

Studi literatur: aplikasi dan potensi graphene sebagai material maju

Andrian*, Fatimah Arofiati Noor

Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

*Korespondensi: andrian979@gmail.com

Received: 12 April 2026 | Revised: 26 May 2026 | Accepted: 28 May 2026 | Published Online: 30 May 2026

© The Author(s) 2026

Abstract

The development of advanced materials has led to the emergence of graphene as an innovative material with broad potential across various technological fields. This study aims to examine the characteristics, applications, advantages, and limitations of graphene through a narrative review approach. The methodology involved a literature analysis of relevant scientific publications published between 2015 and 2026, focusing on applications in electronics, energy, environmental technology, biomedicine, and construction. The review findings indicate that graphene possesses outstanding properties, including high electrical conductivity, exceptional mechanical strength, a large specific surface area, and remarkable flexibility, making it highly suitable for a wide range of modern technological applications. The discussion reveals that graphene plays a significant role in enhancing the performance of electronic devices, energy storage systems, wastewater treatment technologies, and biosensor development. However, several challenges remain, including high production costs, difficulties in large-scale synthesis, and variations in material characteristics. In conclusion, graphene demonstrates considerable potential as a next-generation material; however, further research and technological development are required to address existing challenges and facilitate its widespread industrial implementation.

Keywords: graphene; applications; characteristics; nanotechnology; advanced materials.

Abstrak

Perkembangan material maju telah mendorong munculnya graphene sebagai salah satu material inovatif dengan potensi luas dalam berbagai bidang teknologi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik, aplikasi, serta keunggulan, dan keterbatasan graphene melalui pendekatan *narrative review*. Metodologi yang digunakan adalah analisis literatur dari berbagai sumber ilmiah yang relevan dalam rentang tahun 2015 hingga 2026, dengan fokus pada bidang elektronik, energi, lingkungan, biomedis, dan konstruksi. Hasil kajian menunjukkan bahwa graphene memiliki sifat unggul seperti konduktivitas listrik tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, luas permukaan besar, serta fleksibilitas yang mendukung berbagai aplikasi teknologi modern. Dalam pembahasan ditemukan bahwa graphene berperan penting dalam meningkatkan efisiensi perangkat elektronik, penyimpanan energi, pengolahan limbah, serta pengembangan biosensor. Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan seperti biaya produksi tinggi, kesulitan sintesis skala besar, serta variasi karakteristik material. Kesimpulannya, graphene memiliki potensi besar sebagai material masa depan, namun memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk mengatasi berbagai kendala yang ada serta mendukung implementasi secara luas dalam industri.

Kata kunci: graphene; aplikasi; karakteristik; nanoteknologi; material maju

Cara Mengutip: Andrian, Arofiati, F. (2026). Studi literatur: aplikasi dan potensi graphene sebagai material maju. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 12(1), 77-88. <https://doi.org/10.31764/orbita.v12i1.39130>

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu material dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong lahirnya berbagai inovasi yang berkontribusi signifikan terhadap kemajuan teknologi modern. Salah satu material yang mendapatkan perhatian luas adalah Graphene, yaitu material dua dimensi yang tersusun atas atom karbon dalam struktur kisi heksagonal. Keunikan struktur tersebut memberikan graphene berbagai sifat unggulan, seperti konduktivitas listrik yang sangat tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, serta fleksibilitas yang baik (Zema et al., 2023). Karakteristik ini menjadikan graphene sebagai kandidat material revolusioner dalam berbagai bidang aplikasi (Shariatinia, 2025). Selain itu, perkembangan teknik sintesis graphene terus mengalami kemajuan yang signifikan, baik melalui pendekatan kimia maupun fisika (Yusuf, 2024). Oleh karena itu, kajian terhadap graphene menjadi penting dalam rangka memahami potensi dan implikasinya dalam perkembangan teknologi kontemporer.

Dalam konteks global, penelitian mengenai graphene menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan dari tahun ke tahun. Berdasarkan laporan dari Statista, jumlah publikasi ilmiah terkait graphene telah melampaui 20.000 artikel per tahun sejak 2020, yang mencerminkan tingginya minat akademik dan industri terhadap material ini (Statista, 2023). Selain itu, nilai pasar graphene global diperkirakan mencapai lebih dari USD 1,6 miliar pada tahun 2025 dengan tingkat pertumbuhan tahunan yang tinggi (Research, 2024). Data ini menunjukkan bahwa graphene tidak hanya menjadi objek kajian ilmiah, tetapi juga memiliki nilai ekonomi yang besar. Peningkatan tersebut didorong oleh kebutuhan akan material yang lebih efisien, ringan, dan multifungsi dalam berbagai sektor industri. Dengan demikian, graphene menjadi salah satu fokus utama dalam riset material maju saat ini.

Secara fungsional, graphene telah menunjukkan potensi yang luas dalam berbagai bidang teknologi, termasuk elektronik, energi, kesehatan, dan lingkungan. Dalam bidang elektronik, graphene dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pengembangan transistor berkecepatan tinggi dan perangkat fleksibel (Yang et al., 2024). Di sektor energi, graphene digunakan untuk meningkatkan performa baterai dan superkapasitor melalui peningkatan kapasitas penyimpanan dan efisiensi pengisian (Pasaribu et al., 2023). Sementara itu, dalam bidang biomedis, graphene berperan dalam sistem penghantaran obat dan material fungsional dengan sifat antibakteri (Romiduk et al., 2025). Tidak hanya itu, graphene juga digunakan dalam teknologi filtrasi air dan pengolahan limbah untuk mengatasi permasalahan lingkungan (Marlyna et al., 2024). Keberagaman aplikasi ini menunjukkan bahwa graphene memiliki peran strategis dalam mendukung inovasi lintas sektor.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, implementasi graphene dalam skala industri masih menghadapi sejumlah tantangan yang kompleks. Salah satu kendala utama adalah tingginya biaya produksi serta kesulitan dalam menghasilkan graphene berkualitas tinggi secara massal (Zema et al., 2023). Selain itu, terdapat permasalahan terkait stabilitas material dan integrasinya dengan sistem teknologi yang sudah ada (Umar et al., 2022). Dalam bidang lingkungan dan kimia, efisiensi adsorpsi graphene juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pH dan kondisi operasional (Studi et al., 2024). Di sisi lain, variasi struktur dan tingkat kekristalan graphene dapat memengaruhi performa material dalam aplikasi teknik (Tingkat et al., 2023). Hambatan-hambatan ini menunjukkan bahwa meskipun potensinya besar, pemanfaatan graphene masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Di sisi lain, perkembangan teknologi dan kebutuhan industri yang semakin kompleks menuntut adanya material dengan performa tinggi dan multifungsi. Graphene hadir sebagai salah satu solusi

potensial untuk menjawab tantangan tersebut, terutama dalam mendukung efisiensi energi, miniaturisasi perangkat, dan keberlanjutan lingkungan (Yang et al., 2024). Integrasi graphene dengan sumber daya biomassa sebagai bahan baku alternatif juga menunjukkan potensi besar dalam pengembangan material yang lebih ramah lingkungan (Pasaribu et al., 2023). Selain itu, pemanfaatan graphene dalam tekstil fungsional membuka peluang baru dalam industri berbasis material cerdas (Shariatinia, 2025). Inovasi dalam sintesis berbasis limbah seperti tempurung kemiri juga memperkuat arah pengembangan graphene yang berkelanjutan (Romiduk et al., 2025). Dengan demikian, graphene tidak hanya relevan dalam konteks saat ini, tetapi juga memiliki prospek jangka panjang yang sangat menjanjikan.

Kajian terhadap penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa graphene telah banyak diteliti dalam berbagai konteks aplikasi dan pengembangan material. (Yang et al., 2024) menunjukkan bahwa material berbasis graphene memiliki potensi tinggi dalam pemanenan energi gelombang mikro karena konduktivitasnya yang unggul dan respons frekuensi yang stabil. (Suliman & Tahir, 2025) mengungkapkan bahwa graphene berbasis biomassa, khususnya dari limbah kurma, memiliki prospek besar dalam aplikasi lingkungan karena sifat adsorptif dan keberlanjutannya. (Ray, 2025) menyimpulkan bahwa graphene dan turunannya, seperti graphene oxide, memiliki spektrum aplikasi yang sangat luas mulai dari elektronik hingga biomedis, meskipun masih menghadapi tantangan dalam skala produksi dan stabilitas material.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji graphene dari berbagai aspek, masih terdapat kesenjangan dalam integrasi pemahaman yang komprehensif mengenai aplikasi graphene lintas sektor dalam satu kerangka kajian yang sistematis. Sebagian besar penelitian cenderung berfokus pada satu bidang tertentu, seperti energi, lingkungan, atau biomedis, sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai potensi dan keterbatasan graphene secara terpadu. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian yang mampu mensintesis berbagai temuan tersebut dalam bentuk tinjauan naratif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif aplikasi graphene dalam berbagai bidang serta mengidentifikasi keunggulan dan tantangan penggunaannya. Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan pemahaman yang lebih holistik mengenai perkembangan graphene serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dan pengembangan teknologi berbasis material maju.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi berbagai hasil penelitian graphene dari bidang elektronik, energi, lingkungan, biomedis, dan konstruksi dalam satu kerangka *narrative review* yang lebih komprehensif. Review terdahulu umumnya hanya membahas satu sektor aplikasi tertentu sehingga belum memberikan sintesis lintas bidang secara terpadu. Penelitian ini memperbaiki kekurangan tersebut melalui pemetaan tren penelitian, klasifikasi dominasi aplikasi graphene, serta identifikasi hubungan antara karakteristik material, peluang pengembangan, dan tantangan implementasi industri.

METODE

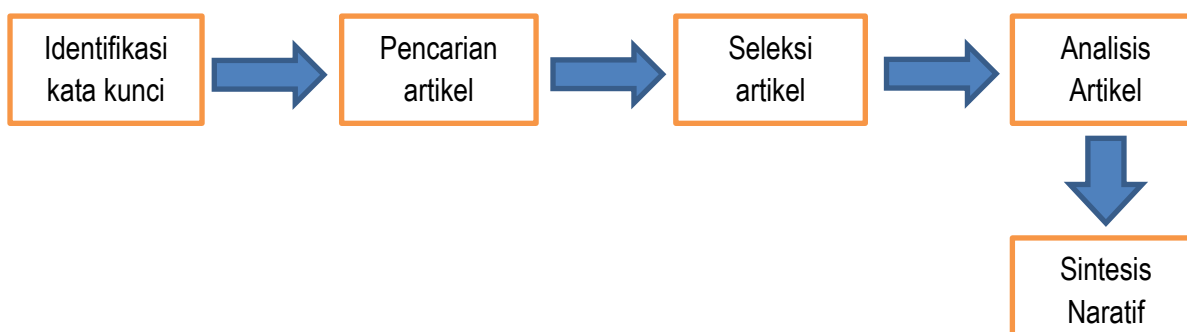
Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis penelitian *narrative review* yang bertujuan untuk mengkaji dan mensintesis berbagai literatur ilmiah terkait aplikasi Graphene dalam berbagai bidang. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengintegrasikan berbagai temuan dari studi yang beragam secara fleksibel tanpa batasan prosedural yang ketat seperti pada *systematic review*. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada pemahaman konseptual dan perkembangan terkini terkait graphene, termasuk karakteristik, aplikasi, serta tantangan

penggunaannya. Analisis dilakukan secara deskriptif-analitis untuk menggambarkan pola dan kecenderungan yang muncul dari berbagai sumber literatur. Alur penelitian bisa dilihat pada Gambar 1.

Sumber data dalam penelitian ini berasal dari literatur sekunder berupa artikel jurnal ilmiah, prosiding, dan publikasi akademik yang relevan. Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran pada database ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan PubMed dengan menggunakan kata kunci seperti “graphene applications”, “graphene in energy”, “graphene biomedical applications”, dan “graphene environmental technology”. Kriteria inklusi meliputi artikel yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2015–2026, memiliki relevansi langsung dengan topik penelitian, serta berasal dari jurnal bereputasi. Sementara itu, artikel yang tidak memiliki keterkaitan signifikan atau tidak tersedia secara lengkap dikeluarkan dari proses analisis.

Pada tahap awal pencarian diperoleh sebanyak 126 artikel dari Google Scholar, ScienceDirect, dan PubMed. Setelah dilakukan proses penyaringan berdasarkan kesesuaian judul, abstrak, dan kriteria inklusi, sebanyak 74 artikel dinyatakan relevan. Selanjutnya, dilakukan seleksi lanjutan berdasarkan kualitas sumber dan keterkaitan isi sehingga diperoleh 32 artikel utama yang digunakan dalam proses analisis. Kriteria jurnal bereputasi ditentukan berdasarkan indeks Scopus, SINTA, dan DOAJ. Literatur yang digunakan dibatasi pada artikel berbahasa Indonesia dan Inggris. Seluruh referensi dikelola menggunakan perangkat lunak Mendeley untuk menjaga ketertelusuran sitasi dan referensi.

Teknik analisis data dilakukan dengan cara mengelompokkan literatur berdasarkan tema utama, yaitu aplikasi graphene dalam bidang elektronik, energi, kesehatan, dan lingkungan. Setiap sumber dianalisis untuk mengidentifikasi temuan utama, keunggulan, serta keterbatasan yang dilaporkan oleh peneliti sebelumnya. Selanjutnya, hasil analisis disintesis secara naratif untuk membangun pemahaman yang komprehensif dan terstruktur. Proses ini juga melibatkan perbandingan antar penelitian guna menemukan pola, kesenjangan, serta peluang pengembangan di masa depan. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan gambaran yang utuh mengenai perkembangan dan potensi aplikasi graphene. Teknik sintesis data dilakukan menggunakan pendekatan *thematic analysis* dan *comparative analysis*. Setiap artikel dikelompokkan berdasarkan tema utama, kemudian dibandingkan untuk mengidentifikasi pola, persamaan, perbedaan, serta tren perkembangan penelitian graphene pada berbagai bidang aplikasi.



Gambar 1. Diagram Alur Proses Penelusuran dan Seleksi Literatur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Utama Graphene dan Relevansinya dengan Berbagai Bidang Teknologi

Karakteristik utama Graphene telah banyak dikaji dalam berbagai penelitian terdahulu yang menegaskan keunggulan material ini dibandingkan material konvensional. (Ray, 2025) menjelaskan bahwa graphene memiliki struktur dua dimensi berbasis atom karbon yang tersusun dalam kisi heksagonal, sehingga menghasilkan sifat elektronik yang unik dan mobilitas elektron yang sangat tinggi. Temuan ini diperkuat oleh (Alaraj et al., 2026) yang menyatakan bahwa struktur atomik graphene memungkinkan terjadinya konduktivitas listrik yang mendekati kondisi ideal tanpa hambatan signifikan. Selain itu, (Yang et al., 2024) menyoroti bahwa sifat ini menjadikan graphene sangat efektif dalam aplikasi frekuensi tinggi, khususnya pada pemanenan energi gelombang mikro. Dengan demikian, struktur dasar graphene menjadi fondasi utama dari berbagai keunggulan fungsionalnya.

Selain konduktivitas listrik, graphene juga dikenal memiliki kekuatan mekanik yang sangat tinggi. (Wangsa et al., 2024) mengungkapkan bahwa graphene merupakan salah satu material terkuat yang pernah ditemukan dengan kekuatan tarik yang jauh melampaui baja, meskipun memiliki ketebalan hanya satu lapisan atom. Sifat ini menjadikan graphene sangat potensial dalam aplikasi konstruksi dan material komposit. (Applications, 2024) juga menambahkan bahwa kekuatan mekanik tersebut tetap stabil meskipun graphene diproduksi dari bahan biomassa, yang menunjukkan fleksibilitas sumber bahan bakunya. Hal ini menunjukkan bahwa graphene tidak hanya kuat, tetapi juga adaptif terhadap berbagai metode sintesis. Oleh karena itu, kekuatan mekanik menjadi salah satu karakteristik kunci yang mendukung aplikasi luas graphene.

Karakteristik lain yang menonjol adalah luas permukaan spesifik yang sangat besar. (Suliman & Tahir, 2025) menjelaskan bahwa graphene memiliki luas permukaan yang mencapai sekitar $2630 \text{ m}^2/\text{g}$, yang menjadikannya sangat efektif dalam proses adsorpsi dan reaksi kimia. Sifat ini sangat relevan dalam aplikasi lingkungan seperti penyerapan polutan dan pengolahan limbah. Selain itu, (Khofiyya et al., 2025) menunjukkan bahwa luas permukaan yang tinggi juga meningkatkan sensitivitas graphene dalam aplikasi biosensor, khususnya dalam deteksi glukosa. (Ray, 2025) juga menegaskan bahwa luas permukaan ini berkontribusi terhadap peningkatan performa dalam berbagai aplikasi katalitik dan elektrokimia. Dengan demikian, luas permukaan graphene menjadi faktor penting dalam menentukan efisiensi aplikasinya.

Dalam aspek optik dan transparansi, graphene juga menunjukkan karakteristik yang unik. (Chen et al., 2025) menjelaskan bahwa graphene memiliki transparansi optik yang tinggi, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi sel surya dan perangkat optoelektronik. Hal ini diperkuat oleh (Prima et al., 2022) yang menunjukkan bahwa graphene oxide dapat meningkatkan efisiensi fotoelektrode dalam dye-sensitized solar cell. Selain itu, (Yang et al., 2024) menambahkan bahwa sifat optik graphene juga mendukung penggunaannya dalam perangkat frekuensi tinggi. Transparansi ini tidak mengorbankan konduktivitas, sehingga memberikan kombinasi sifat yang jarang ditemukan pada material lain. Oleh karena itu, karakteristik optik menjadi nilai tambah penting dalam aplikasi teknologi energi.

Graphene juga memiliki fleksibilitas dan elastisitas yang tinggi, yang memungkinkan penggunaannya dalam perangkat fleksibel dan wearable technology. (Alaraj et al., 2026) menyatakan bahwa struktur dua dimensi graphene memungkinkan material ini untuk ditekuk tanpa kehilangan sifat listriknya. (Applications, 2024) menambahkan bahwa graphene berbasis biomassa tetap mempertahankan fleksibilitas yang baik, sehingga cocok untuk aplikasi berkelanjutan. Selain itu, (Yang

et al., 2024) menunjukkan bahwa fleksibilitas ini mendukung integrasi graphene dalam perangkat elektronik modern yang membutuhkan desain ringan dan lentur. Karakteristik ini menjadi sangat penting dalam perkembangan teknologi masa depan. Dengan demikian, fleksibilitas menjadi salah satu keunggulan graphene.

Dari sisi kimia, graphene memiliki stabilitas yang tinggi serta kemampuan untuk dimodifikasi secara kimiawi. (Suliman & Tahir, 2025) menjelaskan bahwa graphene dapat difungsionalisasi untuk meningkatkan kinerjanya dalam aplikasi tertentu, seperti adsorpsi dan katalisis. (Khofiyya et al., 2025) menunjukkan bahwa modifikasi graphene dapat meningkatkan sensitivitas elektroda dalam biosensor. Selain itu, (Iksan et al. 2024) menekankan bahwa modifikasi kimia graphene berperan penting dalam meningkatkan performa baterai ramah lingkungan. Kemampuan modifikasi ini menjadikan graphene sangat fleksibel dalam berbagai aplikasi. Oleh karena itu, stabilitas dan reaktivitas kimia menjadi karakteristik penting lainnya.

Untuk memberikan gambaran yang lebih sistematis mengenai karakteristik utama graphene berdasarkan penelitian terdahulu, berikut disajikan tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Utama Graphene Berdasarkan Penelitian Terdahulu

Karakteristik Graphene	Penelitian Terdahulu	Temuan Utama
Konduktivitas listrik tinggi	(Ray, 2025); (Alaraj et al., 2026); (Yang et al., 2024)	Mobilitas elektron tinggi, efisien untuk elektronik
Kekuatan mekanik tinggi	(Wangsa et al., 2024); (Applications, 2024)	Lebih kuat dari baja, cocok untuk komposit
Luas permukaan besar	(Suliman & Tahir, 2025); (Khofiyya et al., 2025)	Efektif untuk adsorpsi dan biosensor
Transparansi optik tinggi	(Chen et al., 2025); (Prima et al., 2022)	Cocok untuk sel surya dan optoelektronik
Fleksibilitas tinggi	(Alaraj et al., 2026); (Applications, 2024)	Mendukung perangkat fleksibel
Stabilitas dan modifikasi kimia	(Suliman & Tahir, 2025); (Iksan et al. 2024)	Dapat difungsionalisasi untuk berbagai aplikasi

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakteristik utama graphene meliputi konduktivitas listrik tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, luas permukaan besar, transparansi optik, fleksibilitas, serta stabilitas kimia yang baik. Seluruh karakteristik ini saling berkontribusi dalam menjadikan graphene sebagai material unggulan dalam berbagai bidang teknologi. Penelitian-penelitian yang ada secara konsisten menunjukkan bahwa keunggulan graphene tidak hanya terletak pada satu aspek, tetapi merupakan kombinasi dari berbagai sifat yang saling melengkapi. Hal ini memperkuat posisi graphene sebagai material masa depan yang memiliki potensi besar untuk terus dikembangkan. Dengan demikian, pemahaman terhadap karakteristik ini menjadi dasar penting dalam mengkaji aplikasi graphene secara lebih lanjut.

Perkembangan dan Ragam Aplikasi Graphene dalam Berbagai Bidang

Perkembangan aplikasi Graphene menunjukkan tren yang sangat luas dan multidisipliner berdasarkan berbagai penelitian terdahulu. (Ray, 2025) mengemukakan bahwa graphene dan turunannya telah diaplikasikan dalam berbagai sektor, mulai dari elektronik, energi, hingga biomedis, karena sifat fisik dan kimianya yang unggul. Hal ini diperkuat oleh (Alaraj et al., 2026) yang

menekankan bahwa graphene menjadi material kunci dalam pengembangan teknologi modern berbasis nanomaterial. Selain itu, (Applications, 2024) menunjukkan bahwa perkembangan metode sintesis dari biomassa turut memperluas cakupan aplikasi graphene dalam konteks keberlanjutan. Dengan demikian, aplikasi graphene tidak hanya terbatas pada satu bidang, tetapi berkembang secara lintas sektor.

Dalam bidang elektronik, graphene telah dimanfaatkan secara luas sebagai material konduktif dengan performa tinggi. (Yang et al., 2024) menjelaskan bahwa graphene sangat efektif digunakan dalam perangkat elektronik frekuensi tinggi, termasuk dalam teknologi pemanenan energi gelombang mikro. Selain itu, (Alaraj et al., 2026) menunjukkan bahwa graphene berpotensi digunakan dalam pengembangan transistor generasi baru yang lebih cepat dan efisien dibandingkan material silikon. (Ray, 2025) juga menambahkan bahwa graphene digunakan dalam layar fleksibel dan sensor elektronik karena sifatnya yang transparan dan konduktif. Sementara itu, (Khofiyya et al., 2025) menunjukkan bahwa graphene dapat dimanfaatkan dalam biosensor berbasis elektroda karbon cetak untuk meningkatkan sensitivitas deteksi. Hal ini menunjukkan bahwa graphene memiliki peran penting dalam transformasi teknologi elektronik modern.

Pada sektor energi, graphene menunjukkan kontribusi yang sangat signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja perangkat energi. (Iksan et al. 2024) menjelaskan bahwa graphene dapat digunakan untuk mengembangkan baterai ramah lingkungan dengan kapasitas tinggi dan waktu pengisian yang lebih cepat. (Chen et al., 2025) menunjukkan bahwa graphene dengan tingkat oksidasi minimal mampu meningkatkan efisiensi sel surya melalui peningkatan konduktivitas dan stabilitas material. Selain itu, (Prima et al., 2022) mengungkapkan bahwa penggunaan reduced graphene oxide dalam fotoelektrode mampu meningkatkan performa dye-sensitized solar cell secara signifikan. (Yang et al., 2024) juga menambahkan bahwa graphene berperan dalam teknologi pemanenan energi alternatif berbasis gelombang mikro. Dengan demikian, graphene menjadi salah satu material kunci dalam pengembangan teknologi energi masa depan.

Dalam bidang lingkungan, graphene banyak dimanfaatkan sebagai material adsorben dan filtrasi. (Suliman & Tahir, 2025) menjelaskan bahwa graphene berbasis biomassa memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap polutan, sehingga efektif digunakan dalam pengolahan air dan limbah. (Applications, 2024) juga menambahkan bahwa pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber graphene memberikan solusi yang berkelanjutan dalam produksi material ini. (Ray, 2025) menegaskan bahwa graphene oxide memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap logam berat dan zat berbahaya lainnya. Selain itu, aplikasi graphene dalam lingkungan juga mencakup pemurnian air dan pengendalian pencemaran. Hal ini menunjukkan bahwa graphene memiliki kontribusi penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan.

Aplikasi graphene dalam berbagai bidang dapat dirangkum dalam beberapa kategori utama sebagai berikut:

1. Bidang elektronik: digunakan dalam transistor, sensor, perangkat fleksibel, dan sistem frekuensi tinggi (Yang et al., 2024); (Alaraj et al., 2026).
2. Bidang energi: dimanfaatkan dalam baterai, superkapasitor, dan sel surya untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas (Iksan et al. 2024) ; (Chen et al., 2025); (Prima et al., 2022).
3. Bidang lingkungan: digunakan sebagai adsorben untuk pengolahan limbah dan pemurnian air (Suliman & Tahir, 2025); (Ray, 2025).
4. Bidang biomedis: diaplikasikan dalam biosensor dan sistem deteksi berbasis elektroda (Khofiyya et al., 2025).

5. Bidang konstruksi: dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan material komposit dan beton (Wangsa et al., 2024).

Selain itu, dalam bidang konstruksi dan material teknik, graphene juga menunjukkan potensi yang signifikan. (Wangsa et al., 2024) menyatakan bahwa penambahan graphene pada material konstruksi seperti beton dapat meningkatkan kekuatan tekan dan daya tahan material. (Ray, 2025) juga menegaskan bahwa graphene dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam komposit untuk meningkatkan performa mekanik. (Applications, 2024) menambahkan bahwa graphene berbasis biomassa dapat menjadi alternatif material ramah lingkungan dalam sektor konstruksi. Sementara itu, integrasi graphene dalam berbagai aplikasi menunjukkan bahwa material ini memiliki fleksibilitas tinggi dalam mendukung inovasi teknologi. Dengan demikian, graphene tidak hanya berperan dalam teknologi canggih, tetapi juga dalam sektor industri konvensional.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa aplikasi graphene sangat luas dan mencakup berbagai bidang strategis, seperti elektronik, energi, lingkungan, biomedis, dan konstruksi. Setiap bidang memanfaatkan karakteristik unik graphene untuk meningkatkan efisiensi, performa, dan keberlanjutan teknologi yang dikembangkan. Penelitian-penelitian yang ada menunjukkan bahwa graphene telah menjadi material kunci dalam inovasi teknologi modern. Namun, implementasi yang optimal masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, terutama dalam aspek produksi dan integrasi material. Oleh karena itu, kajian terhadap aplikasi graphene menjadi sangat penting untuk mendukung pengembangan teknologi di masa depan.

Keunggulan, Keterbatasan, serta Peluang Pengembangan Graphene di Masa Depan

Kajian terhadap berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa Graphene memiliki sejumlah keunggulan signifikan yang menjadikannya material unggulan dalam berbagai bidang teknologi. (Ray, 2025) menegaskan bahwa graphene memiliki kombinasi sifat unik seperti konduktivitas listrik tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, serta luas permukaan yang besar. Hal ini diperkuat oleh (Alaraj et al., 2026) yang menyatakan bahwa graphene mampu meningkatkan efisiensi perangkat elektronik dan energi secara signifikan dibandingkan material konvensional. Selain itu, (Yang et al., 2024) menunjukkan bahwa graphene sangat efektif dalam aplikasi frekuensi tinggi karena stabilitas dan responsnya yang baik terhadap gelombang elektromagnetik. Keunggulan-keunggulan ini menjadikan graphene sebagai material strategis dalam inovasi teknologi modern.

Dalam bidang energi, keunggulan graphene terlihat pada kemampuannya meningkatkan performa penyimpanan dan konversi energi. (Iksan et al. 2024) menjelaskan bahwa graphene mampu meningkatkan kapasitas baterai serta mempercepat proses pengisian, sehingga mendukung pengembangan baterai ramah lingkungan. (Chen et al., 2025) juga menunjukkan bahwa graphene dengan tingkat oksidasi rendah dapat meningkatkan efisiensi sel surya melalui peningkatan konduktivitas dan stabilitas material. (Prima et al., 2022) menambahkan bahwa penggunaan reduced graphene oxide pada fotoelektrode mampu meningkatkan performa dye-sensitized solar cell. Dengan demikian, graphene memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi teknologi energi terbarukan. Hal ini menunjukkan bahwa keunggulan graphene sangat relevan dalam menjawab tantangan energi global.

Selain keunggulan, berbagai penelitian juga mengidentifikasi keterbatasan dalam penggunaan graphene. (Zema et al., 2023) menyatakan bahwa salah satu tantangan utama adalah kesulitan dalam

produksi graphene berkualitas tinggi secara konsisten dalam skala besar. (Yusuf, 2024) juga menambahkan bahwa proses sintesis graphene masih memerlukan teknologi canggih dan biaya yang relatif tinggi. Selain itu, (Umar et al., 2022) menunjukkan bahwa sifat optik graphene dapat bervariasi tergantung metode sintesis yang digunakan, sehingga memengaruhi performa aplikasinya. (Studi et al., 2024) juga menyoroti bahwa efisiensi adsorpsi graphene sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun memiliki potensi besar, penggunaan graphene masih menghadapi berbagai kendala teknis.

Keterbatasan lain juga terlihat dalam aspek aplikasi praktis dan integrasi material. (Tingkat et al., 2023) menunjukkan bahwa variasi tingkat kekristalan graphene dapat memengaruhi kekuatan material komposit seperti beton. (Marlyna et al., 2024) menambahkan bahwa efektivitas graphene sebagai adsorben logam berat masih dipengaruhi oleh kondisi sintesis dan karakteristik material. Selain itu, (Romiduk et al., 2025) mengungkapkan bahwa meskipun graphene berbasis biomassa memiliki potensi besar, masih diperlukan optimasi untuk meningkatkan konsistensi kualitasnya. (Shariatina, 2025) juga menyoroti bahwa aplikasi graphene dalam tekstil masih menghadapi tantangan dalam hal daya tahan dan stabilitas penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk mengatasi berbagai keterbatasan tersebut.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu, keunggulan dan keterbatasan graphene dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Keunggulan: konduktivitas tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, fleksibilitas, dan luas permukaan besar (Ray, 2025); (Alaraj et al., 2026).
2. Keunggulan: meningkatkan efisiensi energi dan performa perangkat elektronik (Yang et al., 2024); (Chen et al., 2025).
3. Keterbatasan: biaya produksi tinggi dan kesulitan sintesis skala besar (Zema et al., 2023); (Yusuf, 2024).
4. Keterbatasan: sensitivitas terhadap kondisi lingkungan dan variasi sifat material (Studi et al., 2024); (Umar et al., 2022).
5. Keterbatasan: tantangan dalam integrasi dan stabilitas aplikasi jangka panjang (Shariatina, 2025); (Tingkat et al., 2023).

Di sisi lain, peluang pengembangan graphene di masa depan sangat menjanjikan. (Applications, 2024) menunjukkan bahwa penggunaan biomassa sebagai bahan baku graphene membuka peluang produksi yang lebih murah dan ramah lingkungan. (Pasaribu et al., 2023) juga menambahkan bahwa pemanfaatan limbah seperti tempurung kelapa dapat menjadi alternatif dalam produksi graphene untuk aplikasi energi. (Suliman & Tahir, 2025) menegaskan bahwa graphene berbasis biomassa memiliki potensi besar dalam aplikasi lingkungan dan keberlanjutan. Selain itu, (Khofiyya et al., 2025) menunjukkan bahwa graphene dapat terus dikembangkan dalam bidang biosensor untuk meningkatkan sensitivitas dan akurasi deteksi. Dengan demikian, peluang inovasi graphene masih sangat luas dan terus berkembang.

Untuk memberikan gambaran yang lebih sistematis, berikut tabel 2 merupakan ringkasan keunggulan, keterbatasan, dan peluang pengembangan graphene berdasarkan penelitian terdahulu:

Tabel 2. Ringkasan Keunggulan, Keterbatasan, dan Peluan Pengembangan Graphene

Aspek	Temuan Utama	Sumber
Keunggulan	Konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanik luar biasa	(Ray, 2025); (Alaraj et al., 2026)
Keunggulan	Efisiensi tinggi dalam energi dan elektronik	(Yang et al., 2024); (Chen et al., 2025)
Keterbatasan	Produksi mahal dan sulit skala besar	(Zema et al., 2023); (Yusuf, 2024)
Keterbatasan	Sensitif terhadap kondisi lingkungan	(Studi et al., 2024)
Keterbatasan	Variasi kualitas material dan integrasi	(Tingkat et al., 2023); (Shariatinia, 2025)
Peluang	Produksi berbasis biomassa	(Applications, 2024); (Pasaribu et al., 2023)
Peluang	Pengembangan biosensor dan lingkungan	(Khofiyya et al., 2025); (Suliman & Tahir, 2025)

Secara keseluruhan, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa graphene memiliki keunggulan yang sangat signifikan, namun masih dihadapkan pada berbagai keterbatasan teknis dan ekonomis. Meskipun demikian, peluang pengembangan graphene di masa depan tetap terbuka lebar, terutama dengan adanya inovasi dalam metode sintesis dan pemanfaatan bahan baku alternatif. Kombinasi antara keunggulan dan peluang ini menjadikan graphene sebagai material strategis yang akan terus berkembang dalam berbagai bidang. Oleh karena itu, penelitian lanjutan sangat diperlukan untuk mengoptimalkan potensi graphene dan mengatasi berbagai keterbatasan yang ada.

KESIMPULAN

Berdasarkan sintesis hasil *literature review*, aplikasi graphene paling dominan ditemukan pada bidang energi dan elektronik karena karakteristik konduktivitas listrik tinggi dan fleksibilitas material yang mendukung efisiensi perangkat modern. Keunggulan utama graphene meliputi kekuatan mekanik tinggi, luas permukaan besar, dan kemampuan modifikasi kimia yang menjadikannya unggul pada teknologi baterai, sensor, sel surya, dan material komposit. Namun demikian, tantangan utama yang masih menjadi hambatan implementasi industri adalah tingginya biaya produksi, kesulitan sintesis skala besar, serta variasi kualitas material hasil sintesis. Dengan demikian, pengembangan metode produksi yang lebih efisien dan berkelanjutan menjadi fokus penting dalam penelitian graphene di masa depan.

Berdasarkan hasil studi, Graphene terbukti memiliki karakteristik unggul berupa konduktivitas listrik tinggi, kekuatan mekanik luar biasa, luas permukaan besar, serta fleksibilitas yang mendukung berbagai aplikasi dalam bidang elektronik, energi, lingkungan, biomedis, dan konstruksi. Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa graphene berpotensi menjadi material kunci dalam pengembangan teknologi masa depan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan pendekatan *narrative review* sehingga tidak melibatkan analisis kuantitatif yang mendalam serta bergantung pada ketersediaan dan kualitas literatur yang ditinjau. Selain itu, variasi metode sintesis dan karakteristik graphene dalam berbagai penelitian menyebabkan adanya perbedaan hasil yang sulit untuk dibandingkan secara langsung. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan pendekatan *systematic review* atau *meta-analisis* untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif, serta mengembangkan studi eksperimental guna menguji implementasi graphene dalam skala industri.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para peneliti dan penulis sebelumnya yang karya ilmiahnya menjadi sumber referensi utama dalam kajian ini. Selain itu, penulis menghargai kontribusi berbagai institusi dan platform ilmiah yang menyediakan akses terhadap literatur yang digunakan.

REFERENSI

- Alaraj, A.M., Esmaeil, A.A., Khamis, M.A. et al. Pioneering advancements of 2D graphene: energy and electronics applications. *Opt Quant Electron* 58, 4 (2026). <https://doi.org/10.1007/s11082-025-08534-0>
- Wu, Y., Li, Y., & Zhang, X. (2024). The Future of Graphene: Preparation from Biomass Waste and Sports Applications. *Molecules*, 29(8), 1825. <https://doi.org/10.3390/molecules29081825>
- Chen, Q., Kim, J., Choi, M. et al. Advancing solar energy applications with graphene: the potential of minimally oxidized graphene. *Nano Convergence* 12, 30 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40580-025-00498-x>
- Iksan, A. M., Ryan, S., Ammar, M., Arfan, P., & Shalahuddin, H. A. A. (2024). Optimalisasi grafena dalam pengembangan baterai ramah lingkungan berkapasitas tinggi. *JUPITER*, 3, 139–145.
- Khofiyya, N. A., Khoiriah, N. Al, Aliyah, M., Cendekia, I., Komerling, O., & Ilir, K. (2025). Sintesis grafena dari tandan kosong kelapa sawit untuk modifikasi screen printed-carbon electrode glucose-biosensor. *Jurnal Penelitian Sains*. 09, 1–6.
- Marlyna, A., Towoliu, V., Aritonang, H. F., Wuntu, A. D., Kimia, P. S., Sam, U., & Manado, R. (2024). Sintesis Grafena Oksida dari Sekam Padi Sebagai Adsorben Ion Logam Berat (Pb, Cd, dan Sn). *Chemistry Progress*. 17(1), 32–39.
- Pasaribu, E., Siburian, R., & Supeno, M. (2023). Production of Graphene By Coconut Shell As an Electrode Primary Battery Cell. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*. 9(1), 37–47. <https://doi.org/10.22373/ekw.v9i1.14880>
- Prima, E. C., Utami, M. P., Setiawan, A., & Suhendi, E. (2022). Review Penggunaan Reduced Graphene Oxide / TiO₂ sebagai Fotoelektrode pada Dye-Sensitized Solar Cell. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah)*. 6(1), 1–9.
- Ray, S. C. (2025). Application of graphene / graphene-oxide : A comprehensive review. *AIMS Material Science*. 12(May), 453–513. <https://doi.org/10.3934/matserci.2025023>
- Romiduk, F., Fakhurul, M., Raja, Z., & Siburian, R. (2025). Synthesis of Biochar-Like Graphene Nanosheets (BLG) from Candlenut Shells with Integrated Conductive and Antibacterial Functionalities. *IJCA*. 08(02), 163–172. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol8.iss2.art7>
- Shariatinia. (2025). Applications of graphene, graphene oxide, and reduced graphene oxide on cotton fabric. *Cellulose*, 32, 5795–5839 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10570-025-06600-0>.
- Dharmakalih, S. A. Z., Syakir, N., & Fitrilawati, F. (2024). Pengaruh ph terhadap efisiensi adsorpsi metilena biru oleh oksida grafena. *JMEI (Jurnal Material dan Energi Indonesia)*. 14(01), 1–9.
- Suliman, M., & Tahir, M. (2025). Date palm-derived graphene materials : a review on recent advances in synthesis, characterization and environmental applications. *Front. Nanotechnol*. May, 1–33. <https://doi.org/10.3389/fnano.2025.1518715>
- Umar, F., Sagita, E., Fazriah, S. S., Cianda, F., & Burhendi, A. (2022). *Studi Sifat Optik dari Hasil*

- Sintesis Grafena Oksida dengan*. 7(2), 93–103.
- Wangsa, A. G., Ukkasya, M., & Anisah, N. (2024). Study literatur : graphene , nano teknologi sebagai material konstruksi masa depan. *Bearing : Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*. 09(01).1-9
DOI: <https://doi.org/10.32502/jbearing.v9i1.8283>
- Yang, D., Cheah, S., Kang, C. C., Tan, J. D., Ariannejad, M., Choe, C., & Chang, W. (2024). Graphene-Based Materials for Energy Harvesting at Microwave Frequencies : A Comprehensive Review. *Jurnal Kejuruteraan*. 36(2), 509–516.
- Yusuf, A. M. (2024). Studi Penumbuhan Grafena pada Temperatur Rendah Menggunakan Metode Hotwire-Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition. *Jurnal Fisika Flux*. 21(3). 181-188.
- Hu, K., Brambilla, L., Sartori, P., Moscheni, C., Perrotta, C., Zema, L., Bertarelli, C., & Castiglioni, C. (2023). Development of Tailored Graphene Nanoparticles: Preparation, Sorting and Structure Assessment by Complementary Techniques. *Molecules*, 28(2), 565.
<https://doi.org/10.3390/molecules28020565>