
 Peran Litografi dalam Rekayasa Nanomaterial _ 56
 Etching (Kimia, Plasma, dan Ion Beam) _ 58
Laser Ablation dan Pulsed Laser Deposition _ 60
 Ringkasan Materi _ 63
 Latihan Soal _ 64

67 BAB 4 Metode Sintesis Bottom-Up

Pendekatan *Bottom-Up* _ 69
 Presipitasi dan Kopresipitasi _ 71
 Sol-Gel Process _ 74
Hydrothermal dan Solvothermal _ 76
Chemical Vapor Deposition (CVD) _ 79
Physical Vapor Deposition (PVD) _ 82
Arc Discharge dan Plasma-Based Synthesis _ 85
Electrodeposition dan Elektrokimia _ 88
Green Synthesis: Konsep Ramah Lingkungan dan Contoh Aplikasi _ 91
 Perbandingan Efisiensi dan Kelemahan Metode *Bottom-Up* _ 96
 Ringkasan Materi _ 100
 Latihan Soal _ 101

103 BAB 5 Sintesis Nanomaterial Karbon

Graphene: Prinsip, Metode Hummers, dan CVD _ 105
Carbon Nanotube: Arc Discharge, Laser Ablation, dan CVD _ 108
Carbon Dots dan Quantum Dots Karbon _ 112
 Karbon Aktif Nano dan *Biochar Nano* _ 115
 Ringkasan Materi _ 117
 Latihan Soal _ 118

121 BAB 6 Biosintesis Nanopartikel

Biosintesis Nanopartikel: Konsep, Filosofi, dan Mekanisme Dasar _ 123

Biosintesis Berbasis Tumbuhan _ 124

Biosintesis Berbasis Bakteri _ 125

Biosintesis Berbasis Jamur _ 126

Biosintesis Berbasis Mikroalga _ 127

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biosintesis Nanopartikel _ 129

Aplikasi Biomedis dan Tantangan Masa Depan _ 130

Ringkasan Materi _ 131

Latihan Soal _ 132

135 Daftar Pustaka

139 Glosarium

Biodata Penulis

Daftar Gambar

5	GAMBAR 1.1 Ilustrasi Piala Lycurgus ketika disinari dari a) depan dan b) belakang
8	GAMBAR 1.2 Ilustrasi 4 kelas utama nanomaterial
9	GAMBAR 1.3 Efek ukuran kuantum ketika bulk material direduksi menjadi nanokristal terjadi perubahan sifat elektronik (band gap) dan sifat optik (perubahan warna)
19	GAMBAR 2.1. Ilustrasi metode <i>top-down</i> dan <i>bottom-up</i>
21	GAMBAR 2.2 Diagram pembentukan kristal nanomaterial model LaMer
23	GAMBAR 2.3 Skema Mekanisme Pertumbuhan Kristal pada Nanomaterial
24	GAMBAR 2.4 Struktur nanomaterial
41	GAMBAR 3.1 Ilustrasi proses <i>ball milling</i>
43	GAMBAR 3.2 Ilustrasi proses umum litografi
58	GAMBAR 3.3 Ilustrasi proses <i>chemical etching</i> dan <i>reactive ion etching</i>

61	GAMBAR 3.4 Ilustrasi kondensasi plasma pada sintesis nanopartikel
63	GAMBAR 3.5 Ilustrasi proses <i>ablation</i> di dalam cairan (PLAL)
72	GAMBAR 4.1 Ilustrasi proses kopresipitasi
75	GAMBAR 4.2 Ilustrasi proses <i>sol-gel</i>
77	GAMBAR 4.3 Ilustrasi proses <i>autoclave</i> dan <i>high-pressure heating</i>
80	GAMBAR 4.4 Ilustrasi proses CVD
81	GAMBAR 4.5. Ilustrasi berbagai jenis utama CVD
83	GAMBAR 4.6 Ilustrasi <i>coating substrates</i> dengan lapis tipis
86	GAMBAR 4.7 Ilustrasi <i>Arc Discharge synthesis process</i>
87	GAMBAR 4.8 Ilustrasi proses kondensasi plasma pada sintesis nanomaterial pada <i>Arc Discharge</i>
89	GAMBAR 4.9 Ilustrasi proses <i>template-assisted deposition</i>
91	GAMBAR 4.10 Ilustrasi proses elektrokimia
92	GAMBAR 4.11 12 Prinsip <i>green chemistry</i>
109	GAMBAR 5.1 Ilustrasi hibridisasi dan geometri molekul karbon

110	GAMBAR 5.2 Ilustrasi <i>Hexagonal sp^2 lattice</i> pada <i>graphene</i>
111	GAMBAR 5.3 Ilustrasi struktur SWCNT dan MWCNT
113	GAMBAR 5.4 Ilustrasi struktur dan penyesuaian <i>bandgap</i> pada <i>carbon dots</i>

Daftar Pustaka

- Anastas, P.T., & Warner, J.C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Aziz, H.A., Mulya, F., Kuamit, T., & Pranowo, H.D. (2025). Band gap energy of some Kekuléan polycyclic aromatic hydrocarbon as finite-size graphene: A DFT study. *Molekul*, 20(3), 494–504.
- Bard, A.J., & Faulkner, L.R. (2001). *Electrochemical methods: Fundamentals and applications* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Basu, P., Verma, J., Abhinav, V., Ratnesh, R.K., Singla, Y.K., & Kumar, V. (2025). Advancements in lithography techniques and emerging molecular strategies for nanostructure fabrication. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(7), Article 3027.
- Brinker, C.J., & Scherer, G.W. (1990). *Sol–gel science: The physics and chemistry of sol–gel processing*. Academic Press.
- Cao, G., & Wang, Y. (2011). *Nanostructures and nanomaterials: Synthesis, properties, and applications* (2nd ed.). World Scientific.
- Chen, Z., Liu, J., Qiu, S., Dawson, G., & Chen, W. (2012). The shape-specific photocatalytic efficiency of quantum size TiO₂ nanoparticles. *Catalysis Communications*, 21, 1–4.
- Dresselhaus, M.S., Dresselhaus, G., & Avouris, P. (Eds.). (2001). *Carbon nanotubes: Synthesis, structure, properties, and applications*. Springer.
- Feynman, R.P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, 23(5), 22–36.
- Geim, A.K., & Novoselov, K.S. (2007). The rise of graphene. *Nature Materials*, 6(3), 183–191.
- Hasanzade, Z., & Raissi, H. (2017). Investigation of graphene-based nanomaterial as nanocarrier for adsorption of paclitaxel anticancer drug: A molecular dynamics simulation study. *Journal of Molecular Modeling*, 23(2), Article 36.
- Hayaza, S., Arifriandini, A., Malek, S.N.A., Susilo, R.J. K., & Sajidah, E.S. (2025). Biosynthesis of iron oxide nanoparticles using okra pods extract and its anticancer activity on WiDr colon cancer cells. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(6). <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i6.23>.
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56–58.
- Klabunde, K.J., & Richards, R.M. (Eds.). (2009). *Nanoscale materials in chemistry* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Kochmann, D.M., & Amelang, J.S. (2016). The quasicontinuum method: Theory and applications. In *Multiscale materials modeling for nanomechanics* (pp. 159–193). Springer.

- LaMer, V.K., & Dinegar, R.H. (1950). Theory, production and mechanism of formation of monodispersed hydrosols. *Journal of the American Chemical Society*, 72(11), 4847–4854.
- Li, X., Cai, W., An, J., Kim, S., Nah, J., Yang, D., Piner, R.D., & Ruoff, R.S. (2009). Large-area synthesis of high-quality and uniform graphene films on copper foils. *Science*, 324(5932), 1312–1314.
- Mulya, F. (2025). *Buku ajar pengantar komputasi untuk perekayasa nanomaterial*. Airlangga University Press.
- Mulya, F., Kuamit, T., Apilardmongkol, P., & Parasuk, V. (2024). DFT study of lithium adsorption on silicon quantum dots for battery applications. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 164, Article 116060.
- Mulya, F., Nugroho, M.A., Kuamit, T., & Setyawan, D. (2025). Adsorptions of sodium ion/atom on graphene quantum dots for battery applications: A DFT study. *Science and Technology Indonesia*, 10(2), 614–621.
- Mulya, F., & Parasuk, V. (2020). Tetrachloroaluminate ion on graphene quantum dots: Towards the design of cathode for aluminum-ion battery. *Journal of Physics: Conference Series*, 1463(1), Article 012038.
- Mulya, F., Santoso, G.A., Aziz, H.A., & Pranowo, H.D. (2016). Design a better metalloporphyrin semiconductor: A theoretical studies on the effect of substituents and central ions. *AIP Conference Proceedings*, 1755(1), Article 080006.
- Rungnim, C., Chanajaree, R., Rungrotmongkol, T., Hannongbua, S., Kungwan, N., Wolschann, P., & Parasuk, V. (2016). How strong is the edge effect in the adsorption of anticancer drugs on a graphene cluster? *Journal of Molecular Modeling*, 22(1), Article 9.
- Schmid, G. (Ed.). (2010). *Nanoparticles: From theory to application* (2nd ed.). Wiley-VCH.
- Shi, S., Gao, J., Liu, Y., Zhao, Y., Wu, Q., Ju, W., Li, H., Huang, X., & Xiao, R. (2016). Multi-scale computation methods: Their applications in lithium-ion battery research and development. *Chinese Physics B*, 25(1), Article 018212.
- Somorjai, G.A., & Li, Y. (2010). *Introduction to surface chemistry and catalysis* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science*, 46(1–2), 1–184.
- Susilo, R.J.K., Apsari, R., Hayaza, S., Cristian, Y.B., Prasetyo, V.G., Widiyanti, I., Palmasih, A.A., Jemon, K., & Sajidah, E.S. (2025). Green synthesis of selenium nanoparticles from okra (*Abelmoschus esculentus*) extract with characterization and antioxidant activity. *Indonesian Journal of Chemistry*, 25(5), 1143–1152. <https://doi.org/10.22146/ijc.104189>.
- Unno, N., & Mäkelä, T. (2023). Thermal nanoimprint lithography: A review of the process, mold fabrication, and material. *Microelectronic Engineering*, 270, Article 111930.
- Xia, Y., Yang, P., Sun, Y., Wu, Y., Mayers, B., Gates, B., Yin, Y., Kim, F., & Yan, H. (2003). One-dimensional nanostructures: Synthesis, characterization, and applications. *Advanced Materials*, 15(5), 353–389.
- Yao, N., Chen, X., Fu, Z.H., & Zhang, Q. (2022). Applying classical, ab initio, and machine-learning molecular dynamics simulations to the liquid electrolyte for rechargeable batteries. *Chemical Reviews*, 122(12), 10970–11021.

- Zhang, Q., Uchaker, E., Candelaria, S.L., & Cao, G. (2013). Nanomaterials for energy conversion and storage. *Chemical Society Reviews*, 42(7), 3127–3171.
- Zhou, Y., Sharma, S. K., Peng, Z., & Leblanc, R.M. (2017). Polymers in carbon dots: A review. *Polymer*, 109, 17–34.
- Zhu, C., Ekinci, H., Pan, A., Cui, B., & Zhu, X. (2024). Electron beam lithography on nonplanar and irregular surfaces. *Microsystems & Nanoengineering*, 10(1), Article 52. <https://doi.org/10.1038/s41378-024-00682-9>.

Glosarium

Activation

Proses pembukaan pori karbon melalui perlakuan fisika atau kimia untuk meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi.

Aerogel

Material sangat berpori dan ringan yang diperoleh dari pengeringan gel menggunakan metode superkritis.

Agregasi

Penggumpalan partikel nano akibat gaya tarik-menarik antarpartikel yang menurunkan luas permukaan aktif.

Anisotropi pertumbuhan

Fenomena pertumbuhan kristal yang lebih cepat pada arah tertentu, menghasilkan bentuk batang, kubus, jarum, atau pelat.

Anodisasi

Proses oksidasi pada anoda yang menghasilkan lapisan oksida berpori, misalnya anodic alumina.

Arc discharge

Metode penguapan material menggunakan busur listrik berenergi tinggi untuk menghasilkan nanomaterial karbon atau logam.

Arrhenius (Persamaan)

Hubungan antara konstanta laju reaksi dan suhu yang menunjukkan peningkatan laju reaksi secara eksponensial pada suhu tinggi.

Autoklaf

Reaktor tertutup tahan tekanan yang digunakan pada sintesis hidrotermal dan solvotermal.

Ball milling

Teknik penghalusan partikel melalui tumbukan bola logam berenergi tinggi di dalam wadah tertutup.

Ball-to-powder ratio

Rasio massa bola penggiling terhadap serbuk yang menentukan energi tumbukan dalam proses milling.

Biochar

Karbon padat hasil pirolisis biomassa pada kondisi tanpa oksigen.

Biochar nano

Biochar yang direduksi hingga ukuran nano melalui penggilingan atau aktivasi.

Bottom-up

Pendekatan sintesis nanomaterial yang membangun struktur dari atom, ion, atau molekul.

Carbon dots (C-dots)

Nanopartikel karbon berukuran <10 nm dengan sifat luminesensi tinggi.

Carbon nanotube (CNT)

Struktur tabung karbon berdinding satu atau banyak dengan sifat mekanik dan elektrik unggul.

Chemical etching

Pengikisan material secara kimia menggunakan larutan reagen tertentu.

Chemical Vapor Deposition (CVD)

Teknik deposisi lapisan tipis dengan mereaksikan prekursor gas pada permukaan substrat.

Cold welding

Peristiwa menempelnya kembali partikel halus akibat deformasi plastis selama *ball milling*.

Carbon Quantum Dots (CQDs)

Carbon dots yang menunjukkan efek luminesensi kuat akibat *quantum confinement*.

Critical nucleus radius (r^*)

Ukuran inti minimum yang harus dicapai agar stabil dan dapat tumbuh.

Derajat supersaturasi (S)

Tingkat kejenuhan sistem yang menentukan energi pendorong nukleasi.

Electron-beam lithography (EBL)

Teknik litografi resolusi tinggi menggunakan berkas elektron.

Electrodeposition

Pembentukan lapisan logam melalui reduksi ion pada elektroda menggunakan arus listrik.

Electroless deposition

Deposisi logam tanpa arus listrik dengan reduktor kimia.

Energi aktivasi (E_a)

Energi minimum yang diperlukan agar reaksi kimia berlangsung.

Energi bebas Gibbs (ΔG)

Besaran yang menentukan kebolejadian atau spontanitas reaksi.

Energi penghalang nukleasi (ΔG^*)

Energi maksimum yang harus dilampaui agar inti stabil terbentuk.

Fracturing

Pemecahan partikel besar menjadi partikel kecil akibat tumbukan mekanik.

Gibbs–Thomson (Persamaan)

Hubungan yang menjelaskan penurunan titik leleh partikel pada ukuran nano.

Graphene

Lembaran karbon sp^2 setebal satu atom dengan konduktivitas dan kekuatan tinggi.

Graphene oxide (GO)

Grafrit teroksidasi dengan gugus oksigen pada lapisan antar grafena.

Green synthesis

Metode sintesis ramah lingkungan menggunakan pelarut hijau, biomolekul, atau ekstrak tumbuhan.

High-energy ball milling

Ball milling dengan energi tumbukan sangat tinggi yang mampu menghasilkan partikel nano.

Hidrolisis

Reaksi prekursor alkoksida dengan air yang menghasilkan gugus $-OH$ dalam proses sol-gel.

Hummers method

Metode standar untuk sintesis graphene oxide menggunakan oksidator kuat.

Hydrothermal synthesis

Teknik pembentukan kristal dalam air pada suhu dan tekanan tinggi di dalam autoklaf.

Ion-beam lithography

Teknik litografi menggunakan ion berenergi tinggi.

Ion plating

Deposisi lapisan tipis dengan ionisasi material penguap menggunakan plasma.

Isotropik (pertumbuhan)

Pertumbuhan kristal merata ke semua arah.

Karbon aktif nano

Karbon aktif berpori dengan ukuran partikel nano dan luas permukaan tinggi.

Kelvin (Persamaan)

Persamaan yang menjelaskan peningkatan kelarutan dan tekanan uap pada partikel berkelengkungan kecil.

Kondensasi

Pembentukan jaringan $M-O-M$ melalui penggabungan gugus $-OH$ dalam proses sol-gel.

Kopresipitasi

Endapan simultan beberapa ion menjadi material padat multikomponen.

Laser ablation

Pelepasan material dari permukaan target menggunakan iradiasi laser intensitas tinggi.

LaMer (Model)

Model klasik yang menjelaskan tiga tahap pembentukan nanopartikel: peningkatan konsentrasi, nukleasi, dan pertumbuhan.

Ligand (Ligan)

Molekul yang berikatan dengan permukaan nanopartikel untuk stabilisasi atau modifikasi fungsi.

Litografi

Teknik pembentukan pola mikro/nano menggunakan cahaya, elektron, atau ion.

Mechanical alloying

Pencampuran beberapa logam menjadi paduan homogen melalui deformasi berulang dalam *ball milling*.

Medium sintesis

Lingkungan tempat reaksi berlangsung, misalnya air atau pelarut organik.

MOCVD/LPCVD/PECVD/APCVD

Variasi metode CVD berdasarkan tekanan atau penggunaan plasma.

Nanoimprint lithography

Teknik pencetakan pola nano dengan menekan cetakan keras ke *resist* termoplastik.

Nukleasi (*Nucleation*)

Tahap awal pembentukan inti partikel pada kondisi supersaturasi.

Ostwald ripening

Proses pelarutan partikel kecil dan pertumbuhan partikel besar.

Oriented attachment

Penggabungan partikel kecil dengan orientasi kristal searah.

PDMS (*soft lithography*)

Polidimetilsiloksan yang digunakan sebagai cetakan elastis dalam litografi lembut.

Photoresist

Lapisan sensitif cahaya untuk pembentukan pola pada substrat.

Pirolisis

Pemanasan biomassa tanpa oksigen untuk menghasilkan biochar atau karbon aktif.

Pulsed Laser Deposition (PLD)

Deposisi lapisan tipis menggunakan laser berpulsa untuk menguapkan material target.

Plasma

Gas terionisasi yang digunakan untuk sputtering atau etching.

Potensial zeta

Parameter kestabilan koloid terkait muatan permukaan partikel.

Presipitasi

Pembentukan endapan padat dari larutan karena reaksi kimia.

Physical Vapor Deposition (PVD)

Penguapan dan deposisi ulang material secara fisik dalam vakum.

Pulse electrodeposition

Deposisi dengan siklus potensial untuk menghasilkan partikel nano halus.

Quantum confinement

Pembatasan gerak elektron dalam struktur nano yang mengubah sifat optik dan elektronik.

Reactive ion etching (RIE)

Proses etching menggunakan plasma dan ion berenergi tinggi.

Reduced graphene oxide (rGO)

Graphene oxide yang direduksi sehingga mendekati struktur *graphene*.

Rewelding

Rekatnya kembali partikel kecil selama milling karena deformasi plastis.

Sputtering

Pelepasan atom dari target padat akibat bombardir ion.

Sol-gel process

Pembentukan jaringan padat dari sol melalui hidrolisis dan kondensasi.

Solvothermal synthesis

Sintesis dalam pelarut organik pada suhu dan tekanan tinggi.

Surface tension (γ)

Energi permukaan yang berperan dalam nukleasi dan pertumbuhan nanopartikel.

Supersaturasi

Kondisi larutan jenuh berlebih yang mendorong nukleasi.

SWCNT/MWCNT

Jenis *carbon nanotube* berdinding tunggal dan berlapis banyak.

Termodinamika

Ilmu tentang energi dan kestabilan sistem yang menentukan kebolehdjian reaksi.

Top-down

Pendekatan sintesis dengan memperkecil material makroskopik.

Titik leleh nano (Gibbs–Thomson)

Fenomena penurunan titik leleh material pada ukuran partikel sangat kecil.

Vibratory mill

Jenis penggiling yang menghasilkan getaran cepat untuk penghalusan partikel.

Xerogel

Gel kering hasil pengeringan konvensional dalam proses sol–gel.

Biodata **Penulis**



Fadjar Mulya

Merupakan seorang akademisi dan peneliti di Program Studi Rekayasa Nanoteknologi, Universitas Airlangga. Perjalanan intelektualnya dimulai di Universitas Gadjah Mada, tempat beliau menyelesaikan pendidikan sarjana, sebelum akhirnya melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi dan meraih gelar *Doctor of Philosophy* (Ph.D) dalam bidang Kimia Fisik dari Chulalongkorn University, Thailand. Selama masa studinya, beliau tidak hanya berfokus pada aspek akademik, tetapi juga aktif mengasah kemampuan kepemimpinannya melalui keterlibatan di Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) serta

Perhimpunan Pelajar Indonesia (PPI). Kepakaran utama beliau terletak pada bidang nanomaterial komputasi, dengan spesialisasi khusus dalam pemodelan menggunakan metode *Density Functional Theory* (DFT). Fokus riset ini membawanya untuk mengeksplorasi material pada tingkat atomik guna menjawab berbagai tantangan teknologi masa kini. Selain aktif mengampu mata kuliah di kelas, beliau dikenal memiliki pengalaman internasionalisasi yang luas. Hal ini tecermin dari kegiatan di berbagai institusi global, mulai dari University of Tsukuba (Jepang), University of Manchester (Inggris), HSE Moscow (Rusia), Bayero University (Nigeria) hingga National University of Singapore (NUS). Dedikasinya dalam memperluas jejaring akademik internasional juga mencakup berbagai institusi di Malaysia, Taiwan, Vietnam, Pakistan hingga Nigeria. Pengalaman lintas negara inilah yang memperkaya perspektif beliau dalam menyusun buku ajar ini, dengan tujuan memberikan wawasan yang holistik bagi para mahasiswa dan peneliti di Indonesia. Melalui karya ini, beliau berharap dapat menjembatani ilmu rekayasa nanomaterial konvensional dengan metodologi komputasi modern demi kemajuan sains dan teknologi di tanah air.



Adya Rizky Pradipta

Merupakan dosen dan peneliti yang memiliki spesialisasi di bidang kimia dan nanoteknologi terapan. Beliau menyelesaikan pendidikan Sarjana (S-1) dan Magister (S-2) di Universitas Gadjah Mada, dan saat ini mengabdikan kepakarannya sebagai tenaga pendidik di Politeknik AKA Bogor. Fokus keilmuan beliau mencakup spektrum sintesis dan karakterisasi nanomaterial, material berpori, serta fenomena adsorpsi, dengan fokus aplikasi yang krusial pada sektor ketahanan pangan dan kelestarian lingkungan. Selain aktif dalam

kegiatan akademik formal, beliau memiliki dedikasi tinggi terhadap pengembangan ekosistem riset di Indonesia. Hal ini dibuktikan melalui perannya sebagai salah satu pendiri *Indonesian Scholar Society* (ISS/Masyarakat Cendekia Indonesia), sebuah organisasi nirlaba yang menjadi wadah kolaborasi antar-ilmuwan serta diseminasi pengetahuan berbasis riset. Kontribusinya dalam dunia publikasi ilmiah juga sangat signifikan, di mana beliau dipercaya mengemban amanah sebagai *Journal Manager* pada *Indonesian Journal of Chemical Studies* serta *Editor-in-Chief* pada jurnal *Sorption Studies*. Semangat beliau dalam memasyarakatkan sains tecermin melalui tulisan-tulisan artikel kajian kimia yang membahas fenomena sehari-hari dari perspektif saintifik. Melalui *platform solusiriset.com*, beliau secara aktif menjembatani konsep-konsep kimia dan nanoteknologi yang kompleks agar dapat dipahami oleh masyarakat luas. Melalui buku ini, beliau berupaya menyajikan panduan praktis dan teoretis yang komprehensif mengenai teknik sintesis nanomaterial, guna meningkatkan literasi sains dan mencetak sumber daya manusia yang unggul di bidang nanoteknologi.



Raden Joko Kuncoroningrat Susilo

Merupakan dosen dan peneliti dari Program Studi Rekayasa Nanoteknologi, Fakultas Teknologi Maju dan Multidisiplin, Universitas Airlangga. Beliau menamatkan jenjang sarjana hingga doktoral di Universitas Airlangga dari tahun 2012 hingga 2021 dengan latar belakang mengambil jurusan Biologi. Selama masa studinya beliau dua kali menjadi lulusan terbaik pada tahun 2019 dan 2021. Beliau memiliki kepakaran di bidang nanobioteknologi terutama berkaitan dengan pemanfaatan bahan alam untuk dijadikan bahan dasar terapi penyakit degeneratif dan juga bahan dasar pangan

fungsional. Selain terlibat dalam aktivitas akademik dan penelitian, beliau juga aktif terlibat sebagai juri di berbagai acara lomba karya ilmiah internasional yang diikuti oleh mahasiswa hingga siswa dari internasional dan nasional. Saat ini beliau terlibat dalam berbagai kegiatan penelitian terkait biosintesis dan karya di bidang nanobioteknologi lainnya. Melalui karya buku ini, beliau berharap dapat menyebarkan dan memberikan pengetahuan serta wawasan terkait sintesis nanomaterial yang saat ini dapat diaplikasikan ke dalam banyak bidang baik di bidang energi, kesehatan, pertanian, maupun pangan sehingga dapat memajukan Indonesia di sektor sains dan teknologi.

Teknik Sintesis Nanomaterial

Perkembangan nanoteknologi abad ke-21 menuntut penguasaan rekayasa materi pada tingkat atomik. Buku Teknik Sintesis Nanomaterial hadir sebagai panduan komprehensif yang menjembatani teori fundamental dengan aplikasi praktis di laboratorium. Secara sistematis, buku ini mengupas kerangka konseptual sintesis sebagai jantung nanoteknologi, meliputi paradigma top-down (pemecahan fisik) dan bottom-up (perakitan molekuler), kinetika nukleasi, hingga kontrol morfologi kristal.

Pembahasan diperkaya dengan eksplorasi material revolusioner, seperti alotrop karbon (graphene, CNT, dan C-dots) serta rute green synthesis berbasis biosintesis (tumbuhan, bakteri, jamur, dan mikroalga). Setiap bab dirancang interaktif berlandaskan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK), dilengkapi ilustrasi teknis, ringkasan naratif, serta latihan soal analisis.

Disusun oleh akademisi dan peneliti di bidang nanosains, buku ini menjadi referensi wajib bagi mahasiswa sarjana, pascasarjana, serta peneliti lintas disiplin ilmu material, kimia, fisika, dan rekayasa. Lebih dari sekadar kumpulan prosedur, buku ini membekali pembaca dengan pola pikir analitis untuk merancang inovasi nanomaterial yang presisi, biokompatibel, dan selaras dengan prinsip keberlanjutan lingkungan.



Pusat Penerbitan dan Percetakan Universitas Airlangga

Gedung AUP Kampus C Unair Mulyorejo, Surabaya 60115

Laman: <https://omp.unair.ac.id> ; e-mail: adm@aup.unair.ac.id