Literature Review Performa GaN dalam *Low Voltage* Komponen dan Sensor

Eka Cahya Muliawati[1*], Arinto Eka[2], Joko Novianto[3], Muhammad Muchlis Wijaya[4]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

[2, 3, 4]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: ekacahya@itats.ac.id[1],arintoeka@gmail.com[2], novianto141@gmail.com[3], muhammadmuchliswijaya@gmail.com[4]

Abstrak

Gallium Nitride (GaN) merupakan bahan semikonduktor dengan celah pita lebar, konduktivitas termal tinggi dan stabilitas kimia yang baik pada kondisi tertentu. Hal ini menjadikannya ideal untuk aplikasi dalam kondisi ekstrem. Dalam beberapa tahun terakhir, GaN nanowire telah muncul sebagai komponen penting dalam pengembangan sensor modern, berkat rasio permukaan terhadap volume yang tinggi. Hal ini memungkinkan aplikasi dalam analisis komposisi kimia, identifikasi biomolekul dan penginderaan tekanan. Peninjauan ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi GaN nanowire dalam mengatasi keterbatasan teknologi pengindraan saat ini, seperti sensitivitas, stabilitas, dan daya tahan yang rendah. Analisis mendalam terhadap karakteristik material dan kontribusi terbaru dalam literatur GaN nanowire, penelitian ini berupaya memberikan wawasan tentang implementasi dan efektivitas GaN nanowire dalam meningkatkan kinerja sensor di berbagai aplikasi, seperti industri, biomedis, dan lingkungan. Ke depannya, penelitian ini dapat memberikan rekomendasi berharga untuk pengembangan sensor yang lebih efisien dan inovatif, serta mendorong kemajuan dalam teknologi penginderaan di masa depan. Dari tinjauan literatur, temuan utama difokuskan pada ide-ide baru seperti rekayasa permukaan, pendekatan fabrikasi canggih, dan prinsip-prinsip teknik yang telah terbukti meningkatkan sensitivitas, waktu respons, dan ketergantungan operasi sensor GaN dasar. Hasilnya menunjukkan bahwa GaN menjanjikan untuk aplikasi sensor generasi mendatang, menawarkan kinerja yang unggul dan memperluas cakupan kemampuan deteksi yang tepat.

Kata Kunci: Nanowire; GaN; Semikonduktor Nano; Sensor Gas Skala Nano; Nanoteknologi

ABSTRACT

Gallium Nitride (GaN) is a wide bandgap semiconductor material with high thermal conductivity (W m^-1 K^-1) and good chemical stability under certain conditions, making it ideal for applications in extreme conditions and advanced technologies. In recent years, GaN nanowires have emerged as an important component in the development of modern sensors, thanks to their high surface-to-volume ratio, which enables applications in chemical composition analysis, biomolecule identification, and pressure sensing. This review aims to explore the potential of GaN nanowires in overcoming the limitations of current sensing technologies, such as low sensitivity, stability, and durability. Through an in-depth analysis of material characteristics and recent contributions in GaN nanowire research, this study seeks to provide insights into the implementation and effectiveness of GaN nanowires in improving sensor performance in various applications, including industrial, biomedical, and environmental fields. In the future, this research can provide valuable recommendations for the development of more efficient and innovative sensors, driving advancements in sensing technology. From the literature review, the main findings focus on novel ideas such as surface engineering, advanced fabrication approaches, and engineering principles that have been shown to improve the sensitivity, response time, and operational reliability of basic GaN sensors. The results demonstrate that GaN nanowires hold great promise for next-generation sensor applications, offering superior performance in harsh environments and expanding the scope of precise detection capabilities.

Keywords: *Nanowire; GaN; Nano Semiconductor; Nanoscale Gas Sensor; Nanotechnology*

1. PENDAHULUAN

Gallium Nitride (GaN) merupakan bahan semikonduktor yang membawa perkembangan dalam penerapan aplikasi sensor. Dengan celah pita lebar, konduktivitas termal tinggi (235 W m^-1 K^-1), dan stabilitas kimiawi yang sangat baik, GaN memberikan potensi yang signifikan untuk aplikasi sensor. Dalam beberapa tahun terakhir, GaN Nanowire telah menjadi terobosan inovasi dalam teknologi sensor, berkat rasio permukaan terhadap volume yang tinggi, yang memungkinkan peningkatan sensitivitas dan kinerja dalam penginderaan.

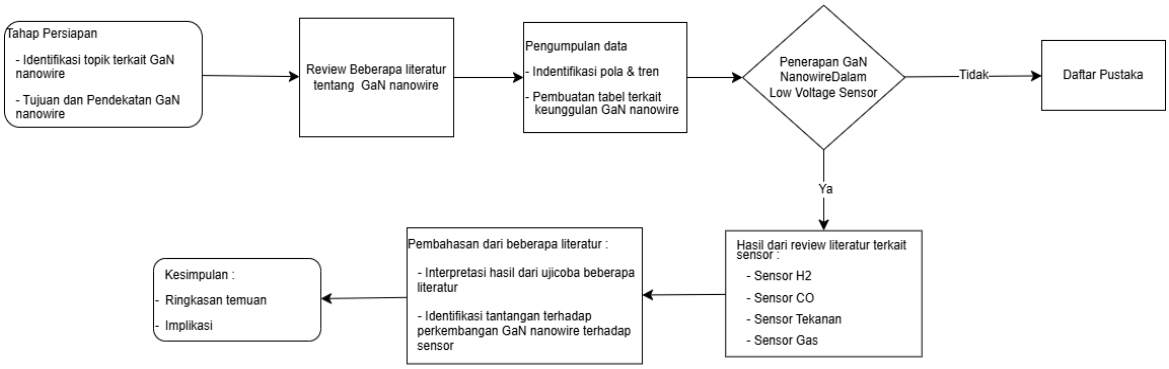
Penelitian sebelumnya "*GaN offers some potential in providing nanostructured based gas sensors devices*" telah menunjukkan bahwa GaN Nanowire dapat meningkatkan kinerja sensor dalam berbagai aplikasi, termasuk deteksi jejak gas, penanda biologis, serta fungsionalitas di lingkungan yang ekstrem (M. Nahhas, 2020). Namun, dengan potensi yang besar, masih terdapat tantangan spesifik yang dihadapi oleh sensor berbasis GaN, seperti pengembangan sistem deteksi yang lebih efisien, handal, dan serbaguna.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi aplikasi dan efektivitas GaN Nanowire dalam meningkatkan perangkat sensor di berbagai bidang. Dengan mengeksplorasi sifat material dan pemanfaatannya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan menyeluruh tentang bagaimana sensor berbasis GaN dapat mengatasi keterbatasan sensitivitas yang ada dalam teknologi sensor saat ini. Berdasarkan *literature review* yang telah dilakukan, penelitian ini juga memberikan pendekatan baru untuk mengembangkan sistem deteksi yang lebih baik serta dapat digunakan secara praktis dalam berbagai aplikasi industri, biomedis, dan lingkungan.

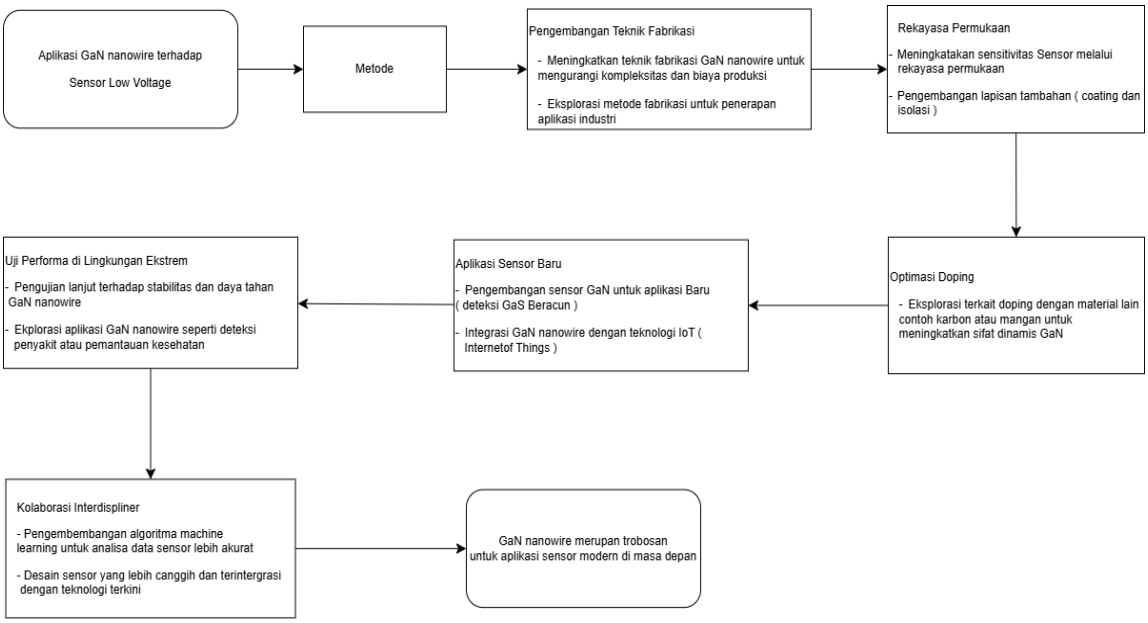
2. METODE

Peninjauan ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan analisis kuantitatif untuk mengkaji berbagai jenis GaN nanowire. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil *review* jurnal-jurnal internasional yang membahas tentang GaN Nanowire. Jurnal-jurnal tersebut diterbitkan setelah tahun 2020, sehingga data yang digunakan relatif baru dan relevan. Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengidentifikasi pola dan tren yang signifikan dalam data yang terkumpul. Dengan demikian, peninjauan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan GaN Nanowire dalam beberapa tahun terakhir. Gambar 1 menampilkan diagram alir metode proses *literature review*. Sedangkan Gambar 2

menampilkan diagram alir metode pengembangan lanjutan terkait Gan dalam *low voltage* komponen dan sensor *low voltage.*



Gambar 1. Diagram Alir Metode Proses Review Literatur



Gambar 2. Diagram Alir Metode Pengembangan Lanjutan Terkait Gan dalam *Low Voltage* Komponen dan Sensor *Low Voltage*

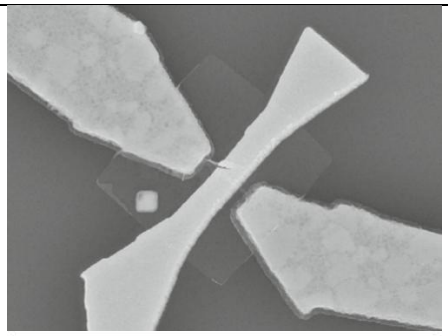
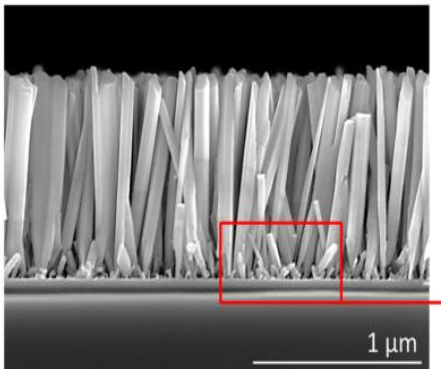
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

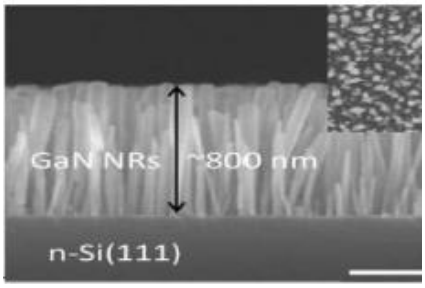
Gallium Nitride (GaN) merupakan bahan semikonduktor dengan karakteristik khusus, menjadikannya teknologi yang efisien untuk sensor nanowire. GaN Nanowire banyak digunakan sebagai detektor pada bidang gas, biosensor, dan tekanan. Keunggulan bahan ini terletak pada karakteristiknya yang menjadikannya sangat diminati dalam pengembangan perangkat sensor modern yang banyak diteliti dan lebih efisien.

GaN nanowire sangat baik untuk aplikasi pengalihan suhu dan daya tinggi. Ketertarikan ini berasal dari celah pita lebar dan langsung yang menjadi ciri khas GaN nanowire, membuatnya efisien dalam kondisi ekstrem (Sharma et al., 2021). Selain itu, karena GaN nanowire adalah struktur satu dimensi semu, terdapat kemungkinan tambahan untuk penyelidikan efek transportasi dimensi rendah dan fenomena yang berbeda dari yang diamati pada bahan tiga dimensi. Karakteristik struktural dan elektronik dari GaN nanowire ini memberi mereka potensi untuk digunakan dalam aplikasi elektronik dan optoelektronik generasi berikutnya.

Ada sejumlah besar fenomena transportasi dimensi rendah yang telah terbukti terjadi pada GaN nanowire, salah satu yang paling menarik disebut fluktuasi konduktansi universal (Hergert et al., 2024). UCF adalah fenomena kuantum mesoskopik yang diinduksi oleh interferensi fungsi gelombang elektron yang terkait dengan lintasan elektron yang berbeda di dalam objek berskala nano. Fluktuasi ini muncul sebagai perubahan yang efektif tetapi dapat dibalik dalam konduktansi kawat nano sebagai respons terhadap gangguan eksternal, misalnya, dalam nilai medan magnet atau potensial kimia. Kehadiran mereka menunjukkan bahwa GaN nanowires sangat rentan terhadap efek perubahan kuantum dan merupakan bahan yang menjanjikan untuk beberapa sensor dan aplikasi terkait kuantum seperti dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Gabungan gambar SEM GaN Nanowire

Gambar SEM	Penjelasan	Referensi
	Gambar SEM Gallium Nitride Nanowire–FET dengan ketentuan NW panjang sekitar 2000 nm dan diameter dari 80 nm	(Hergert et al., 2024)
	Gambar SEM dari GaN NW yang ditumbuhkan di atas penyangga ZrN.	(Olszewski et al., 2023)

Gambar SEM	Penjelasan	Referensi
	Gambar FESEM dari sensor gas nanorods GaN	(M. Nahhas, 2020)

Untuk identifikasi yang jelas dari UCF dalam GaN Nanowire, koherensi fase elektron harus meluas pada dimensi karakteristik nanowire dalam diameter dan panjang. Panjang koherensi fase lϕ tidak bisa lebih besar atau lebih kecil dari dimensi ini,yang pertama mewakili jarak fase kuantum elektron yang harus dipertahankan agar tidak mengalami gangguan. Temperatur, ketidak sempurnaan bahan yang digunakan dan pengganbungan elektron-fonon sangat mempengaruhi lϕ (Wolff et al., 2023). Hal ini secara konsekuen mempengaruhi tingkat ekspresi UCF, Menurut hasil yang disajikan di atas, hal ini memang terjadi. UCF paling baik diamati pada suhu rendah karena suhu mempengaruhi dalam dekoherensi dan panjang koherensi fase, yang mengarah pada dominasi interferensi kuantum dalam sifat transportasi.

Spesifikasi dari GaN nanowire yang salah satunya adalah material di usia sensor modern. GaN nanowire memiliki beberapa sifat yang sangat menarik dan aplikatif dalam berbagai bidang mulai dari optoelektronika hingga bidang biomedis. Material ini memiliki karakteristik fisika dan kimia yang sangat baik seperti rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, respon yang cepat terhadap target, dan stabilitas yang sangat baik dalam berbagai kondisi. Sama halnya dengan pengembangan sistem lainnya, penggunaannya juga menghadapi sejumlah tantangan teknis yang harus dihadapi agar kinerja sistem dapat ditingkatkan. Tabel 2 adalah tinjauan tentang keuntungan, kekurangan dan masalah yang dijalani dalam penggunaan bahan ini.

Tabel 2. Perbandingan spesifikasi Gallium Nitride

Aspek	Keuntungan	Kekurangan	Pustaka
Sifat Material	Dapat digunakan dalam berbagai aplikasi optoelektronik dan sensor.	Doping p-type masih menjadi tantangan, menghambat pengembangan perangkat.	(Olszewski et al., 2023; Udabe et al., 2023)

Aspek	Keuntungan	Kekurangan	Pustaka
Rasio Permukaan	Meningkatkan efisiensi deteksi gas dan respons sensor.	Memerlukan teknik fabrikasi yang kompleks untuk mencapai struktur nanowire.	(Hergert et al., 2024)
Kinerja Sensor Gas	Umur panjang dan keandalan yang lebih baik dibandingkan sensor konvensional.	Sensitivitas terhadap konsentrasi gas rendah masih perlu ditingkatkan.	(Akar et al., 2021)
Aplikasi Biokimia	Dapat digunakan dalam berbagai aplikasi biomedis dan lingkungan.	Keterbatasan dalam pengembangan sensor untuk aplikasi spesifik.	(Li et al., 2020)
Sensor Tekanan	Kemampuan output yang besar, cocok untuk aplikasi industri.	Keterbatasan dalam pengoperasian pada kondisi ekstrem.	(Kim et al., n.d.)
Perlakuan Permukaan	Meningkatkan respon sensor terhadap gas target.	Proses perlakuan dapat menambah kompleksitas dalam fabrikasi sensor.	(Akar et al., 2021)
Stabilitas dan Durabilitas	Dapat diandalkan untuk penggunaan jangka panjang.	Dapat diandalkan untuk penggunaan jangka panjang.	(Yasan et al., 2003)

Tabel 2 menunjukkan berbagai aspek seperti atribut sensor material kelebihan dan kekurangannya. Sebagai penajaman yang mendasar, kemampuan yang signifikan dalam material dengan tingkat celah pita yang berbeda, khususnya 3,4 eV, untuk digunakan dalam pekerjaan pendeteksian ultraviolet (UV) (Udabe et al., 2023). Bahan-bahan ini cukup bermanfaat dalam perangkat optoelektronik dan sensor, karena bahan tersebut dapat merespons sinar UV. Namun demikian, masalah *doping* tipe-p belum terpecahkan dan merupakan salah satu faktor utama yang memperlambat peningkatan dan penyempurnaan bahan-bahan ini. Banyak keterbatasan *doping* menyebabkan masalah dalam mencapai fabrikasi perangkat yang optimal dan meningkatkan penerapannya.

Karakteristik utama terakhir dari bahan-bahan ini yang juga harus disebutkan adalah rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi yang juga berkontribusi terhadap sensitivitas dan deteksi suatu zat. Karakteristik ini sangat penting dalam meningkatkan efisiensi kinerja sensor, karena waktu respons ditingkatkan, dan akurasi ditingkatkan. Namun demikian, pencapaian struktur nano tersebut mungkin memerlukan strategi rumit yang mempersulit pembuatannya dalam skala besar. Dalam aplikasi pada teknologi yang lebih tinggi, dan akurasi yang akurat, yang dapat menghambat penerapannya di berbagai bidang, khususnya dalam hal pengendalian biaya yang dimana penggunan material serta pembuatannya.

Sensor yang terbuat dari bahan-bahan ini menghadirkan kinerja yang luar biasa karena sensitivitas tinggi dan waktu respons yang singkat terhadap gas target seperti hidrogen (H2),

hidrogen sulfida (H2S), dan karbon monoksida (CO) (Akar et al., 2021). Sensor ini berkali-kali lipat lebih tahan dan bertahan lebih lama dibandingkan dengan jenis sensor biasa. Namun demikian, sensitivitas sensor yang dikembangkan dan ditingkatkan untuk mendeteksi konsentrasi gas yang lebih rendah untuk penggunaan sensor yang lebih luas. Penambahan sensitivitas pada konstruksi sensor dengan kemampuan yang lebih baik dalam menerima jejak gas, yang merupakan standar untuk keselamatan lingkungan dan industri.

Informasi tentang berbagai jenis sensor gas bersama dengan kemampuan dan hasilnya, tergantung pada prosedur pengujian, nilai dan hasilnya. Tabel 3 menjelaskan ringkasan yang mencakup beberapa sensor seperti sensor H_2, NO, CO, dan amonia serta sensor lainnya dengan peforma, waktu respon, dan pemulihan. Selain itu, rangkuman ini juga menyebutkan publikasi tertentu, yang berkontribusi dalam mendukung peningkatan yang disebutkan untuk setiap sensor.

Tabel 3. Perbandingan Performa Gallium Nitride sebagai sensor gas

Jenis Sensor	Methode Pengujian	Parameter yang Diuji	Hasil Pengujian	Pustaka
Sensor Gas H2	Pengujian respons terhadap konsentrasi gas	Respons dan waktu pemulihan	Respons tinggi (5.5×10^6) pada 1% H2/udara, waktu respons 22 detik.	(M. Nahhas, 2020)
Sensor Gas NO	Perlakuan H2O2 pada nanorod GaN	Sensitivitas terhadap NO gas	Respons 4 kali lebih tinggi dibandingkan GaN murni pada 100 ppm NO.	(M. Nahhas, 2020)
Sensor CO	Pengujian pada suhu tinggi	Sensitivitas, waktu respons dan pemulihan	Sensitivitas 33%, waktu respons 94 detik, waktu pemulihan 44 detik.	(M. Nahhas, 2020)
Sensor Tekanan AIGaN/GaN	Pengujian dengan struktur jembatan Wheatstone	Sensitivitas dan output voltase	Sensitivitas 72 μV/kPa/V, output 64.8 mV/V.	(Akar et al., 2021)
Sensor Ph AIGaN/GaN	Pengujian dengan variasi pH	Respons terhadap variasi pH	Sensitivitas 56.3 mV/pH.	(Akar et al., 2021)
Sensor H2S (NH3)	Pengujian dengan elektrodeposisi	Respons dan selektivitas	Respons tinggi dan selektivitas baik terhadap H2S.	(Wolff et al., 2023)
Sensor Ammonia (NH3)	Pengujian FET-like dengan struktur unik	Respons dan waktu pemulihan	Respons 23 detik untuk 5 ppm NH3, waktu pemulihan 101 detik	(Li et al., 2020)
Sensor Gas dengan Rgo/AiGaN/GaN	Pengujian gas beracun	Respons terhadap gas NO2, SO2, NH3	Kinerja gas sensing yang cepat, dapat diulang dan stabil	(Akar et al., n.d.)

Respons dan pemulihan sensor gas H_2 menunjukkan sensitivitas yang memiliki respons dan tingkat pemulihan yang tinggi ketika terpapar dengan campuran H_2/udara 1% (M. Nahhas,

2020). Nilai-nilai yang diperoleh diberikan di bawah ini hasil respons temuan menunjukkan bahwa respons memiliki nilai (5.5×10^{6}) Butuh waktu kurang dari 20 detik untuk memuat dan memiliki waktu respons sekitar 22 detik. Selama kinerja ini, kemampuan sensor yang masuk akal untuk mengidentifikasi konsentrasi hidrogen rendah secara efisien diuraikan, yang mengindikasikan penerapan sensor yang tinggi dalam keselamatan industri dan pemantauan lingkungan.

Untuk deteksi gas NO, diamati bahwa sensitivitasnya jauh lebih tinggi untuk nanorod GaN ketika diperlakukan dengan H_2O_2. Ketika terpapar 100 ppm gas NO, respons sensor empat kali lebih tinggi daripada GaN yang tidak dilapisi. Hasil ini dapat dikaitkan dengan peran perawatan permukaan yang meningkatkan kinerja sensor dengan perhatian khusus pada gas beracun seperti NO.

Untuk suhu tinggi, sensor gas CO yang diperiksa menghasilkan sensitivitas 33% dengan waktu respons dan pemulihan masing-masing 94 detik dan 44 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor tidak mengalami penurunan dalam kinerjanya bahkan dalam kondisi yang keras sehingga cocok untuk aplikasi di bidang otomotif dan industri yang memerlukan pemantauan karbon monoksida. Oleh karena itu, untuk aplikasi penginderaan tekanan, sensor berbasis AlGaN/GaN fabrikasi menggunakan konfigurasi jembatan Wheatstone untuk menghasilkan sensitivitas dan tegangan output yang tinggi. Oleh karena itu, sensitivitas sensor ini adalah 72 μV/kPa/V, sedangkan output sensor ini adalah 64,8 mV/V, yang dianggap cukup mengesankan untuk digunakan dalam aplikasi tekanan presisi.

Sensor pH berbasis AlGaN/GaN menunjukkan sensitivitas 56,3 mV/pH. Hasil ini menyoroti kemampuannya untuk mendeteksi variasi tingkat pH secara akurat, sehingga cocok untuk aplikasi biokimia dan lingkungan yang memerlukan pemantauan pH. Metode elektro-deposisi memberikan keuntungan pada pendeteksian gas H_2S, menunjukkan respons dan selektivitas yang tinggi terhadap gas H_2S. Kontrol dan respons sensor ini menunjukkan bahwa perangkat ini paling baik digunakan dalam kondisi industri dan lingkungan di mana keberadaan gas berbahaya seperti H_2S menjadi masalah.

Sensor NH_3 yang menggunakan struktur seperti FET, menunjukkan respons dan waktu pemulihan dalam hitungan menit. Dalam kondisi tertentu, sensor ini membutuhkan 23 detik untuk respons pada 5 ppm NH_3 dan 101 detik untuk proses pemulihan - menjadikan sensor ini ideal untuk aplikasi pertanian dan industri. Teknik elektro-deposisi efektif dalam mendeteksi gas H_2S karena respons dan selektivitas yang tinggi pada H_2S. Fitur karakteristik kinerja sensor ini sekali lagi menunjukkan kemungkinan penggunaannya dalam kondisi industri dan

lingkungan di mana perlu untuk memantau gas yang berpotensi berbahaya seperti H_2S.Ald, sensor amonia (NH_3) berstruktur seperti FET spesifik ditandai dengan tingkat respons dan pemulihan yang tinggi. Sensor beroperasi pada sekitar 23 detik untuk 5 ppm NH_3 sementara waktu pemulihan adalah 101 detik, sehingga sensor ini akan ideal untuk penggunaan amonia di bidang pertanian dan industri.Terakhir, pengembangan sensor gas dengan Rgo/AlGaN/GaN memiliki respon yang cepat dan stabil terhadap gas tertentu seperti NO_2, SO_2 dan NH_3.

Mengenai berbagai bahan yang digunakan dalam bidang teknologi sensor, aspek struktur, karakteristik utama, dan aplikasi tertentu dibahas. Semua bahan dirancang untuk memberikan fitur penginderaan khusus untuk memenuhi kebutuhan dan menunjukkan perkembangan dalam ilmu material untuk aplikasi penginderaan. Gallium Nitride (GaN) digunakan sebagai senyawa semikonduktor dan termasuk dalam sistem material III-V yang terkenal dengan stabilitas kimiawi atau stabilitas mekanisnya. Sifat ini membuatnya berguna dalam penggunaan seperti pada elemen-elemen seperti sensor gas, dioda pemancar cahaya atau LED dan aplikasi optoelektronik. Karena karakteristik ini, yaitu stabilitas dan ketahanan terhadap faktor lingkungan yang umum, dan kemampuan untuk beroperasi pada suhu tinggi, GaN sangat cocok untuk konstruksi sensor yang stabil. Tabel 4 menjelaskan tentang struktur material kombinasi fungsi GaN.

Tabel 4. Struktur Material Kombinasi Fungsi GaN pada Komponen

Jenis Material	Struktur	Sifat Utama	Aplikasi	Pustaka
Gallium Nitride (GaN)	Semikonduktor dengan bandgap lebar (3.4 eV)	Stabil secara kimia dan mekanik	Sensor gas, LED, dan perangkat optoelektronik	(M. Nahhas, 2020)
Aluminium Gallium Nitride (ALGaN)	Heterostruktur dengan GaN	Memiliki sifat piezoelektrik dan optik	Sensor tekanan dan aplikasi komunikasi	(Akar et al., 2021)
ZnO Nanorods	Nanostruktur yang ditumbuhkan melalui elektrodeposisi	Sifat semikonduktor dan transparansi tinggi	Sensor gas H2S	(Olszewski et al., 2023)
Reduced Graphene Oxide (Rgo)	Heterostruktur dengan AlGaN/GaN	Konduktivitas tinggi dan respons cepat	Sensor gas beracun	(Akar et al., 2021.)
Hidrogen Peroksida (H202)	Digunakan untuk perlakuan permukaan	Meningkatkan aktifitas permukaan sensor	Meningkatkan respons sensor NO	(Li et al., 2020)
Metal Oxides (SnO2,WO3)	Dideposisi pada nanowire GaN	Sifat semikonduktor dan reaktivitas tinggi	Sensor gas SO2	(Alwadai et al., 2022)
Manganese (Mn) Doped GaN	*Doping* untuk meningkatkan sifat magnetik	Meningkatkan konsentrasi pembawa	Aplikasi dalam sensor magnetik	(Hergert et al., 2024)

Jenis Material	Struktur	Sifat Utama	Aplikasi	Pustaka
Carbon Doped GaN	*Doping* untuk meningkatkan sifat dinamis	Meningkatkan kemampuan tegangan perangkat	Sensor dan perangkat daya	(Hergert et al., 2024)

Aluminium Gallium Nitride (AlGaN) yang dikombinasikan dengan GaN menciptakan struktur heterostruktur dengan karakteristik piezoelektrik dan optik (Akar et al., 2021). Karakteristik ini membuat AlGaN sangat cocok untuk sensor tekanan dan aplikasi komunikasi. Dengan menggabungkan AlGaN dengan GaN, kontrol yang baik dari karakteristik listrik dapat dicapai, akibatnya meningkatkan aplikasi praktis dalam aplikasi penginderaan yang sangat sensitif.

Nanorod ZnO adalah bahan struktur nano yang diperoleh dari elektrodeposisi. Mereka menunjukkan karakteristik semikonduktif yang cukup baik dan transmitansi yang tinggi, sehingga dapat digunakan dalam sensor gas khususnya deteksi kebocoran H_2S. Mereka memiliki struktur berskala nano yang meningkatkan luas permukaan sehingga membuatnya sensitif dan juga merespons dengan cepat - fitur yang sangat penting untuk sebagian besar gas industri.

Heterostruktur AlGaN dan GaN menggunakan Reduced Graphene Oxide (Rgo). Karena konduktivitas dan waktu responsnya yang tinggi, sirkuit ini sangat cocok untuk detektor gas beracun. Penambahan lapisan Rgo pada struktur heterostruktur mengoptimalkan interaksi antara molekul gas dan permukaan penginderaan sehingga memberikan deteksi yang efisien terhadap bahan berbahaya.

Hidrogen Peroksida (H_2O_2) bukanlah bahan independen dalam aplikasi tetapi digunakan untuk mengubah karakteristik permukaan sensor (Li et al., 2020). Perlakuan ini meningkatkan aktivitas permukaan sensor berbasis GaN, dan dengan demikian sensitivitas sensor terhadap gas NO sangat meningkat. Kedua karya ini membuktikan pentingnya rekayasa permukaan dalam meningkatkan berbagai sensor, terutama dengan menjelaskan bagaimana reaktivitas permukaan dapat ditingkatkan secara kimiawi.

Untuk meningkatkan semikonduktor dan reaktivitas GaN nanowire, oksida logam seperti SnO_2 dan WO_3 dilapisi di atasnya. Bahan-bahan ini sangat cocok untuk identifikasi gas SO_2. Untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas material komposit oksida logam atau struktur nano, gas berbasis sulfur, yang dapat diterapkan dalam kondisi industri dan lingkungan, dapat dideteksi secara akurat.

Galium nitride yang di*doping* magnesium menambah karakteristik magnetik pada material dan meningkatkan konsentrasi muatan yang dibawa (Hergert et al., 2024). Modifikasi

ini diperlukan untuk semikonduktor yang mungkin memerlukan perubahan pada properti penginderaan magnetiknya seperti sensor medan magnet yang canggih. Proses *doping* memungkinkan para insinyur untuk berada dalam posisi untuk mengontrol dan mengoptimalkan sifat-sifat material apa pun yang diperlukan untuk suatu aplikasi.

GaN yang di*doping* karbon dimaksudkan untuk meningkatkan fitur dinamis material. *Doping* karbon, yang meningkatkan kemampuan perangkat untuk menangani tegangan, juga memungkinkan untuk memantau molekul besar dan menjaga keandalan dalam lingkungan yang berfluktuasi. Hal ini membuktikan bahwa teknik *doping* hanya bisa digambarkan sebagai sistem yang serbaguna dan sangat berguna dalam mencapai performa terbaik dari sensor yang terlibat.

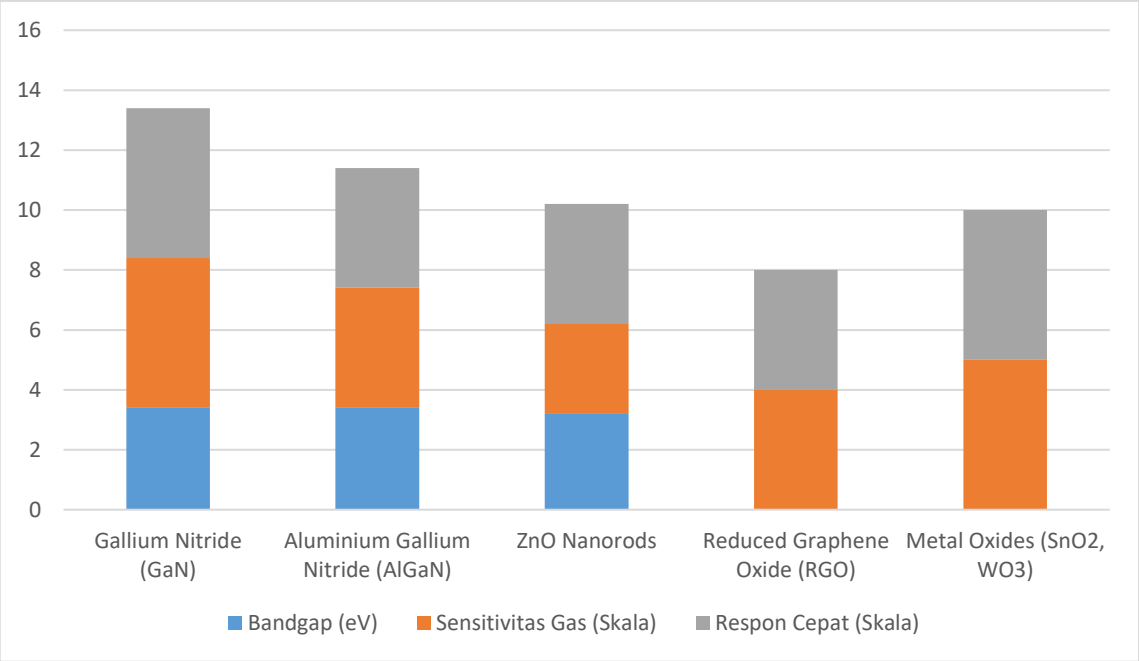
Semua materi yang dibahas dalam tabel ini adalah contoh sempurna tentang bagaimana struktur dan fungsi saling berhubungan dalam teknologi sensor. Kemampuan untuk melokalisasi kontrol atas heterostruktur, struktur nano, dan proses *doping* memungkinkan para peneliti untuk menyempurnakan sifat-sifat bahan untuk aplikasi yang diinginkan sehingga memungkinkan sensitivitas, selektivitas, dan stabilitas yang tinggi.

Untuk tujuan analisis performanya dalam aplikasi sensor di atas, dibandingkan beberapa tipe material, termasuk GaN, AlGaN, ZnO Nanorods, RGO serta Metal Oxides, yaitu SnO_2 dan WO_3. Data perbandingan kemampuan material yang disajikan dalam Tabel 5 berikut ini, terkait beberapa parameter ini yaitu *bandgap*, sensitivitas gas, kecepatan respons dan stabilitas lingkungan.

Tabel 5. Perbandingan Performa Material Tambahan GaN

Material	Bandgap (eV)	Sensitivitas Gas (Skala)	Respon Cepat (Skala)	Stabilitas Lingkungan (Skala)	Pustaka
Gallium Nitride (GaN)	3.4	5	5	5	(Khan & Rao, 2020; M. Nahhas, 2020; Udabe et al., 2023)
Aluminium Gallium Nitride (AlGaN)	3.4	4	4	4	(Akar et al., 2021; M. Nahhas, 2020)
ZnO Nanorods	3.2	3	4	4	(Akar et al., n.d.; Olszewski et al., 2023)
Reduced Graphene Oxide (RGO)		4	4	4	(Akar et al., 2021; Alwadai et al., 2022)
Metal Oxides (SnO2, WO3)		5	5	5	(Alwadai et al., 2022)

Gambar 3 menampilkan visualisasi buntuk menggambarkan perbandingan performa material dalam bentuk diagram batang, yang memudahkan untuk memahami keunggulan masing-masing material berdasarkan parameter yang diuji.



Gambar 3. Perbandingan Performa Material Tambahan GaN

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Rekayasa terbaik pada pengamatan dan tinjauan ini adalah rekayasa GaN nanowire karena memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang besar, membuatnya sangat responsif terhadap perubahan lingkungan. Hal ini cocok untuk aplikasi sensor, dan waktu respons GaN nanowire dapat mendeteksi serta merespons perubahan dengan sangat cepat, ideal untuk aplikasi real-time. Selain itu, material ini mampu stabil dalam berbagai lingkungan, termasuk kondisi suhu ekstrem. Hasil dari peninjauan literatur sebelumnya menunjukkan bahwa GaN nanowire memiliki kinerja yang sempurna dalam hal deteksi gas, tekanan, dan bahkan sensor biokimia. Berdasarkan hasil *literature review*, nanowire GaN (Gallium Nitride) adalah pilihan terbaik untuk aplikasi sensor saat ini. Material tersebut dapat diaplikasikan di area dan lingkungan yang ekstrem dan bersuhu tinggi, serta mampu mempertahankan sensitivitas yang tinggi, respons cepat, dan stabilitas yang baik. GaN nanowire dapat dipertimbangkan sebagai solusi unggul untuk berbagai kebutuhan sensor modern. Berdasarkan hasil *literature review* mengenai GaN Nanowire dengan kemampuan GaN yang dapat diaplikasikan di area dan lingkungan yang ekstrem dan bersuhu tinggi, serta mampu mempertahankan sensitivitas yang tinggi, respons cepat, dan stabilitas yang baik. Dapat memberikan ide kepada peneliti selanjutnya untuk mengembangkan GaN Nanowire sebagai part atau bahan dari semikonduktor sebagai

alternatif tembaga. Dengan kecilnya ukuran dari GaN Nanowire memiliki kemungkinan untuk memperkecil komponen dari bahan semikonduktor karena memiliki kemampuan tahan panas yang bagus dan respon yang cepat.

DAFTAR PUSTAKA

Akar, E., Dimkou, I., Ajay, A., den Hertog, M. I., & Monroy, E. (2021). *Ultraviolet Photodetectors based on GaN and AlGaN/AlN Nanowire Ensembles: Effects of Planarization with Hydrogen Silsesquioxane and Nanowire Architecture*.

Alwadai, N., Saleman, N., Elqahtani, Z. M., Khan, S. U. D., & Majid, A. (2022). Photonics with Gallium Nitride Nanowires. *Materials*, *15*(13). https://doi.org/10.3390/ma15134449

Hergert, H., Zscherp, M. F., Klement, P., Schörmann, J., Chatterjee, S., Klar, P. J., & Elm, M. T. (2024). Signatures of Mesoscopic Transport in Single Non-Intentionally Doped GaN-Nanowire Field-Effect Transistors. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*. https://doi.org/10.1002/pssa.202400040

Khan, M. A. H., & Rao, M. V. (2020). Gallium nitride (Gan) nanostructures and their gas sensing properties: A review. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 14, pp. 1–22). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/s20143889

Kim, Y., Assali, S., Ge, J., Koelling, S., Luo, M., Luo, L., Joo, H.-J., Tan, J., Shi, X., Ikonic, Z., Li, H., Moutanabbir, O., & Nam, D. (n.d.). *Mid-infrared group-IV nanowire laser*.

Li, S., Huang, H., & Zhao, D. (2020). GaN nanowires decorated with Pd for methane gas sensor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *558*(4). https://doi.org/10.1088/1755-1315/558/4/042037

M. Nahhas, A. (2020). Review of GaN Nanowires Based Sensors. *American Journal of Nanomaterials*, *8*(1), 32–47. https://doi.org/10.12691/ajn-8-1-4

Olszewski, K., Sobanska, M., Dubrovskii, V. G., Leshchenko, E. D., Wierzbicka, A., & Zytkiewicz, Z. R. (2023). Geometrical Selection of GaN Nanowires Grown by Plasma-Assisted MBE on Polycrystalline ZrN Layers. *Nanomaterials*, *13*(18). https://doi.org/10.3390/nano13182587

Sharma, S. K., Kumar, P., Raj, B., & Raj, B. (2021). *In1-xGaxAs Double Metal Gate-Stacking Cylindrical Nanowire MOSFET for highly sensitive Photo detector*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-330965/v1

Udabe, A., Baraia-Etxaburu, I., & Diez, D. G. (2023). Gallium Nitride Power Devices: A State of the Art Review. In *IEEE Access* (Vol. 11, pp. 48628–48650). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3277200

Wolff, N., Braniste, T., Krüger, H., Mangelsen, S., Islam, M. R., Schürmann, U., Saure, L. M., Schütt, F., Hansen, S., Terraschke, H., Adelung, R., Tiginyanu, I., & Kienle, L. (2023). Synthesis and Nanostructure Investigation of Hybrid β-Ga2O3/ZnGa2O4 Nanocomposite

Networks with Narrow-Band Green Luminescence and High Initial Electrochemical Capacity. *Small*, *19*(18). https://doi.org/10.1002/smll.202207492

Yasan, A., McClintock, R., Mayes, K., Kim, D. H., Kung, P., & Razeghi, M. (2003). Photoluminescence study of AlGaN-based 280 nm ultraviolet light-emitting diodes. *Applied Physics Letters*, *83*(20), 4083–4085. https://doi.org/10.1063/1.1626808