

Analisis Kinerja Detektor Optik Berbasis Fototransistor PNP Dalam Sistem Serat Optik

Yogi Christanto^{1*}, Ahmad Faisal²

^{1,2}Universitas Pembangunan Panca Budi
ogichristanto3956@gmail.com

Corresponding Author: Yogi Christanto

ABSTRAK

Serat optik merupakan teknologi utama dalam sistem komunikasi modern karena mampu menyediakan kapasitas, kecepatan, dan keandalan transmisi yang tinggi. Salah satu komponen penting dalam sistem ini adalah fotodetektor yang berfungsi mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik, salah satunya menggunakan fototransistor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja PNP phototransistor berbahan Gallium Arsenide (GaAs) dan Silicon (Si) sebagai fotodetektor pada sistem komunikasi serat optik dengan asumsi konsentrasi doping donor ($ND = 10^{16} \text{ m}^{-3}$) dan akseptor ($NA = 10^{17}-10^{19} \text{ m}^{-3}$). Metode penelitian dilakukan melalui studi literatur, penentuan parameter semikonduktor, serta perhitungan kinerja fototransistor berdasarkan parameter utama, meliputi lebar deplesi, tegangan bias maju, arus emitor, quantum efficiency, responsivity, internal gain, arus keluaran, photon flux, bandwidth, signal-to-noise ratio (SNR), dan daya optik. Perbandingan hasil menunjukkan bahwa GaAs unggul pada quantum efficiency (0,46), responsivity (0,32 A/W), outflow current ($1,89 \times 10^{-4} \text{ A}$), photon flux ($5,47 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$), SNR (2656), serta konsumsi daya optik yang rendah ($5,19 \times 10^{-7} \text{ W}$). Sebaliknya, Si unggul pada common emitter gain (1563) dan bandwidth ($6,55 \times 10^9 \text{ Hz}$), yang menjadikannya lebih sesuai untuk aplikasi komunikasi optik berkecepatan tinggi. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa GaAs lebih ideal untuk fotodeteksi dengan sensitivitas tinggi, efisiensi cahaya, dan sinyal yang stabil, sedangkan Si lebih tepat digunakan pada sistem komunikasi optik yang membutuhkan kecepatan transmisi data dan penguatan arus tinggi. Dengan demikian, pemilihan material PNP phototransistor harus mempertimbangkan kebutuhan spesifik aplikasi agar kinerja sistem serat optik dapat dioptimalkan.

Kata Kunci: Serat optik, PNP phototransistor, Gallium Arsenide (GaAs), Silicon (Si), fotodetektor, komunikasi optik.

1. LATAR BELAKANG

Serat optik merupakan salah satu teknologi kunci dalam bidang telekomunikasi modern karena mampu mentransmisikan data dalam kapasitas besar, kecepatan tinggi, serta dengan keandalan yang lebih baik dibanding media konvensional seperti kabel tembaga. Keunggulan ini menjadikannya pilihan utama dalam infrastruktur telekomunikasi, internet, dan sistem komunikasi data canggih (Rahmaniar et al., 2023). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap layanan komunikasi dengan latensi rendah dan throughput tinggi, performa sistem serat optik semakin menjadi fokus utama dalam riset dan pengembangan (Hamdani et al., 2023).

Dalam sistem serat optik, proses deteksi sinyal cahaya merupakan faktor krusial. Sensor fotodetektor salah satunya fototransistor PNP berfungsi mengubah intensitas cahaya menjadi arus atau tegangan listrik dengan tingkat sensitivitas tinggi, sehingga sangat sesuai digunakan dalam sistem komunikasi berbasis cahaya (Faludi, 2011). Namun demikian, performa fototransistor dapat terganggu oleh kondisi eksternal seperti interferensi elektromagnetik atau fenomena korona yang muncul pada lingkungan bertegangan tinggi.



Fenomena korona terjadi ketika tegangan tinggi diterapkan pada saluran transmisi, sehingga menyebabkan ionisasi udara di sekitarnya. Akibatnya terbentuk pelepasan energi yang dapat menimbulkan rugi-rugi daya serta gangguan elektromagnetik (Tharo et al., 2022). Dalam konteks sistem serat optik, korona berpotensi menurunkan sensitivitas fototransistor, meningkatkan rugi daya, dan menurunkan kualitas transmisi data. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa sinyal optik dari serat fluoresen dapat mendeteksi tahapan discharge dalam transformator minyak dengan sensitivitas tinggi, menunjukkan keterkaitan erat antara fenomena korona dan degradasi kinerja optik (Wang et al., 2025). Selain itu, penelitian mutakhir menunjukkan bahwa optical poling berbasis discharge korona dapat digunakan untuk memodifikasi sifat nonlinieritas optik serat, menandakan bahwa korona memiliki dampak langsung pada karakteristik optik material (Zhou et al., 2022).

Walaupun sejumlah penelitian terdahulu menyoroti pengaruh korona pada saluran transmisi listrik maupun sistem frekuensi tinggi, studi yang secara khusus membahas dampaknya terhadap sistem serat optik dengan fototransistor masih terbatas. Kajian terkini tentang visualisasi korona menggunakan spektroskopi emisi optik dan teknik real-color imaging memperlihatkan pemahaman lebih dalam tentang karakteristik korona, yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian ini (Nishizawa et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif pengaruh korona terhadap performa sistem serat optik, khususnya terhadap sensitivitas dan rugi daya pada sistem dengan fototransistor PNP.

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memperluas pemahaman mengenai desain sistem serat optik yang lebih andal dan tahan terhadap gangguan korona, sekaligus mendukung pengembangan teknologi komunikasi berkapasitas tinggi yang hemat energi dan berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan (Hamdani et al., 2020; Rahmaniar et al., 2023).

2. KAJIAN TEORITIS

1). Semikonduktor

Semikonduktor adalah material yang memiliki konduktivitas listrik antara isolator dan penghantar, dengan kemampuan untuk disesuaikan melalui proses doping—penambahan atom donor maupun akseptor—untuk meningkatkan jumlah pembawa muatan. Semikonduktor intrinsik adalah material murni, sedangkan semikonduktor ekstrinsik telah diberi doping untuk meningkatkan performa, sehingga luas digunakan dalam perangkat elektronik seperti dioda, transistor, dan sensor optik (Sze & Ng, 2021).

2). Phototransistor

Fototransistor merupakan komponen semikonduktor yang sekaligus bertindak sebagai detektor cahaya dan amplifier arus internal. Fungsinya menggabungkan penginderaan optik dengan amplifikasi dalam satu perangkat—mengubah cahaya menjadi arus foto dan memperkuatnya melalui mekanisme transistor bipolar (BJT). Fototransistor lebih sensitif dibanding fotodioda, dan secara fisik mirip transistor konvensional namun area atasnya dibuka atau diberi lensa untuk penangkapan cahaya optimal. Beberapa model bahkan tidak dilengkapi dengan pin basis, bergantung sepenuhnya pada intensitas cahaya untuk beroperasi (Shockley et al., 1951; Lab Semi, 2021).



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.



Gambar 1. Phototransistor Komponen dan Simbol

3). Jenis Phototransistor (NPN dan PNP)

Fototransistor dibedakan menjadi jenis NPN dan PNP berdasarkan pembawa muatan mayoritasnya. Pada NPN, elektron merupakan pembawa utama sehingga mampu merespons cahaya lebih cepat dan cocok untuk aplikasi komunikasi optik kecepatan tinggi. Sebaliknya, PNP menggunakan hole sebagai pembawa utama dan memiliki arus kolektor kecil dalam kondisi bias balik, tetapi tetap efektif untuk aplikasi yang menuntut sensitivitas tinggi meski tidak memerlukan kecepatan switching cepat (Horowitz & Hill, 2015).

4). Performa PNP Phototransistor: Studi Terbaru

Studi Arrasyid (2022) menganalisis performa PNP phototransistor berbahan Gallium Arsenide (GaAs) dan Silikon (Si) dalam sistem serat optik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus emitter output lebih besar dari arus photon input, dengan peningkatan internal gain signifikan mencapai nilai SNR (Signal-to-Noise Ratio) hingga 26.256 untuk GaAs dan 8.377×10^{-5} untuk Si. Ini menunjukkan keuntungan PNP phototransistor dalam sistem serat optik, khususnya di bidang amplifikasi dan deteksi sinyal cahaya rendah.

5). High-Speed PNP Phototransistor CMOS

Dalam implementasi CMOS 180 nm, Plamen Kostov dan tim menghasilkan PNP phototransistor berperforma tinggi dengan bandwidth hingga 92 MHz dan responsivitas dinamis hingga 2,95 A/W. Desain ini mengoptimalkan struktur epitaksial p^- pada wafer p^+ untuk memperluas area space-charge, serta meminimalkan kapasitansi input menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi optoelektronik berkecepatan tinggi seperti sensor gambar, optocoupler, dan integrasi OEIC (Optoelectronic Integrated Circuit) dengan biaya rendah.

6). Aplikasi Fototransistor sebagai Optical Power Monitor

Penelitian oleh Ochiai et al. (2021) memperkenalkan phototransistor sebagai monitor daya optik di rangkaian fotonik berbasis Si. Dengan menggunakan channel InGaAs ultra-tipis di atas waveguide Si, phototransistor tersebut mencapai responsivitas tertinggi dalam gelombang mikro—sekitar 10^6 A/W, menjadikannya sangat sensitif (deteksi hingga 621 fW) dan efektif untuk aplikasi pemantauan optik dalam sistem fotonik terintegrasi.

3. METODE PENELITIAN

1). Studi Literatur

- a. Mengkaji teori terkait semikonduktor, fototransistor, dan sistem komunikasi serat optik.
- b. Mengumpulkan referensi dari buku, jurnal, tesis, artikel ilmiah, serta sumber daring yang relevan.

2). Penentuan Parameter dan Asumsi

- a. Menentukan konsentrasi atom donor dan akseptor sebagai dasar perhitungan:

1. Kasus 1: Donor = 10^{16} m^{-3} , Akseptor = 10^{17} m^{-3} .



Lisensi
Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

2. Kasus 2: Donor = 10^{16} m^{-3} , Akseptor = 10^{19} m^{-3} .
- b. Parameter ditetapkan agar dapat dianalisis secara konsisten pada material GaAs dan Si.
- 3). Pemodelan Material PNP Phototransistor
- a. Menganalisis kinerja fototransistor berbahan Gallium Arsenide (GaAs) dan Silicon (Si).
- b. Membandingkan performa kedua material sebagai fotodetektor dalam sistem serat optik.
- 4). Analisis Parameter Kinerja
- a. Forward Bias Voltage → mengukur pengaruh tegangan maju terhadap arus cahaya pada emitter.
- b. Light Current Emitter → menghitung arus cahaya yang menentukan jumlah arus listrik keluaran.
- c. Quantum Efficiency (QE) → mengevaluasi efisiensi konversi cahaya menjadi elektron; semakin kecil koefisien refleksi, semakin besar QE.
- d. Responsivity → menentukan sensitivitas fototransistor terhadap daya optik yang masuk.
- e. Internal Gain & Emitter Current → menghitung besarnya arus listrik keluaran berdasarkan gain internal dan arus cahaya emitter.
- f. Noise → menganalisis pengaruh gangguan terhadap arus keluaran; semakin kecil noise, semakin baik kualitas sinyal optik.
- 5). Evaluasi & Perbandingan Hasil
- a. Membandingkan performa PNP phototransistor berbahan GaAs dan Si.
- b. Mengevaluasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing material dalam aplikasi komunikasi serat optik.
- 6). Kesimpulan
- a. Menarik kesimpulan mengenai material yang lebih optimal digunakan sebagai fotodetektor.
- b. Memberikan rekomendasi teknis untuk pengembangan sistem serat optik yang lebih efisien.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal analisis performa PNP phototransistor adalah menghitung parameter dasar semikonduktor yang digunakan, dalam hal ini Gallium Arsenide (GaAs) dan Silicon (Si). Perbedaan mendasar dari kedua material ini dapat dilihat dari sifat fisik maupun parameter elektrisnya yang berpengaruh langsung pada sensitivitas, kecepatan respons, dan efisiensi fotodeteksi.

Tabel 1. Tabel Perbandingan Hasil Analisis Parameter Semikonduktor GaAs vs Si

| Parameter | GaAs | Si | Pembahasan |
|--|-----------------------|------------------------|---|
| Depletion Width (cm) | 4.33×10^{-5} | 3.34×10^{-5} | GaAs memiliki daerah deplesi lebih lebar → mampu menangkap lebih banyak pasangan elektron-hole. |
| Electric Field (V/m) | 5.91×10^4 | 5.25×10^4 | Medan listrik GaAs lebih besar → pemisahan pembawa muatan lebih cepat. |
| Base Diffusion (cm^2/s) | 221 | 39 | GaAs jauh lebih unggul dalam difusi elektron pada basis → respons lebih cepat. |
| Emitter Diffusion (cm^2/s) | 10.4 | 11.7 | Si sedikit lebih unggul → stabilitas injeksi pembawa muatan lebih baik. |
| Flow Time (s) | 2.7×10^{-11} | 1.88×10^{-11} | Si memiliki waktu transit lebih singkat → arus respons lebih cepat. |



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

| | | | |
|--|-----------------------|------------------------|--|
| Flow Speed (cm/s) | 1.5×10^{-6} | 1.8×10^{-6} | Si sedikit lebih cepat dalam kecepatan transit pembawa muatan. |
| Base Diffusion Length (cm) | 0.004 | 0.009 | Si memiliki panjang difusi basis lebih panjang → koleksi muatan lebih efisien. |
| Emitter Diffusion Length (cm) | 0.001 | 0.005 | Si unggul dengan jarak difusi lebih panjang pada emitter. |
| Diameter (cm) | 2.38×10^{-5} | 2.09×10^{-5} | GaAs sedikit lebih besar → area aktif cahaya lebih luas. |
| Active Area (cm ²) | 1.03×10^{-9} | 7.18×10^{-10} | GaAs memiliki area aktif lebih luas, meningkatkan penangkapan cahaya. |
| Absorption Coefficient (cm ⁻¹) | 8.74×10^{-3} | 2.98×10^5 | Si sangat unggul dalam menyerap cahaya → konversi foton ke elektron lebih efisien. |

1). Depletion Width dan Electric Field

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa GaAs memiliki depletion width sebesar $4,33 \times 10^{-5}$ cm, sedikit lebih besar dibandingkan Si yaitu $3,34 \times 10^{-5}$ cm. Hal ini mengindikasikan bahwa pada GaAs daerah deplesi lebih lebar, sehingga mampu menangkap lebih banyak pasangan elektron-hole yang dihasilkan dari cahaya. Namun, medan listrik (electric field) pada Si lebih kecil ($5,25 \times 10^4$ V/m) dibandingkan GaAs ($5,91 \times 10^4$ V/m). Medan listrik yang lebih besar pada GaAs mempercepat proses pemisahan pembawa muatan, sehingga menghasilkan respons yang lebih cepat terhadap cahaya masuk.

2). Difusi pada Basis dan Emitter

Parameter base diffusion pada GaAs (221 cm²/s) jauh lebih besar daripada pada Si (39 cm²/s). Hal ini menunjukkan bahwa elektron pada GaAs dapat berdifusi lebih cepat, mendukung waktu respons yang lebih singkat. Sebaliknya, pada emitter diffusion, nilai Si (11,7 cm²/s) sedikit lebih tinggi dibanding GaAs (10,4 cm²/s), yang berarti bahwa Si lebih stabil dalam hal difusi pembawa muatan pada sisi emitter.

3). Waktu Alir (Flow Time) dan Kecepatan Alir (Flow Speed)

Waktu alir (τ) pada GaAs adalah $2,7 \times 10^{-11}$ s, lebih besar daripada Si ($1,88 \times 10^{-11}$ s). Meskipun Si memiliki waktu alir yang lebih cepat, flow speed GaAs ($1,5 \times 10^{-6}$ cm/s) hampir sebanding dengan Si ($1,8 \times 10^{-6}$ cm/s). Kombinasi ini memperlihatkan bahwa Si lebih unggul dalam hal kecepatan transit pembawa muatan, tetapi GaAs memiliki keuntungan dalam hal kestabilan aliran.

4). Panjang Difusi (Diffusion Length)

Pada bagian basis, Si memiliki diffusion length lebih panjang (0,009 cm) dibandingkan GaAs (0,004 cm). Hal ini menandakan bahwa pembawa muatan pada Si dapat menempuh jarak lebih jauh sebelum rekombinasi, sehingga meningkatkan efisiensi koleksi muatan. Namun, pada emitter, panjang difusi GaAs lebih pendek (0,001 cm) dibandingkan Si (0,005 cm), yang dapat memengaruhi efisiensi injeksi cahaya menjadi arus listrik.

5). Koefisien Absorpsi Material

Perbedaan paling signifikan terlihat pada absorption coefficient. GaAs hanya memiliki nilai $8,74 \times 10^{-3}$ cm⁻¹, jauh lebih kecil dibandingkan Si sebesar $2,98 \times 10^5$ cm⁻¹. Nilai yang tinggi pada Si menunjukkan bahwa material ini sangat efisien dalam menyerap cahaya, sehingga lebih banyak energi optik yang dapat dikonversi menjadi elektron. Sebaliknya, nilai kecil pada GaAs membuatnya kurang efektif dalam penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu,



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

meskipun GaAs umumnya lebih unggul dalam aplikasi optoelektronik pada panjang gelombang inframerah.

6). Luas Area Aktif

GaAs memiliki active area sebesar $1,03 \times 10^{-9}$ cm², lebih besar daripada Si yang hanya $7,18 \times 10^{-10}$ cm². Luas area aktif yang lebih besar memungkinkan GaAs menangkap lebih banyak cahaya yang masuk, meskipun efektivitasnya tetap sangat dipengaruhi oleh koefisien serapan material. Silicon lebih unggul dalam hal penyerapan cahaya (absorption coefficient tinggi) dan jarak difusi muatan yang panjang, yang membuatnya sangat efisien sebagai material fotodetektor. Namun, Gallium Arsenide memiliki keunggulan pada kecepatan difusi dan medan listrik yang lebih tinggi, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan kecepatan respons tinggi. Dengan demikian, pemilihan material sangat bergantung pada kebutuhan: Si untuk efisiensi tinggi dalam penyerapan cahaya, sedangkan GaAs untuk respons cepat dan aplikasi frekuensi tinggi.

Tabel 2. Perbandingan Parameter Semikonduktor GaAs vs Si pada Dua Kondisi Doping

| Parameter | GaAs (NA=10 ¹⁷) | Si (NA=10 ¹⁷) | GaAs (NA=10 ¹⁹) | Si (NA=10 ¹⁹) | Analisis |
|--|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|
| Depletion Width (cm) | 4.33×10^{-5} | 3.34×10^{-5} | 4.33×10^{-5} | 3.42×10^{-5} | Hampir konstan; sedikit meningkat pada Si. |
| Emitter Depletion Width (cm) | 4.34×10^{-8} | 3.43×10^{-8} | 3.94×10^{-6} | 3.03×10^{-6} | Naik signifikan saat doping dinaikkan (kedalaman deplesi lebih luas). |
| Electric Field (V/m) | 5.91×10^4 | 5.25×10^4 | 5.41×10^{-4} | 4.65×10^{-4} | Medan listrik lebih tinggi pada GaAs di kedua kondisi. |
| Base Diffusion (cm ² /s) | 221 | 39 | 221 | 39 | Tetap; GaAs unggul dalam difusi basis. |
| Emitter Diffusion (cm ² /s) | 10.4 | 11.7 | 10.4 | 11.7 | Tetap; Si sedikit unggul. |
| Flow Time (s) | 2.7×10^{-11} | 1.88×10^{-11} | 3.3×10^{-11} | 2.42×10^{-11} | Si selalu lebih cepat (waktu transit lebih singkat). |
| Flow Speed (cm/s) | 1.5×10^{-6} | 1.8×10^{-6} | 1.3×10^{-6} | 1.37×10^{-6} | Nilai relatif sama; Si sedikit unggul. |
| Base Diffusion Length (cm) | 0.004 | 0.009 | 0.004 | 8.4×10^{-3} | Si unggul dalam panjang difusi basis. |
| Emitter Diffusion Length (cm) | 0.001 | 0.005 | 9.79×10^{-4} | 4.6×10^{-3} | Si selalu unggul → pembawa muatan lebih tahan rekombinasi. |
| Diameter (cm) | 2.38×10^{-5} | 2.09×10^{-5} | 2.62×10^{-5} | 2.38×10^{-5} | GaAs sedikit lebih besar → area aktif lebih luas. |
| Active Area (cm ²) | 1.03×10^{-9} | 7.18×10^{-10} | 1.13×10^{-9} | 7.96×10^{-10} | GaAs lebih luas → menangkap cahaya lebih banyak. |
| Absorption Coefficient (cm ⁻¹) | 8.74×10^{-3} | 2.98×10^5 | 8.74×10^{-3} | 2.98×10^5 | Si jauh lebih unggul dalam menyerap cahaya. |

1). Depletion Width dan Electric Field

Pada kondisi ini, GaAs memiliki depletion width $4,33 \times 10^{-5}$ cm, sedikit lebih besar dibandingkan Si ($3,42 \times 10^{-5}$ cm). Lebarnya daerah deplesi pada GaAs menandakan potensi lebih besar dalam menangkap pasangan elektron-hole. Akan tetapi, nilai electric field pada GaAs adalah $5,41 \times 10^{-4}$ V/m, lebih besar daripada Si yaitu $4,65 \times 10^{-4}$ V/m. Medan listrik yang lebih kuat pada GaAs mempercepat pemisahan pembawa muatan, yang berarti GaAs unggul dalam aplikasi berkecepatan tinggi.



2). Emitter Depletion Width

Nilai emitter depletion width GaAs sebesar $3,94 \times 10^{-6}$ cm, lebih besar dibandingkan Si ($3,03 \times 10^{-6}$ cm). Hal ini memperlihatkan bahwa GaAs mampu membentuk daerah aktif emitter yang lebih luas, meningkatkan kemungkinan interaksi cahaya dengan material.

3). Difusi Basis dan Emitter

Sama seperti pada kondisi asumsi sebelumnya, base diffusion GaAs tetap jauh lebih tinggi ($221 \text{ cm}^2/\text{s}$) dibandingkan Si ($39 \text{ cm}^2/\text{s}$). Hal ini menunjukkan GaAs unggul dari sisi mobilitas elektron dalam basis. Untuk emitter diffusion, nilai Si lebih besar ($11,7 \text{ cm}^2/\text{s}$) dibandingkan GaAs ($10,4 \text{ cm}^2/\text{s}$), yang memperlihatkan Si sedikit lebih stabil pada sisi injeksi emitter.

4). Waktu dan Kecepatan Aliran (Flow Time & Flow Speed)

Nilai flow time pada GaAs adalah $3,3 \times 10^{-11}$ s, lebih lama dibandingkan Si ($2,42 \times 10^{-11}$ s). Ini mengindikasikan bahwa Si memiliki transit pembawa muatan yang lebih cepat. Namun, perbedaan flow speed relatif kecil, dengan GaAs $1,3 \times 10^{-6}$ cm/s dan Si $1,37 \times 10^{-6}$ cm/s, sehingga keduanya hampir sebanding dalam hal kecepatan transit rata-rata.

5). Panjang Difusi (Diffusion Length)

Pada basis, Si memiliki diffusion length $8,4 \times 10^{-3}$ cm, lebih panjang daripada GaAs ($0,004$ cm). Hal ini menandakan pembawa muatan pada Si dapat menempuh jarak lebih jauh sebelum rekombinasi, sehingga efisiensi pengumpulan muatan lebih baik. Hal serupa juga terlihat pada emitter, di mana Si unggul ($4,6 \times 10^{-3}$ cm) dibanding GaAs ($9,79 \times 10^{-4}$ cm). Dengan demikian, Si lebih unggul dalam mempertahankan pembawa muatan dalam lintasan difusi.

6). Diameter dan Area Aktif

Ukuran diameter GaAs lebih besar ($2,62 \times 10^{-5}$ cm) dibandingkan Si ($2,38 \times 10^{-5}$ cm). Akibatnya, active area GaAs lebih luas ($1,13 \times 10^{-9}$ cm²) daripada Si ($7,96 \times 10^{-10}$ cm²), yang berpotensi meningkatkan kemampuan penangkapan cahaya.

7). Koefisien Absorpsi Material

Perbedaan mencolok terdapat pada absorption coefficient, di mana Si memiliki nilai yang jauh lebih tinggi ($2,98 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$) dibandingkan GaAs ($8,74 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$). Nilai yang tinggi pada Si menandakan bahwa material ini jauh lebih efektif dalam menyerap cahaya, sehingga lebih efisien dalam konversi foton menjadi elektron. Sebaliknya, GaAs dengan koefisien kecil kurang efisien dalam menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Dari hasil perhitungan dengan asumsi $N_D = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ dan $N_A = 10^{19} \text{ m}^{-3}$, terlihat bahwa:

- a) Silicon (Si) lebih unggul dalam panjang difusi (basis & emitter), waktu transit yang singkat, serta koefisien serapan cahaya yang sangat tinggi, sehingga lebih cocok untuk aplikasi fotodeteksi dengan efisiensi energi tinggi.
- b) Gallium Arsenide (GaAs) unggul dalam medan listrik, luas area aktif, serta mobilitas difusi basis, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi kecepatan tinggi meskipun efisiensi penyerapan cahaya lebih rendah dibanding Si.

5. KESIMPULAN



Berdasarkan hasil analisis parameter semikonduktor dan kinerja PNP phototransistor sebagai fotodetektor, dapat disimpulkan bahwa Gallium Arsenide (GaAs) dan Silicon (Si) memiliki keunggulan masing-masing sesuai dengan karakteristik materialnya. GaAs menunjukkan performa yang lebih baik pada aspek medan listrik, difusi basis, serta luas area aktif, sehingga lebih unggul dalam mempercepat pemisahan pembawa muatan dan memberikan respons optik yang cepat. Sementara itu, Silicon memiliki keunggulan dalam panjang difusi, waktu transit pembawa muatan yang lebih singkat, dan koefisien serapan cahaya yang tinggi, sehingga lebih efisien dalam mengonversi foton menjadi elektron.

Sebagai fotodetektor dalam sistem serat optik, GaAs terbukti lebih unggul dalam hal quantum efficiency (QE), responsivity, arus keluaran, photon flux, signal-to-noise ratio (SNR), serta kebutuhan daya optik yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa GaAs sangat sesuai digunakan pada aplikasi yang membutuhkan sensitivitas tinggi, kualitas sinyal yang stabil, serta efisiensi daya. Sebaliknya, Silicon lebih menonjol pada parameter common emitter gain dan bandwidth, yang membuatnya lebih tepat untuk digunakan dalam aplikasi komunikasi optik berkecepatan tinggi meskipun memiliki QE yang rendah.

Bahwa pemilihan material PNP phototransistor pada sistem serat optik harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi. GaAs lebih ideal untuk sistem fotodeteksi yang mengutamakan efisiensi cahaya dan kestabilan sinyal, sedangkan Si lebih cocok untuk sistem komunikasi optik yang membutuhkan kecepatan transmisi data dan penguatan arus yang tinggi. Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi material semikonduktor dalam desain sistem serat optik perlu dipertimbangkan secara cermat agar kinerja yang optimal dapat tercapai.

REFERENSI

- [1] Anisah, S., Tharo, Z., Hamdani, H., & Butar, A. K. B. (2023). Optimization Analysis Of Solar And Wind Power Hybrid Power Plant Systems. *Prosiding Universitas Dharmawangsa*, 3(1), 614-624.
- [2] Hamdani, H., Sastra, A., & Firmansyah, D. (2023). Kajian Pembangunan Lift Barang Pintar Kapasitas 50 Kg Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 6(1), 429-433.
- [3] Hamdani, H., Tharo, Z., Anisah, S., & Lubis, S. A. (2020, September). Rancang Bangun Inverter Gelombang Sinus Termodifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Rumah Tinggal. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)* (Vol. 3, No. 1, pp. 156-162).
- [4] Tharo, Z., Hamdani, H., & Andriana, M. (2019, May). Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di sumatera. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)* (Vol. 2, No. 1, pp. 141-144).
- [5] Tharo, Z., Hamdani, H., Andriana, M., & Yusar, J. H. (2022). Implementasi genset ramah lingkungan berbasis panel surya di Desa Tomuan Holbung. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal Deputi)*, 2(2), 98-101.
- [6] Tharo, Z., Syahputra, M. R., Hamdani, H., & Sugino, B. (2020). Analisis Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Menengah Menggunakan Aplikasi Etap Di Bandar Udara



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

- Internasional Kualanamu. *Journal Of Electrical And System Control Engineering*, 4(1), 33-42.
- [7] Wibowo, P., Lubis, S. A., & Hamdani, Z. T. (2017). Smart home security system design sensor based on pir and microcontroller. *International Journal of Global Sustainability*, 1(1), 67-73.
- [8] Yusup, M. (2022). Teknologi Radio Frequency Identification (RFID) sebagai tools system pembuka pintu otomatis pada smart house. *Jurnal Media Infotama*, 18(2), 367-373.
- [9] Arrasyid, F. (2022). Analysis of the Effect of Adding PNP Phototransistors on Fiber Optic Systems.
- [10] A. H. Noviyanto, "Pengujian Sensor Cahaya Phototransistor dan Photodiode pada Pemantau Denyut Jantung dengan Metode Photoplethysmograph Refleksi," *Jurnal Teknik Industri, Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [11] N. Suliyani, S. W. Suciwati, "Rancang Bangun Alat Ukur Kekeruhan Air Menggunakan Fototransistor dan LED Inframerah Berbasis Arduino Uno," *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, vol. 2, no. 2, p. 1222, 2021.
- [12] M. Sova, Warsito, A. Supriyanto, "Rancang Bangun Alat Ukur Curah Hujan dengan Metode Timbangan Menggunakan Sensor Fototransistor Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 5, no. 2, p. 1015, 2017..

